



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRÍA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN
ENDODONCIA

***“Modelos educativos para mejorar el aprendizaje preoperatorio de cirugía
periapical a mano alzada”***

PRESENTA: C.D. Patricia Ruiz Torres

DIRECTOR DE TESIS: D.C. Cristian Dionisio Román Méndez ID: 100392244.

DIRECTOR DISCIPLINARIO: C.D.E.E. Pablo Alberto González Oviedo

DIRECTOR METODOLÓGICO: D.C. Miguel Angel Casillas Santana ID:
100526485.

ASESOR EXTERNO: E.E. Anuar Elian Barona Triviño

Marzo 2025



Oficio No. FESIEP/CIFE/035/2025

C. Patricia Ruiz Torres

Estudiante de la Maestría en Estomatología con opción en Terminal en Endodoncia

Matrícula No.: 223450004

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

Facultad de Estomatología

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

PRESENTE

Sirva este medio para enviarle un cordial saludo, asimismo, en mi doble calidad de Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado y Presidenta del Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; aprovecho para felicitarla por el avance significativo en su proceso académico. En atención a su solicitud, me permita notificarle que su tesis titulada.

"Modelos educativos para mejorar el aprendizaje preoperatorio de cirugía periodontal a mano alzada"

ha recibido la aprobación oficial para su impresión.

Su trabajo ha sido registrado en el Libro de Registros No. 09, página 01, con el No. de Asignación 2024239, quedando debidamente documentado en esta Secretaría de Investigación. Esta tesis será presentada como parte del procedimiento para su examen profesional, necesario para obtener el grado de Maestría en Estomatología.

Próximos pasos:

1. Impresión de la tesis: Proceda con los trámites de impresión conforme a los lineamientos establecidos por la Facultad.
2. Revisión del documento: Asegúrese de que el texto cumpla con los estándares académicos y formales.
3. Coordinación del examen profesional: Comuníquese con el Responsable de la Etapa Terminal de la Maestría de su elección para programar su examen de grado y gestionar los trámites administrativos correspondientes.

Le recordamos que el cumplimiento de los plazos y requisitos establecidos es fundamental para garantizar la fluidez del proceso.

Reconocimiento y mensaje final:

Este logro refleja su esfuerzo, dedicación y el impacto de su investigación en el ámbito de la Estomatología. Le felicitamos por este avance significativo y confiamos en que continuará demostrando su compromiso académico y profesional.

Para cualquier consulta o información adicional, no dude en comunicarse con nosotros. Estamos a su disposición para acompañarla en esta etapa crucial de su formación.

Sin otro particular, le reitero mi más atenta y distinguida consideración y le desea éxito en la etapa final de esta carrera académica.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a viernes 21 de marzo del 2025

MEP. Gisela Nataly Rubin de Celis Quintana
Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología

*Nota: Se anexa Formato de Impresión de Tesis - C. Patricia Ruiz Torres - Maestría en Estomatología - Terminal en Endodoncia - S.I.E.P. - Facultad de Estomatología -

B.U.A.P. (original) - p.s.c.y.a.

*C.c.p. Archivo

*MCO, FJMA/MEP, GNRCQ y meiti

Secretaría de Investigación y
Estudios de Posgrado
Facultad de
Estomatología

31 poniente 1304, Col. Volcanes
Puebla, Pue.
C.P. 72410
Tel. Of. 22*22 29 55 00
Ext. 5526

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS RECEPCIONAL

Para obtener el Grado de: Maestría en Estomatología con opción en Terminal en Endodoncia.

No. Registro CIFE: 2024239. Fecha de Registro ante CIFE: miércoles 24 de enero del 2024.

Título de la Tesis: "Modelos educativos para mejorar el aprendizaje preoperatorio de cirugía periapical a mano alzada"

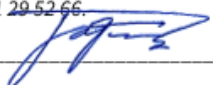
Nombre del estudiante: Patricia Ruiz Torres.

Matrícula: 223450004.

Domicilio: Laurel 23 Fovissste I, Orizaba, Veracruz.

Tel: 27*21 29 52 66.

Fecha de ingreso a la Facultad: lunes 09 de enero del 2023.

Firma: 

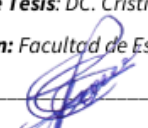
Director de Tesis: DC. Cristian Dionisio Román Méndez.

Grado académico: Doctor en Ciencias Químico-Biológicas.

Adscripción: Facultad de Estomatología.

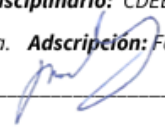
ID: 100392244.

Tel: 22*21 83 83 36.

Firma: 

Director Disciplinario: CDEE. Pablo Alberto González Oviedo **Grado académico:** Cirujano Dentista Especialista en Endodoncia. **Adscripción:** Facultad de Estomatología. **ID:** S/N.

Tel: 22*25 12 24 07.

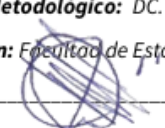
Firma: 

Director Metodológico: DC. Miguel Ángel Casillas Santana. **Grado académico:** Doctor en Ciencias Odontológicas.

Adscripción: Facultad de Estomatología.

ID: 100526485.

Tel: 44*48 46 76 45.

Firma: 

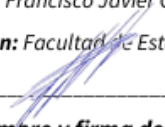
Lector: ME. Francisco Javier Castillo Cano

Grado académico: Maestría en Ciencias Odontológicas.

Adscripción: Facultad de Estomatología.

ID: 100445599

Tel: 22*11 17 72 21.

Firma: 

Nombre y firma de aprobación del presidente de la academia/Responsable de la Maestría en Estomatología en Terminal en Endodoncia.

CDEE. Alejandro Gerardo Martínez Guerrero

Firma: 

La Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología, autoriza la impresión de la Tesis.


MEP. Gisela Nataly Rubin de Celis Quintana



Fecha actual: viernes 21 de marzo de 2025.

Sello



BUAP

Constancia No. FESIEP/CIFE/010/2024

DC. Cristian Dionisio Román Méndez
Responsable del Proyecto de Investigación
Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Sirva este medio para enviarle un cordial saludo, asimismo la que suscribe MEP. Gisele Nataly Rubin de Celis Quintana en mi calidad de Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y tras un detenido análisis y evaluación en el Proyecto de Investigación (Colectivo):

Nombre del Título del Proyecto:

"Modelos educativos para mejorar el aprendizaje preoperatorio de cirugía periodontal a mano alzada"

Presentado por:

No.	Cargos	Nombres	ID y/o Matrícula
1	Responsable del Proyecto de Investigación	DC. Cristian Dionisio Román Méndez	100392244
2	Director Metodológica:	DC. Miguel Ángel Casillas Santana	100526485
3	Director Disciplinaria:	CDEF. Pablo Alberto González Oviedo	SN
4	Estudiante de Maestría en Estomatología: <u>Teminal en Endodoncia</u>	C. Patricia Ruiz Torres	223450004

HAGO CONSTAR que, ha sido oficialmente ACEPTADO Este relevante proyecto, ha sido registrado ante el Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología (C.I.F.E.), inscrita en el libro de registros No. 03, página 01, bajo el No. de asignación 2024239 en la Secretaría de Investigación de esta Unidad Académica.

Para los fines legales que los interesados convegan, y sin otro particular, reitero a Usted mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a miércoles 24 de enero de 2024

MEP. Gisele Nataly Rubin de Celis Quintana
Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología

*C.c.p. Archivo
*MCD. FJMA/MEP. GWRQ/

Secretaría de Investigación y
Estudios de Posgrado
Facultad de
Estomatología

31 poniente 1304, Col. Volcanes
Puebla, Pue.
C.P. 72410
Tel. Of. 22*22 29 55 00
Ext. 5526

DEDICATORIA

A mis padres, mi hermano y mi familia, cuyo apoyo incondicional me ha impulsado toda la vida a cumplir mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores, quienes desde el principio confiaron en esta idea, me escucharon en cada coloquio y me brindaron su apoyo para llevar a cabo este proyecto.

Al dr. Cristian, por motivarme siempre e impulsarme en este trabajo; al dr. Pablo, por aprender junto a mí sobre el tema y por su constante apoyo durante todo el proyecto. Al dr. Elian, quien con paciencia me enseñó a utilizar el software y contagió su pasión por el flujo digital. A los doctores Miguel Angel, Rosendo e Ismael, por su ayuda en la resolución de mis dudas metodológicas. Al coordinador de la maestría, el dr. Alejandro, por abrirme las puertas de su laboratorio y brindarme apoyo. A la dra. Brisa, por su ayuda y buena disposición como evaluadora. Al dr. Fernando, por enseñarme sobre modelos y contribuirme valiosas ideas. A los doctores que amablemente respondieron mis correos y llamadas para el diseño del instrumento.

A mis docentes, quienes admiro y me han enseñado lo que sé de endodoncia. A mis compañeros de la maestría, por su tiempo y participación clave en este proyecto.

A mis compañeras de generación, siempre con sus ánimos y buenas vibras, son mi mejor compañía durante este proceso.

ÍNDICE

1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	12
2. INTRODUCCIÓN.....	14
3. ANTECEDENTES	15
3.1 ANTECEDENTES GENERALES.....	15
3.2 ANTECEDENTES ESPECÍFICOS	18
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN ..	19
5. JUSTIFICACIÓN	20
6. HIPÓTESIS.....	20
7. OBJETIVOS	21
7.1 OBJETIVO GENERAL	21
7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
8. MATERIALES Y MÉTODOS	21
8.1 DISEÑO DEL ESTUDIO	21
8.2 ESTRATEGIA DE TRABAJO	21
8.3 DIAGRAMA DE FLUJO.....	22
8.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	24
8.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN	24
8.6 VARIABLES.....	26
8.7 RECURSOS.....	27
8.9 FIABILIDAD	28
8.10 UBICACIÓN ESPACIOTEMPORAL	28
8.11 ASPECTOS ÉTICOS	29
8.12 PROCEDIMIENTOS, TÉCNICAS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN	29
9. RESULTADOS	48
10. DISCUSIÓN	54
11. CONCLUSIÓN	57
12. BIBLIOGRAFÍA	58
13. ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Asignación de métodos de estudio y evaluación en alumnos de posgrado de endodoncia. Fuente propia.	24
Tabla 2. Temas más mencionados a evaluar según los expertos en cirugía periapical. Fuente propia.	30
Tabla 3. Medias de puntuación otorgada por los evaluadores sobre el desempeño de los estudiantes en la escala de Likert que va del 1 al 5. Fuente propia.	48
Tabla 4. Análisis de concordancia de las medias de puntuación otorgada por los evaluadores sobre el desempeño de los estudiantes como se muestra en la tabla 3. Fuente propia.	49
Tabla 5. Medias del tiempo (minutos) que se requirió para completar las cirugías periapicales de acuerdo al método de aprendizaje previo. Fuente propia.	49
Tabla 6. Desviación estándar de los tres casos clínicos impresos con resina. Fuente propia.	50
Tabla 7. Promedio de las diferencias entre los operadores en el caso 1 de acuerdo a cada uno de los radios, comparando estudio con CBCT y modelos. Fuente propia.	50
Tabla 8. Promedio de las diferencias entre los operadores en el caso 2 de acuerdo a cada uno de los radios, comparando estudio con CBCT y modelos. Fuente propia.	51
Tabla 9. Prueba de t de Student para el caso 1 entre CBCT y modelos. $p \geq 0.05$, no hay diferencia significativa. Fuente propia.	51
Tabla 10. Prueba de t de Student para el caso 2 entre CBCT y modelos. $p \geq 0.05$, no hay diferencia significativa. Fuente propia.	52
Tabla 11. Promedio de las diferencias entre los operadores que usaron CBCT, modelos o ambos. Fuente propia.	52
Tabla 12. Análisis ANOVA de un factor entre las medias de desviación entre estudio con CBCT, con modelo o ambos. Fuente propia.	53
Tabla 13. Media de la diferencia entre la planificación ideal y la resección apical realizada con cada método de aprendizaje. Fuente propia.	53
 Figura 1. Correo electrónico respuesta del Dr. Samuel I. Kratchman, DMD. Universidad de Pensilvania. Imagen de fuente propia.	29
Figura 2. Correo electrónico respuesta del Dr. Gilberto Debelian, DMD, PhD. Universidad de Pensilvania y Carolina del Norte. Imagen de fuente propia.	30
Figura 3. Caso 1, caso 2 y caso 3 (izquierda a derecha). Imágenes de fuente propia.	31
Figura 4. Corte longitudinal del archivo STL, donde se muestra la segmentación del órgano dentario, el maxilar y la lesión periapical. Captura de fuente propia.	32
Figura 5. Impresión correcta de los tres casos para modelos educativos. Fotografía de fuente propia.	32
Figura 6. Impresión de modelo del caso 3 con resina transparente. Fotografía de fuente propia.	33
Figura 7. Fotopolimerización de modelos opacos (izquierda). Total de modelos impresos (derecha). Fotografías de fuente propia.	33

Figura 8. Conductos obturados con gutapercha, órgano dentario en resina transparente (izquierda) y blanca (derecha). Fotografías fuente propia.	34
Figura 9. Modelo educativo impreso en resina transparente, con conducto obturado, lesión periapical y dientes adyacentes segmentados. Fotografía fuente propia.	34
Figura 10. Modelo para evaluación impreso en resina blanca opaca, montado en fantoma. Fotografía fuente propia.	35
Figura 11. Fantoma instalado en la unidad y uso del microscopio dental. Fotografía fuente propia.	35
Figura 12. Planificación de la cirugía periapical usando la imagen CBCT en el software Planmeca Romexis. Capturas fuente propia.	36
Figura 13. Planificación y práctica preoperatoria de la cirugía periapical usando modelos educativos. Fotografías fuente propia.	36
Figura 14. Planificación de la osteotomía, resección apical y retropreparación en el modelo educativo. Fotografía fuente propia.	37
Figura 15. Diseño del colgajo. Fotografías fuente propia.	38
Figura 16. Retracción y manejo de tejidos blandos. Fotografías fuente propia.	38
Figura 17. Osteotomía y resección apical. Fotografías fuente propia.	39
Figura 18. Inspección apical. Fotografías fuente propia.	39
Figura 19. Retropreparación, retroobtusión, inspección apical. Fotografías fuente propia.	40
Figura 20. Radiografía inicial (izquierda) y final (derecha).	40
Figura 21. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 1, grupo 1, que estudiaron el caso con CBCT. Fotografías fuente propia.	41
Figura 22. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 1, grupo 2, que estudiaron el caso con modelos educativos. Fotografías fuente propia.	41
Figura 23. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 2, grupo 1, que estudiaron el caso con modelos educativos. Fotografías fuente propia.	42
Figura 24. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 2, grupo 2, que estudiaron el caso con CBCT. Fotografías fuente propia.	42
Figura 25. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 3, grupo 1, que estudiaron el caso con CBCT y modelos educativos. Fotografías fuente propia.	43
Figura 26. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 3, grupo 2, que estudiaron el caso con CBCT y modelos educativos. Fotografías fuente propia.	43
Figura 27. Diseño de la osteotomía y resección apical del caso 2.	44
Figura 28. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 1, grupo 1, estudio con CBCT.	45
Figura 29. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 1, grupo 2, estudio con modelos.	45
Figura 30. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 2, grupo 1, estudio con modelos.	46

Figura 31. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 2, grupo 2, estudio con CBCT.	46
Figura 32. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 3, grupo 1, estudio con CBCT y modelos educativos	47
Figura 33. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 3, grupo 2, estudio con CBCT y modelos educativos.	47
Figura 34. Media de desviación del caso 1 entre estudio con CBCT y estudio con modelo. Fuente propia.	50
Figura 35. Media de desviación del caso 2 entre estudio con CBCT y estudio con modelo. Fuente propia.	51
Figura 36. Media de desviación entre estudio con CBCT, con modelo o ambos. Fuente propia.	52

ABREVIATURAS

CBCT	Tomografía computarizada de haz cónico
3D	Tres dimensiones
MTA	Agregado trióxido mineral
FOV	Campo de visión
STL	Formato de archivo estereolitográfico
CAD	Diseño asistido por computadora
kg	Kilogramos
mm	Milímetros
IA	Inteligencia artificial
RM	Medición del material removido
CP	Distancia entre los puntos centrales del conducto

1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

Título

Modelos educativos para mejorar el aprendizaje preoperatorio de cirugía periapical a mano alzada

Introducción

La cirugía periapical es un procedimiento para el tratamiento de dientes que han fracasado en el tratamiento endodóntico, dientes que requieran una biopsia o no sea posible realizar el abordaje de manera ortógrada. Una planificación adecuada y comprensión de la anatomía son claves para un resultado exitoso y disminuir las molestias postoperatorias (1, 4). Herramientas como las imágenes CBCT y los modelos impresos se utilizan para mejorar la educación quirúrgica en otras áreas de la odontología, permitiendo a los estudiantes simular procedimientos sin riesgo para el paciente, lo que les permite obtener habilidades técnicas y aumenta su confianza (19, 20). En el área de la endodoncia, se desconoce el efecto que puede tener el uso de estos modelos para el aprendizaje de los alumnos de posgrado si se usa solo modelos, solo el CBCT o la combinación de ambos para el aprendizaje preoperatorio y planificación de la cirugía periapical a mano alzada.

Objetivo

Evaluar el aprendizaje preoperatorio de los estudiantes de posgrado sobre cirugía periapical a mano alzada cuando se practica en modelos educativos 3D, cuando se estudia una imagen de CBCT o ambas.

Materiales y métodos

Se seleccionaron imágenes CBCT de casos que presentaran dientes unirradiculares del maxilar superior, sin fenestración de la cortical y con lesión periapical <3mm. Los archivos DICOM fueron procesados con software de segmentación y modelado digital generando archivos STL y se imprimieron. Se fabricaron dos tipos de modelo: uno en resina transparente para visualizar la anatomía interna y otro en resina opaca para la simulación quirúrgica. Se aplicó encía artificial a los modelos opacos y se montaron en un simulador de paciente odontológico para la práctica preoperatoria con magnificación. Se imprimieron modelos educativos y de evaluación para el caso 1, caso 2 y caso 3. Se evaluó a los 8 estudiantes del posgrado de endodoncia dividiéndolos en 2 grupos. El grupo 1 estudió de forma preoperatoria el CBCT y el grupo 2 los modelos educativos del caso 1, posteriormente se invirtieron los métodos de estudio para cada grupo en el caso 2 y para el caso 3 ambos grupos estudiaron con ambos métodos. Se diseñó un instrumento de evaluación a partir de las respuestas de expertos sobre qué partes de la cirugía periapical son más importantes a evaluar en la cirugía periapical y se utilizó en esta prueba piloto. Además, se evaluó el desempeño de los estudiantes escaneando el resultado postoperatorio de los modelos de simulación. Se diseñó una planificación ideal para realizar una superposición entre ambas, con el fin de comparar las diferencias entre el tamaño y posición de la osteotomía y resección apical que realizó cada alumno en relación con la planificación ideal.

Resultados

Los resultados mostraron que la combinación de CBCT y modelos 3D ofreció la mayor precisión en la osteotomía y resección apical, con una diferencia media de 0.19mm. El grupo que utilizó los modelos tuvo una diferencia de 0.63mm, el grupo de CBCT 0.94mm. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre las tres formas de aprendizaje en cuanto al tamaño y sitio de la osteotomía. En cuanto al tiempo quirúrgico, la combinación de ambos resultó en procedimientos más rápidos, más que el grupo de modelos y cercano al de CBCT. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres métodos después de la evaluación con el instrumento. El análisis de concordancia de las respuestas de los evaluadores fue alto. Los estudiantes tuvieron una impresión positiva del uso de los modelos 3D.

Discusión

La combinación de CBCT y modelos fue la que obtuvo mejor desempeño después de las evaluaciones, lo que apoya la idea de que estos modelos mejoran la formación quirúrgica preoperatoria al proporcionar un aprendizaje más completo. Los estudiantes que usaron modelos impresos también mostraron un desempeño superior a los que solo usaron CBCT, aunque la diferencia no fue significativa. Esto resalta la utilidad de los modelos impresos, como lo han señalado estudios previos (18, 23). El análisis de concordancia indica que los evaluadores estuvieron de acuerdo con sus puntuaciones, lo que indica que las diferencias no fueron causadas por desacuerdos en la evaluación. Los estudiantes calificaron positivamente el uso de los modelos, lo que coincide con estudios previos sobre que los modelos impresos mejoran la confianza de los estudiantes (20).

Conclusión

La combinación de CBCT y modelos educativos obtuvo mejores resultados en cuanto a precisión y evaluación por expertos, lo que sugiere integrar estos métodos de enseñanza mejora la educación quirúrgica en estudiantes de posgrado de endodoncia. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los métodos debido a limitaciones muestrales, esto indica que los enfoques son igualmente efectivos para la formación de los estudiantes. El siguiente paso es ampliar la muestra y validar el instrumento.

Palabras clave

Modelos educativos, CBCT, impresión 3D, flujo digital, cirugía periapical.

2. INTRODUCCIÓN

La cirugía periapical es indicada para dientes que previamente han fracasado con el tratamiento endodóntico, dientes que tienen un alto riesgo de fracasar con el abordaje no quirúrgico y cuando se requiere una biopsia (1). Comprender la forma, el tamaño y la posición de los elementos anatómicos es fundamental para el abordaje quirúrgico. La tomografía es una herramienta importante para prepararse para la cirugía (2). La impresión 3D se utiliza con éxito en otras áreas de la odontología para construir modelos educativos y mejorar la formación preoperatoria (3).

Hasta cierto punto, la cantidad de hueso retirado en la osteotomía influye en cuestiones postoperatorias como el dolor y la inflamación, y frecuentemente se potencia en los casos en los que es difícil encontrar el ápice radicular debido al grosor de la cortical. Esto podría estar relacionado con una curación más lenta, reduce la tasa de éxito para los operadores menos experimentados y requiere más tiempo (4).

Se requiere una estrategia de aprendizaje para limitar el uso de exploraciones quirúrgicas innecesarias, que no afecte el pronóstico y no aumente el riesgo de daño a las raíces cercanas y otras estructuras anatómicas (5). En ese sentido, los modelos educativos se emplean con éxito en diversas áreas de la odontología, facilitando una mejor comprensión de la anatomía, el desarrollo de habilidades quirúrgicas y el desarrollo de la confianza. Estos modelos permiten practicar y planificar sin causar daño al paciente (6). Además, los modelos 3D presentan características deseables, como desinfección, almacenamiento y preservación, siendo réplicas de las estructuras anatómicas. A diferencia de los estudios basados en la tomografía computarizada, donde el cirujano ve las imágenes en un monitor, los modelos 3D permiten una interacción física, lo que facilita la comprensión de la morfología y mejora la realización de procedimientos quirúrgicos prácticos. Este enfoque no solo optimiza la planificación quirúrgica, sino que también reduce el tiempo de operación (7).

3. ANTECEDENTES

3.1 ANTECEDENTES GENERALES

Cirugía periapical

El tratamiento endodóntico quirúrgico es una opción para los dientes con periodontitis apical. Puede ser indicado para dientes que han experimentado un tratamiento endodóntico fallido anteriormente, así como para dientes donde se requiere una biopsia y que tienen una alta probabilidad de que el tratamiento no quirúrgico fracase (1). Para localizar los ápices de la raíz de un diente infectado, este tratamiento implica extraer hueso cortical, el cual puede incluir hueso intacto. Después, el tejido perirradicular se desbrida quirúrgicamente y se extrae la resección del extremo de la raíz. Para sellar eficazmente los conductos adicionales que puedan estar presentes, se requiere una profundidad de preparación mínima de 3mm. Finalmente, se utiliza MTA (agregado trióxido mineral) u otro material retroobturator para la cavidad en el extremo de la raíz y se sutura el sitio quirúrgico (8). La precisión en la planificación y realización de la cirugía endodóntica ha mejorado gracias al uso de tecnología moderna que incluye magnificación, iluminación, microinstrumentos y tomografía computarizada de haz cónico (9). Se han observado tasas de éxito del 88,9 % al 100 % en microcirugía endodóntica (10).

Este procedimiento es especialmente difícil cuando la enfermedad apical no ha perforado la cortical o cuando el extremo de la raíz está por debajo de hueso bucal de mayor grosor, como en los segundos molares mandibulares. Debido a que el acceso quirúrgico es difícil y requiere tiempo, con frecuencia se utilizan técnicas de tratamiento alternativas, como la extracción o la reimplantación intencional. Se ha descubierto que el tamaño de la placa cortical vestibular y el diámetro de la ventana de acceso afectan el pronóstico de los dientes tratados por medio de cirugía periapical (4). Los médicos menos experimentados, en particular, pueden realizar erróneamente una osteotomía excesiva en tales casos (11).

Hay una relación directa entre el tamaño de la osteotomía y la velocidad de cicatrización: a menor tamaño de la osteotomía, más rápida es la recuperación. Por ejemplo, una lesión menor de 5mm se curaría en 6.4 meses, mientras que una de 6 a 10mm lo haría en 7.25 meses, y una lesión mayor de 10 tardaría hasta 11 meses. Por lo tanto, la osteotomía debe ser lo más pequeña posible pero lo suficientemente amplia para lograr el objetivo clínico deseado (11). Esto también influye en el grado de complicaciones postoperatorias como dolor e inflamación (10). Los procedimientos microquirúrgicos permiten reducir el tamaño de la osteotomía a un diámetro de 3 a 4mm. Aunque es ligeramente mayor que una punta ultrasónica de 3mm, este tamaño permite que la punta vibre con libertad dentro de la cavidad ósea (11). De igual forma, el software 3D utilizado para la planificación prequirúrgica de implantes se puede emplear en la resección del extremo radicular, ya que este evita dañar los dientes vecinos y determina correctamente la posición del área afectada para realizar la ventana ósea. La planificación preoperatoria de implantes con software 3D es más precisa que la inserción a mano alzada (8). El tiempo de planificación puede variar según el software, pero con una curva de aprendizaje razonable, no debería llevar mucho tiempo. Según Connort et al. en 2017, el tiempo

medio de planificación, que abarca la impresión intraoral digital, la planificación virtual y el diseño de guías, es de 9,4 minutos (2).

Tomografía computarizada de haz cónico (CBCT)

El desarrollo de la tomografía computarizada en odontología permitió la visualización tridimensional de la dentición, el esqueleto maxilofacial y las estructuras anatómicas adyacentes. En la práctica de endodoncia, la tomografía computarizada se ha convertido en un método de diagnóstico común (12). Por consecuencia, las imágenes CBCT han demostrado ser una herramienta esencial para la evaluación de casos y la planificación del tratamiento en cirugía apical (13). Se puede realizar la optimización de la resección del extremo de la raíz a través del acceso por la cortical vestibular en términos de precisión (14).

Las unidades FOV (field of view) pequeñas, a veces llamadas unidades FOV limitadas, son cada vez más comunes, con FOV tan pequeños como 4 x 4 cm(15). Según la extensión de su "campo de visión" (FOV), las unidades CBCT se clasifican en volumen grande, mediano o limitado. El volumen de escaneo de las máquinas CBCT se describe por el tamaño del FOV y la extensión de la anatomía incluida en la imagen está determinada por el volumen. El campo de visión debe, en la mayor medida posible, exceder sólo ligeramente el tamaño de la zona de interés.(16) Estas unidades limitadas son ideales para aplicaciones de endodoncia y son adecuadas para imágenes dentoalveolares. Basta con valorar el diente a operar y los tejidos circundantes para evitar daños iatrogénicos (15). Las imágenes con CBCT son instrumento útil para el estudio previo a la cirugía periapical. Se puede determinar el diámetro y ubicación de la lesión periapical, el grosor del hueso y la proximidad a estructuras anatómicas adyacentes como el nervio dentario inferior, el nervio mentoniano, el seno maxilar y las raíces adyacentes (17).

La resolución y los artefactos creados por las restauraciones, el material de obturación y las prótesis que podrían causar artefactos e interferir con la visualización de los sitios anatómicos son algunas de las limitaciones del estudio de la imagen por CBCT. Otra consideración es que se trata de una representación 3D en una pantalla bidimensional (18).

Impresión 3D y flujo digital

Para obtener una impresión 3D, luego de adquirir un modelo físico o digital del paciente vía escáner o CBCT, se crea un diseño en archivo STL que dependerá de lo que se quiera hacer. Por ejemplo, un modelo, aplicaciones y prótesis diseñadas con software CAD. Posteriormente, el modelo se prepara para la impresión, se agregan postes que ayudarán a que se sostenga el modelo a la platina de la impresora, y los datos del archivo se envían a la impresora donde se deposita capa por capa. Finalmente, durante el post procesamiento se eliminan los postes y se sigue un protocolo final de curado y pulido (3). Las aplicaciones de impresión 3D en endodoncia se centrarán principalmente en réplicas de órganos dentales para

autotrasplantes, la construcción de guías quirúrgicas y no quirúrgicas con aditamentos para el diseño de implantes y modelos educativos (5).

La impresión de alta resolución en ya es una práctica común en ortodoncia, y tecnologías similares se están utilizando para crear modelos en rehabilitación oral, lo cual ha cobrado gran relevancia con el crecimiento de sistemas de escaneo intraoral. Cada vez es más normal y obligatorio en cirugía craneofacial e implantológica utilizar modelos anatómicos realizados mediante diversos procesos de impresión 3D para ayudar en la planificación de procedimientos complejos. Se ha comprobado que el empleo de guías quirúrgicas impresas en materiales como resina o nailon, que son esterilizables en autoclave, puede hacer que las cirugías sean menos invasivas y más predecibles (3).

Modelos educativos

Para la práctica preclínica, las escuelas de odontología han utilizado tradicionalmente dientes extraídos, cadáveres humanos, bloques de resina o dientes de resina disponibles comercialmente (3). Basados en escaneos de imágenes 3D, software de planificación virtual 3D y procesos de impresión 3D, los modelos impresos en 3D se han empleado eficazmente en prostodoncia, ortodoncia, operaciones ortognáticas, craneofaciales y orales, así como en procedimientos maxilofaciales (19). En estudios anteriores se utilizaron para la conformación quirúrgica de placas mandibulares, la práctica preclínica de extracción de dientes supernumerarios y como sustituto de piezas extraídas (6,20,21). Como resultado del uso de estos modelos se adquiere un conocimiento profundo de la anatomía, habilidades clínicas específicas y una mayor confianza. Es posible practicar y planificar sin poner en peligro al paciente. Estos modelos tendrán excelentes propiedades de desinfección, almacenamiento y conservación. También serán prototipos idénticos. La reducción de los tiempos operatorios, la mejora de la comodidad del paciente y la facilitación del desarrollo de las habilidades del operador se encuentran entre las ventajas que incluyen simplificación, menor invasión y mayor precisión (19).

Una clase teórica no puede sustituir la formación práctica por un modelo realista en términos de la obtención de experiencia. Como beneficio adicional, estos modelos podrían usarse para llegar a un público más amplio, como dentistas generales, quienes podrían obtener experiencia práctica y conocimiento por medio de estos (20). Debido a la reproducibilidad ilimitada de la tecnología de impresión 3D, el médico puede aprender mediante prueba y error durante una cirugía de simulación sin causar ningún daño a los pacientes (21). Además de tener un profundo conocimiento teórico de la cirugía, se espera que los operadores sean competentes en habilidades clínicas específicas. Por lo tanto, el entrenamiento de habilidades preclínicas es fundamental para que los estudiantes de odontología obtengan confianza y habilidades clínicas (6).

3.2 ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

Cohen et al. en 2009 en el área de cirugía maxilofacial presentaron tres casos que demuestran el uso de la tecnología 3D en la reconstrucción de tumores mandibulares con una placa de reconstrucción preconformada. Imprimieron el hueso del paciente para practicar el procedimiento y amoldar las placas que serían utilizadas. Las ventajas de las técnicas de modelos 3D incluyen la comprensión de la morfología ósea, una planificación precisa y más fácil de doblar la placa de forma preoperatoria (7).

Lambretch et al. en 2010 utilizaron modelos educativos impresos en 3D para simular casos complejos y avanzados de cirugía de terceros molares antes de realizar la operación real por parte de los residentes. Concluyeron que la obtención de modelos 3D basados en datos de CBCT puede ser una técnica útil para demostrar, planificar y educar. La educación quirúrgica con estos modelos podría ser un método alternativo conservador (18).

Por otro lado, Reymus et al. en 2018 en el área de traumatología dental evaluaron la viabilidad de crear un modelo realista para la formación práctica utilizando tecnología de impresión 3D. Concluyeron que la formación práctica utilizando un modelo realista es capaz de ampliar la experiencia para el tratamiento de lesiones dentales traumáticas mucho más que con una conferencia teórica. Como beneficio adicional, este modelo podría usarse para llegar a un público más amplio, por ejemplo, dentistas generales; podrían aumentar su conocimiento de las lesiones traumáticas en los dientes con capacitación práctica y adquirir experiencia adicional en este campo específico (20).

Reymus et al. en 2019 en propusieron prototipos de órganos dentales impresos en 3D con objetivo final de crear dientes artificiales que fueran realistas y representaran una alternativa a los dientes humanos extraídos y las réplicas comerciales para el entrenamiento en endodoncia. Se midió la veracidad y precisión de los dientes impresos para evaluar la exactitud del proceso de impresión. Se concluyó que estos podrían ser una opción para que reemplazara los dientes humanos con la ventaja de ser reproducibles. Una diferencia que observaron es que es más fácil de preparar los modelos probablemente porque la dureza de la dentina es mayor a la de la resina (22).

Oza et al. en 2022 hicieron un estudio con el objetivo de determinar si los modelos impresos en 3D pueden influir en la planificación del tratamiento y las decisiones que tomará el operador. De igual manera, evaluaron el efecto de la planificación apoyada en el 3D en la confianza del operador. Utilizaron modelos educativos impresos en 3D para la planificación de la cirugía periapical. Los resultados que obtuvieron fueron que la disponibilidad de los modelos impresos en 3D no alteró el enfoque quirúrgico de los participantes, pero mejoró significativamente su confianza para la microcirugía endodóntica (23).

Zhang et al. en 2023 desarrollaron un modelo de diente impreso en 3D con un escalón en el conducto radicular como herramienta educativa para la formación en endodoncia. Diseñaron un instrumento de evaluación basado en un cuestionario tipo Likert de ocho ítems para valorar la calidad y efectividad educativa del modelo

de diente impreso en 3D. Este cuestionario evaluó aspectos como el realismo del modelo, la utilidad en la identificación y manejo de escalones en los conductos radiculares y su potencial aplicación en la educación endodóntica. Determinaron que la n necesaria para validar el instrumento de evaluación fue de 30 participantes. Este tamaño muestral fue establecido utilizando el método n-Star, asegurando que la cantidad de participantes fuera suficiente para obtener resultados estadísticamente significativos (24).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La microcirugía endodóntica representa un reto ante la falta de experiencia clínica. Para lograr un abordaje quirúrgico exitoso es necesario conocer la forma, tamaño y localización de las estructuras anatómicas. La tomografía es una herramienta esencial para el estudio antes de realizar la cirugía. En otras áreas de la estomatología la impresión 3D se utiliza para producir modelos educativos y mejorar con éxito el aprendizaje preoperatorio.

En el área de endodoncia, se desconoce el efecto del estudio de los modelos educativos producidos con flujo digital sobre el aprendizaje de alumnos sin experiencia, en comparación al estudio de imágenes de CBCT para realizar cirugía apical a mano alzada.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Mejora el aprendizaje de cirugía periapical con modelos educativos en comparación con el uso de solo CBCT para el estudio preoperatorio?

5. JUSTIFICACIÓN

En la microcirugía endodóntica el factor que puede ser asociado con una menor y más lenta curación es la extensión de la destrucción ósea periapical. La extensión de la osteotomía también influye en cierto grado a las complicaciones postoperatorias como el dolor y la inflamación, lo cual suele incrementar en los casos en los que es difícil la localización del ápice radicular debido al grosor de la cortical bucal. Esto disminuye la tasa de éxito para los clínicos con menos experiencia y requiere de un mayor tiempo de trabajo.

Los modelos educativos son usados en el entrenamiento quirúrgico preclínico para mejorar las habilidades técnicas y la resolución de problemas que se pueden presentar durante el procedimiento. El clínico puede aprender durante la simulación quirúrgica sin causar daño a los pacientes. Los avances de la tecnología 3D han resuelto gradualmente la limitación de los modelos animales con el uso del CBCT para hacer modelos educativos que permiten una simulación quirúrgica personalizada en otras áreas de la odontología. A diferencia de la tomografía computarizada, donde el operador ve imágenes en un monitor, con estos modelos 3D es posible interactuar físicamente, haciendo más fácil el entendimiento de la morfología. Sin embargo, en el área de la cirugía endodóntica estos modelos no han sido evaluados acerca de su beneficio en el aprendizaje preoperatorio en clínicos sin experiencia y en comparación al estudio con una imagen de CBCT.

Existe la necesidad de una forma de aprendizaje que pueda minimizar la exploración quirúrgica innecesaria, no afecte el pronóstico y la posibilidad de dañar las raíces adyacentes y las otras estructuras anatómicas.

El presente estudio pretende comparar el efecto en el aprendizaje de alumnos de posgrado sobre cirugía periapical a mano alzada cuando se utilizan modelos educativos para una práctica preoperatoria a cuando no se practica.

6. HIPÓTESIS

HIPÓTESIS CIENTÍFICA

El aprendizaje con modelos educativos mejora la práctica de cirugía apical en comparación con el uso de solo CBCT en el estudio preoperatorio.

HIPÓTESIS NULA

El aprendizaje con modelos educativos no mejora la práctica de cirugía apical en comparación con el uso de solo CBCT en el estudio preoperatorio.

7. OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el aprendizaje preoperatorio de los estudiantes de posgrado sobre cirugía periapical a mano alzada cuando se practica en modelos educativos 3D, cuando se estudia una imagen de CBCT o ambas.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseño del instrumento de evaluación del aprendizaje de los alumnos de posgrado al utilizar el modelo educativo.
2. Evaluar la superposición de las medidas de planeación con respecto a las medidas obtenidas de la evaluación tras el estudio con una imagen de CBCT.
3. Evaluar la superposición de las medidas de planeación con respecto a las obtenidas de la evaluación tras el estudio con una impresión 3D.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

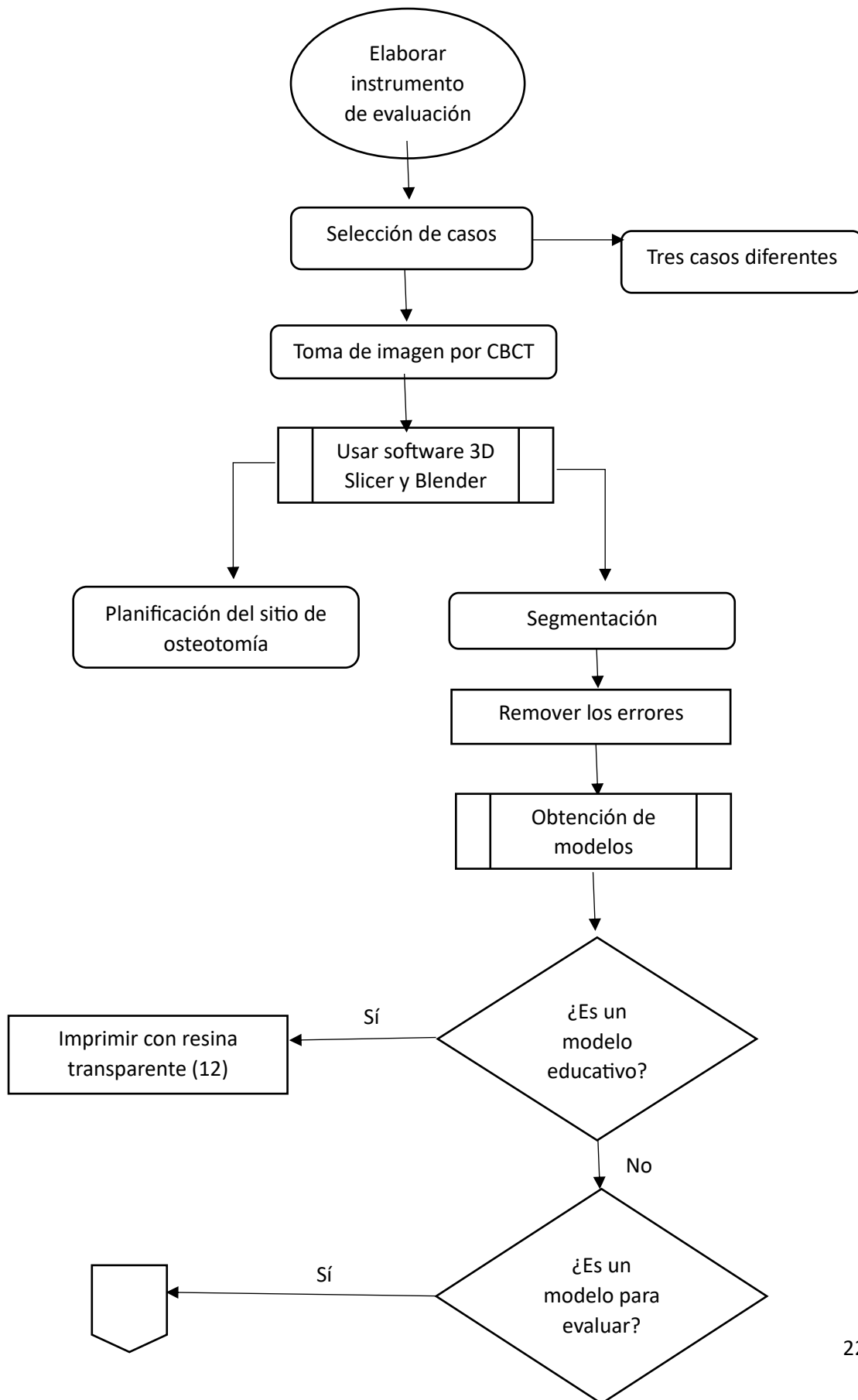
8.1 DISEÑO DEL ESTUDIO

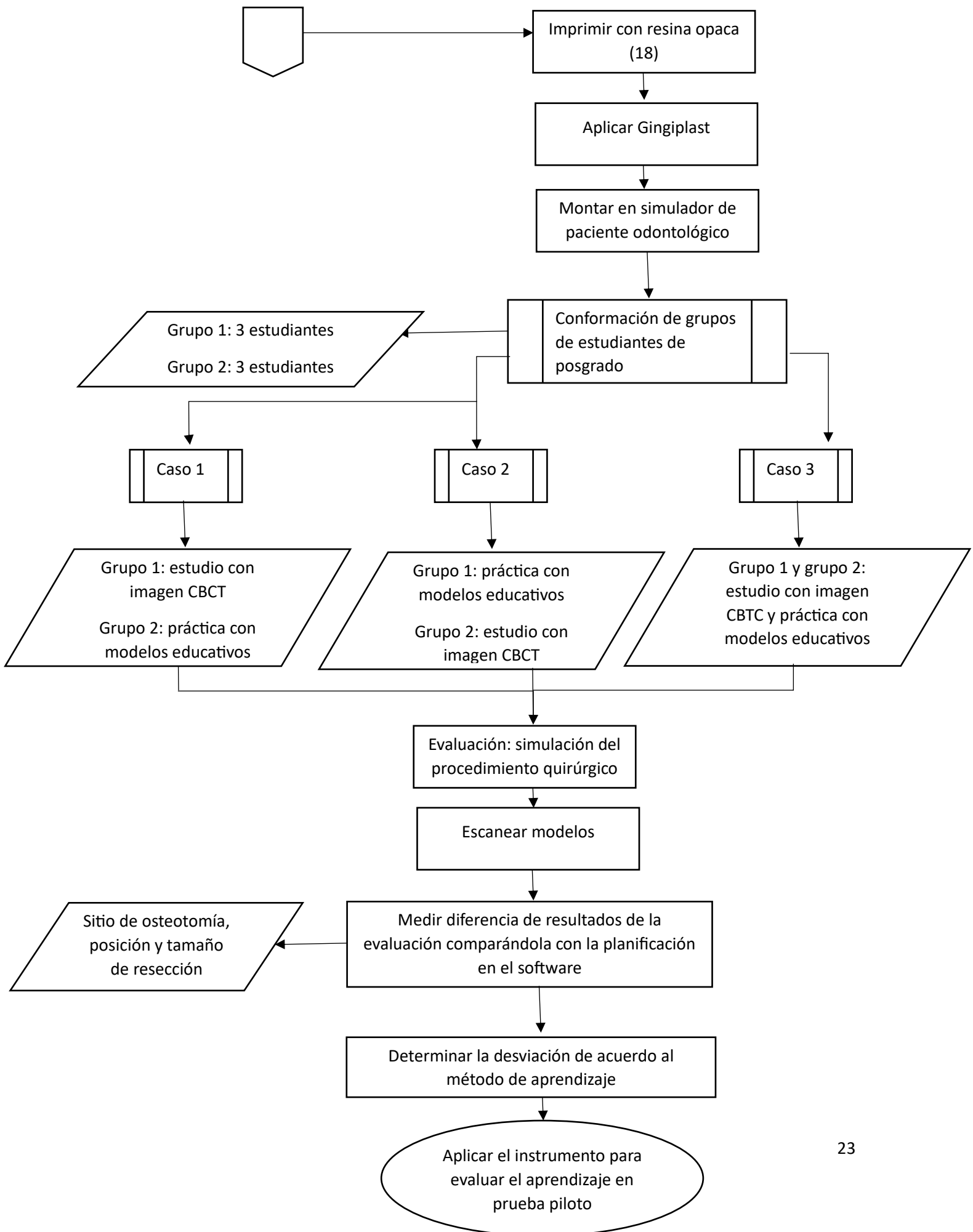
Prospectivo, comparativo, longitudinal, ex vivo.

8.2 ESTRATEGIA DE TRABAJO

1. Diseño del instrumento de evaluación.
 - 1.1 Definir los criterios de evaluación para una cirugía periapical.
 - 1.2 Elaborar un cuestionario tipo Likert.
 - 1.3 Aplicar ajustes necesarios según los resultados de las pruebas piloto.
2. Evaluar la superposición de medidas de planeación.
 - 2.1 Selección de casos clínicos.
 - 2.2 Diseño e impresión de modelos educativos y modelos de evaluación.
 - 2.3 Seleccionar una muestra de alumnos de posgrado y definir los casos clínicos a analizar y el método de estudio.
 - 2.4 Realizar la planeación del procedimiento utilizando software Blender.
 - 2.5 Obtener escaneo postintervención para comparar las medidas planeadas y obtenidas.
 - 2.6 Analizar la desviación de la planeación mediante la superposición de imágenes en el software.

8.3 DIAGRAMA DE FLUJO





8.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

8 estudiantes del posgrado de endodoncia.

Dos grupos de cuatro estudiantes asignados aleatoriamente del posgrado en endodoncia.

Caso 1

Grupo 1: estudio con CBCT. Grupo 2: estudio con modelos de resina transparente (en total 4). Evaluación: ambos grupos con 8 modelos de resina opaca.

Caso 2

Grupo 1: estudio con modelos de resina transparente (en total 4). Grupo 2: estudio con CBCT. Evaluación: ambos grupos con 8 modelos de resina opaca.

Caso 3

Grupo 1 y 2: estudio con CBCT y modelos de resina transparente (en total 8). Evaluación: ambos grupos con 8 modelos de resina opaca.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Grupo 1	CBCT	Modelos (4)	Ambos
Grupo 2	Modelos (4)	CBCT	Ambos
Evaluación	Modelos (8)	Modelos (8)	Modelos (8)

Tabla 1. Asignación de métodos de estudio y evaluación en alumnos de posgrado de endodoncia. Fuente propia.

8.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN ESTUDIANTES DE POSGRADO

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Estudiantes del posgrado de endodoncia de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Disponibilidad para participar en todas las fases del estudio.
- Sin experiencia previa siendo operador de cirugía periapical.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Experiencia previa en cirugía periapical como operador.
- Estudiantes de otro posgrado que no sea endodoncia.
- Estudiantes de posgrado de endodoncia u otro posgrado que no pertenezcan a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Falta de disponibilidad para completar todas las fases del estudio.

CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- Abandono del estudio antes de completar todas las evaluaciones.
- Incumplimiento de las instrucciones del estudio.

- Interrupción del estudio por razones externas.

MODELOS

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Modelos de resina producidos con impresión 3D a partir de una imagen de CBCT.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Modelos que tras su impresión no reproduzcan correctamente las características de la imagen CBCT y no sea posible realizar las mediciones requeridas.

CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- Modelos fracturados o que sufran algún daño que pueda intervenir con las mediciones.

CASOS CLÍNICOS (IMÁGENES DE CBCT)

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- FOV 5x5x5.
- Imagen de CBCT del maxilar superior.
- El órgano dentario a operar unirradicular, con lesión periapical de diámetro menor a 4mm.
- El sitio a operar sin fenestración de la cortical bucal.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Estudio de CBCT que no cumpla con el FOV 5x5x5.
- Imagen de CBCT del maxilar inferior.
- El órgano dentario a operar es multirradicular, con lesión periapical de diámetro mayor a 4mm.
- El sitio a operar tiene fenestración de la cortical bucal.

CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- Estudios de CBCT con calidad inadecuada, ya sea por movimiento o artefactos.

DISEÑO Y TIPO DE MUESTREO

- No probabilístico por conveniencia, de acuerdo a la disponibilidad de estudiantes del posgrado en endodoncia.
- Asignación a los grupos aleatoria.

8.6 VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Escala y categoría
Variable independiente			
Modelos educativos	Modelo impreso en resina a partir de la adquisición de una imagen digital CBCT para el aprendizaje preoperatorio de la cirugía periapical.	Modelos obtenidos por impresión 3D a partir de una imagen 3D. 3 modelos de resina transparente y 6 de resina opaca polyjet para el caso 1. 3 modelos de resina transparente y 6 de resina opaca polyjet para el caso 2. 6 modelos de resina transparente y 6 de resina opaca polyjet para el caso 3.	Cualitativo ordinal.
Variable dependiente			
Cirugía periapical	Tratamiento endodóntico quirúrgico que incluye la osteotomía y la resección apical de la raíz del diente.	Osteotomía: 3-4mm Resección apical: 3mm	mm. Continua. Cuantitativa.
Aprendizaje	Capacidad del estudiante de reconocer y ejecutar los pasos de la cirugía periapical evaluado a través del instrumento.	Cuestionario contestado por un evaluador sobre el desempeño del estudiante basado en los pasos más importantes de la cirugía según expertos en el área de cirugía periapical.	Escala de Likert. Ordinal. Cualitativa.

MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- Prospectivo.

8.7 RECURSOS

RECURSOS HUMANOS

Alumna de posgrado: C.D. Patricia Ruiz Torres

Director de tesis: D.C. Cristian Dionisio Román Méndez

Director disciplinario: C.D.E.E. Pablo Alberto González Oviedo

Director metodológico: D.C. Miguel Angel Casillas Santana.

Asesor externo: E.E. Anuar Elian Barona Triviño

RECURSOS MATERIALES

- CBCT
- Computadora
- Software Planmeca Romexis, 3D Slicer y Blender
- Impresora 3D Anycubic Photon M5s
- Escáner oral
- Ultrasonido
- Radiovisiógrafo
- Modelos educativos maxilares con 2kg. de resina opaca (Anycubic)
- Modelos educativos maxilares con 2kg. De resina transparente (Anycubic)
- Gingifast (Zhermack)
- 4 microscopios dentales
- 4 simuladores de paciente odontológico
- 5 litros de alcohol
- Gutapercha termoplastificada
- Sistema de obturación ZUp
- Cera pegajosa
- 4 básicos
- 4 kits de cirugía periapical
- 24 hojas de bisturí no. 15
- 4 mangos para bisturí
- 4 portaagujas
- 4 pinzas para suturar
- 4 separadores de minesota
- 4 piezas de mano
- 4 sindesmotomos
- Azul de metileno
- 24 microbrush
- Fresas de carburo 3 y 4
- Fresas Zekrya
- Guantes
- Campos

- Cubrebocas
- Cámara
- Puntas de ultrasonido CT1, CT2 y CT3
- IRM
- 4 sondas periodontales
- 24 suturas 5-0 Vicryl
- 4 tijeras
- 8 jeringas para irrigación
- 2 litros de solución salina
- 8 eyectores quirúrgicos
- 4 pinzas mosco

RECURSOS FINANCIEROS

Financiados por la beca CONAHCYT.

8.9 FIABILIDAD

El protocolo de este trabajo fue revisado y aprobado por el Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología (CIFE) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) en enero de 2024. Además, con el objetivo de fortalecer conocimientos en la construcción y validación de instrumentos, se tomó el curso de "Construcción y Validación de Instrumentos de Investigación", organizado por el Consorcio de Investigación y Capacitación en Estadística e Informática para el Desarrollo (CICEID), que se finalizó en diciembre de 2023. También se tomó un curso adicional "Construcción y validez de un instrumento cuantitativo con IA y Jamovi", organizado por la Escuela de Investigación científica con respaldo de Scientific Investigation Analytics, que finalizó en febrero de 2025. Por otro lado, en septiembre de 2023, se realizó un intercambio académico en la Universidad del Valle en Cali, Colombia, donde se obtuvo contacto con el asesor externo y se aprendió a manejar herramientas como 3D Slicer y Blender, esenciales para el proyecto. Desde octubre de 2023 hasta marzo de 2024, se mantuvieron reuniones periódicas con el asesor a través de Zoom. En abril de 2024, el especialista Elian Barona visitó el posgrado para impartir un curso sobre Flujo Digital en endodoncia.

8.10 UBICACIÓN ESPACIOTEMPORAL

- Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Voxel Laboratorio de Diagnóstico por Imagen

8.11 ASPECTOS ÉTICOS

Este estudio se apega a la Ley General de salud en materia de investigación y a los principios de Helsinki que garantiza la integridad física y mental de los pacientes (25)

8.12 PROCEDIMIENTOS, TÉCNICAS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN

Diseño de los ítems del instrumento de evaluación

Se enviaron 23 correos electrónicos a especialistas en endodoncia expertos en cirugía periapical, en los que se explicó brevemente el proyecto y se les consultó sobre los aspectos más relevantes de la cirugía periapical que deberían evaluarse cuando un estudiante realiza el procedimiento. De estos, se recibieron 8 respuestas (figura 1 y 2), las cuales permitieron elaborar una lista con las partes del procedimiento mencionadas, así como sus especificaciones. A partir de esta información, se organizó una tabla (tabla 2) para identificar los temas más mencionados, los cuales se consideraron para el diseño del instrumento de evaluación. Se diseñó un instrumento (**anexo 1**) dividido en dos partes, una contestada por el evaluador y la otra por el alumno. Se utilizó una escala de Likert, del 1 al 5, donde 1 es “totalmente en desacuerdo” y 5 “totalmente de acuerdo. La primera parte del instrumento, incluye la dimensión “Conocimiento y comprensión” con 2 ítems, “Habilidades prácticas” con 14 ítems. La segunda parte incluye la dimensión “Satisfacción y motivación” con 3 ítems, “Confianza y autoevaluación” con 2 y “Transferencia de conocimientos a la práctica clínica” con 1 ítems. En total 22 ítems.

Re: Hello Dr. Kratchman. May I ask you a couple of questions? I'm an endo student from Mexico

Samuel Kratchman <sikratch@comcast.net>

Mié 29/11/2023 09:45 AM

Para: Patricia Ruiz Torres <paaty_rt@hotmail.com>

Dear Dr Torres,

Thank you for reaching out about teaching residents apical surgery. That is my main responsibility at the University of Pennsylvania. I have worked with models to demonstrate surgery and use of piezotome. I believe the best models are to mount real extracted teeth into stone so when we cut the apices off and use ultrasonic tips for root-end preparation, it feels like a real tooth and cuts like one. I have worked with plastic teeth and 3D printed teeth and they don't cut the same.

As far as what is important in teaching the residents about surgery; you need to accurately assess the cbct and measure 3mm from apex, which is where the osteotomy starts. Then proper positioning of the patient, the doctor and the microscope, and as you progress then you want smooth and efficient work. The procedure should not take more than 45 minutes.

Hope this helps and good luck with your research

All the best

Sam Kratchman

Figura 1. Correo electrónico respuesta del Dr. Samuel I. Kratchman, DMD. Universidad de Pensilvania. Imagen de fuente propia.

3D

Gilberto Debelian <gildeb@mac.com>

Vie 10/11/2023 7:55

Para: PATRICIA RUIZ TORRES <patricia.ruizt@alumno.buap.mx>

No suele recibir correos electrónicos de gildeb@mac.com. [Por qué esto es importante](#)

Dear Patricia,

It was very nice hearing from you and your positive feedback on our lectures at EndoSapiens. I remember we took some pictures with the Mexican group. It would be great to get one of those group pictures.

Your question is very good and we normally use pre and post op CBCT for all our courses and analyse the results on a 3D format with the participants. There are 5 items I normally will be discussing:

1- The size and the position of the bone window. If there is no natural fenestration it should be around 4mm in diameter and getting the tip of the root on the center of the window.

2- The angulation of the root tip resection. Should be 0 degrees, not over or under bevelling.

3- The position of the retrograde preparation, not over extending laterally (M or D)

4- depth of the isthmus

5- Time used for each exercise (soft tissue management, hard tissue treatment, retrograde application and suturing). This should be used providing that all will be using the same model. But this item I do not like to stress so much because time and quality go together.

I hope this answer helps you to go forward planning your educational tools and evaluation.

Stay well and best regards

Figura 2. Correo electrónico respuesta del Dr. Gilberto Debelian, DMD, PhD. Universidad de Pensilvania y Carolina del Norte. Imagen de fuente propia.

Temas para evaluar según expertos							
	Gilberto Debelian	Ashraf Fouad	Talal al-Nahlawi	Paula Villa	Armando Lara	Gustavo Castillo	Samuel Kratchman
Diagnóstico				X	X		
Tomografía					X		X
Retratamiento					X		
Anestesia					X		
Diseño de colgajo			X	X	X	X	
Retracción			X				
Manejo de tejidos blandos	X			X			
Hemostasia					X	X	
Ventana ósea/osteotomía	X	X	x	X	X	X	X
Manejo de tejidos duros	x						
Resección apical	X				X	X	
Retropreparación	X			X	X	X	
Retroobtención					X		
Hueso o membrana					X		
Sutura	X			X	X	X	
Magnificación					X		X
Tiempo	X	X	X				
Posición del paciente							X
Cuestionario a estudiantes		X					

Tabla 2. Temas más mencionados a evaluar según los expertos en cirugía periapical. Fuente propia.

Además, se participó en el curso "Construcción y Validación de Instrumentos de Investigación", organizado por el Consorcio de Investigación y Capacitación en Estadística e Informática para el Desarrollo (CICEID), el cual se completó en diciembre de 2023 con una duración total de 40 horas. También se tomó el curso "Construcción y validez de un instrumento cuantitativo con IA y Jamovi", ofrecido por la Escuela de Investigación Científica con respaldo de Scientific Investigation Analytics, que se finalizó en febrero de 2025.

Selección de casos

Para la selección de los 3 casos clínicos utilizados en este estudio (figura 3), se realizó una búsqueda exhaustiva en la base de datos de pacientes disponibles, con el objetivo de asegurar que los casos seleccionados tuvieran una dificultad similar. Los criterios de inclusión fueron estrictos. Se consideraron únicamente los casos correspondientes a maxilar superior, con órganos dentarios unirradiculares, se estableció que las lesiones periapicales debían ser menores a 4 mm de diámetro y no presentar fenestración de la cortical bucal. Esto se determinó con el visor Planmeca Romexis. Se especificó que todos los casos fueran obtenidos con el mismo campo de visión de 5x5x5.

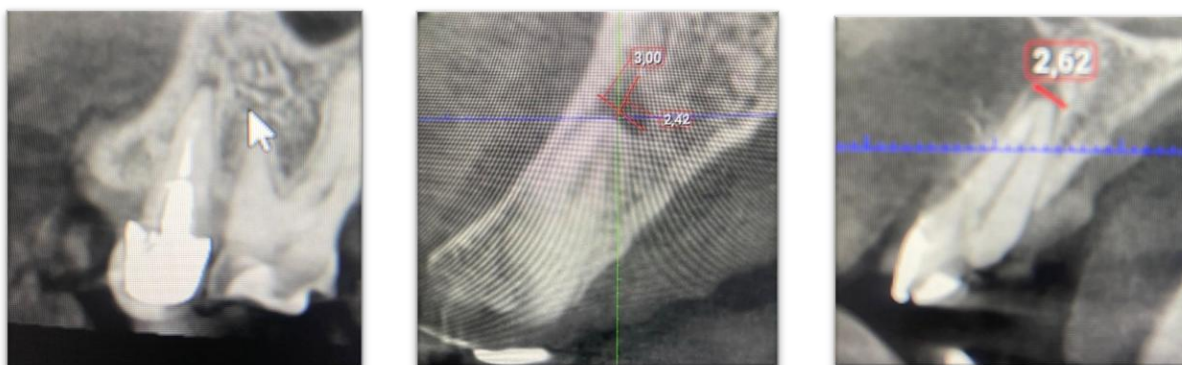


Figura 3. Caso 1, caso 2 y caso 3 (izquierda a derecha). Imágenes de fuente propia.

Diseño de los modelos

El diseño de los modelos se llevó a cabo con el propósito de generar archivos STL segmentados que permitieran una visualización detallada de las estructuras anatómicas relevantes para el estudio (figura 4). El proceso de diseño comenzó con el contacto inicial con el asesor externo durante un intercambio académico en la Universidad del Valle en Cali, Colombia. En esta oportunidad, se estableció una colaboración estrecha con el asesor externo y el asesor disciplinario por medio de reuniones por Zoom, con el objetivo de aprender a utilizar el software 3D Slicer y Blender para la creación de los modelos.

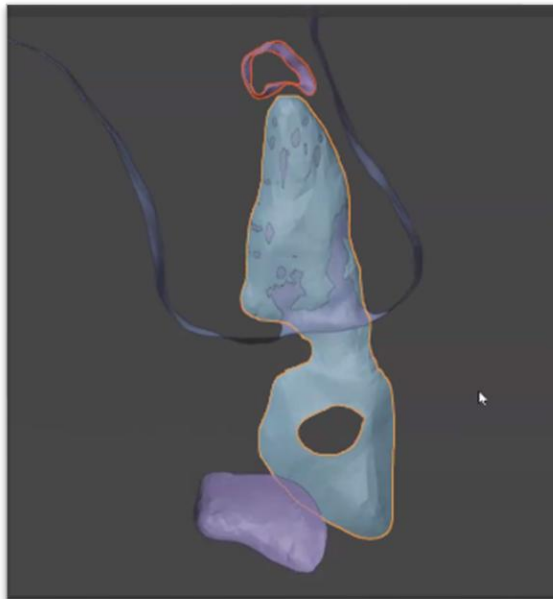


Figura 4. Corte longitudinal del archivo STL, donde se muestra la segmentación del órgano dentario, el maxilar y la lesión periapical. Captura de fuente propia.

Se imprimieron un total de 16 modelos educativos utilizando resina transparente, con el fin de obtener representaciones detalladas y claras de las estructuras dentales. Además, se imprimieron 24 modelos de evaluación con resina blanca opaca, como se muestra en la Tabla 1 y Figuras 5-7.



Figura 5. Impresión correcta de los tres casos para modelos educativos. Fotografía de fuente propia.



Figura 6. Impresión de modelo del caso 3 con resina transparente. Fotografía de fuente propia.



Figura 7. Fotopolimerización de modelos opacos (izquierda). Total de modelos impresos (derecha).
Fotografías de fuente propia.

En estos modelos, se obtuvieron los órganos dentarios con conducto artificial, los cuales fueron obturados con gutapercha termoplastificada para simular el proceso de obturación endodóntica (figura 8). Los dientes fueron montados en el modelo, obteniendo así un modelo de estudio con las características específicas que se buscaban: una lesión periapical segmentada, el conducto obturado para la retropreparación, y los dientes adyacentes segmentados como referencia para la osteotomía (figura 9).



Figura 8. Conductos obturados con gutapercha, órgano dentario en resina transparente (izquierda) y blanca (derecha). Fotografías fuente propia.

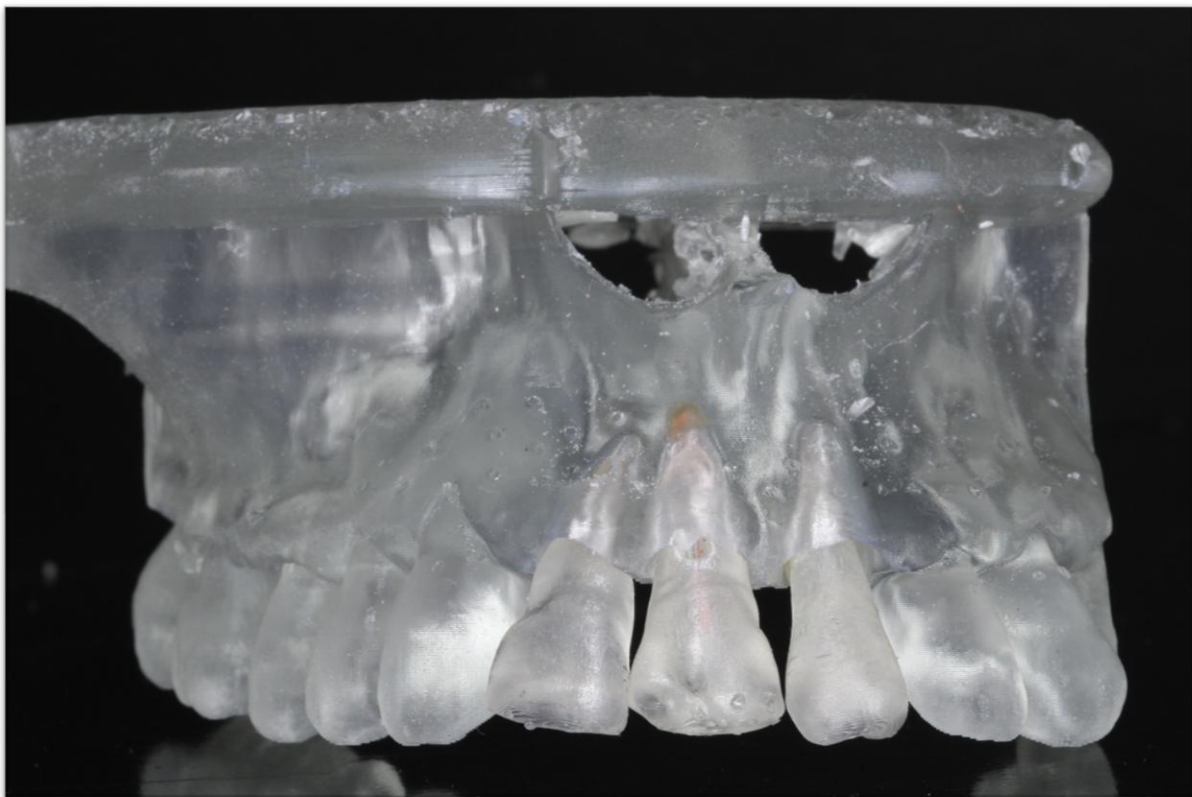


Figura 9. Modelo educativo impreso en resina transparente, con conducto obturado, lesión periapical y dientes adyacentes segmentados. Fotografía fuente propia.

Asimismo, se elaboró un modelo de evaluación, en el cual se colocó encía artificial para simular el tejido gingival, y se montó en un fantoma. Este conjunto fue montado en la unidad dental, permitiendo la visualización de los modelos mediante el

microscopio dental. Se obtuvieron otros tres fantomas, los cuales fueron prestados gracias al depósito dental Keiko.



Figura 10. Modelo para evaluación impreso en resina blanca opaca, montado en fantoma. Fotografía fuente propia.



Figura 11. Fantoma instalado en la unidad y uso del microscopio dental. Fotografía fuente propia.

Prueba piloto y aplicación del instrumento

Caso 1

El grupo 1 se encargó de estudiar la planeación digital del sitio de osteotomía y la tomografía correspondiente al caso 1 (figura 12). Por otro lado, el grupo 2 practicó la cirugía periapical a mano alzada en los modelos educativos transparentes del caso 1 (figura 13).

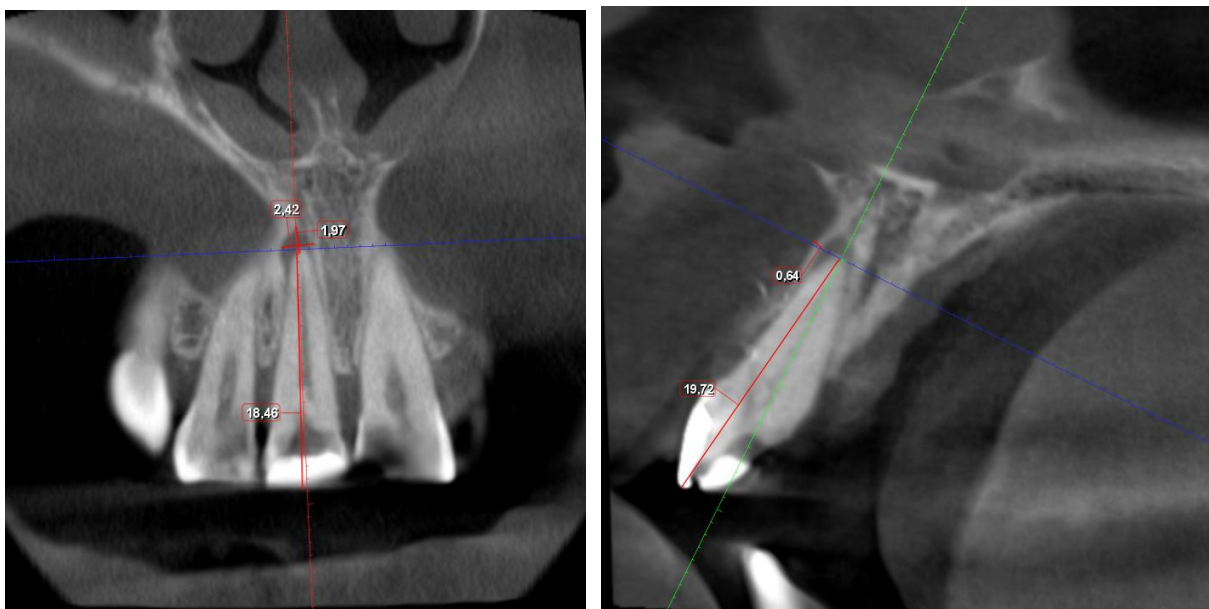


Figura 12. Planificación de la cirugía periapical usando la imagen CBCT en el software Planmeca Romexis. Capturas fuente propia.



Figura 13. Planificación y práctica preoperatoria de la cirugía periapical usando modelos educativos. Fotografías fuente propia.



Figura 14. Planificación de la osteotomía, resección apical y retropreparación en el modelo educativo. Fotografía fuente propia.

Posteriormente, a los participantes se les solicitó que llevaran a cabo la elevación del colgajo, la osteotomía y la resección apical de manera manual en el modelo educativo de resina opaca, que se montó en el simulador (figuras 14-25).

Caso 2

En el caso 2, se invirtió el método de aprendizaje para los grupos. El grupo 1 practicó la cirugía periapical a mano alzada en los modelos educativos de resina transparente. Mientras tanto, el grupo 2 estudió la planeación digital del sitio de osteotomía y la tomografía asociada al caso 2.

Al igual que en el primer caso, se pidió a ambos grupos que realizaran el procedimiento quirúrgico en un modelo educativo de resina opaca, el cual se montó en el simulador.

Caso 3

En el caso 3, ambos grupos estudiaron la planeación digital y practicaron la cirugía en los modelos educativos transparentes. Posteriormente, fueron evaluados al realizar el procedimiento en un modelo educativo de resina opaca montado en el simulador.

Se realizaron escaneos digitales de los modelos 3D de resina opaca para analizar los resultados obtenidos.

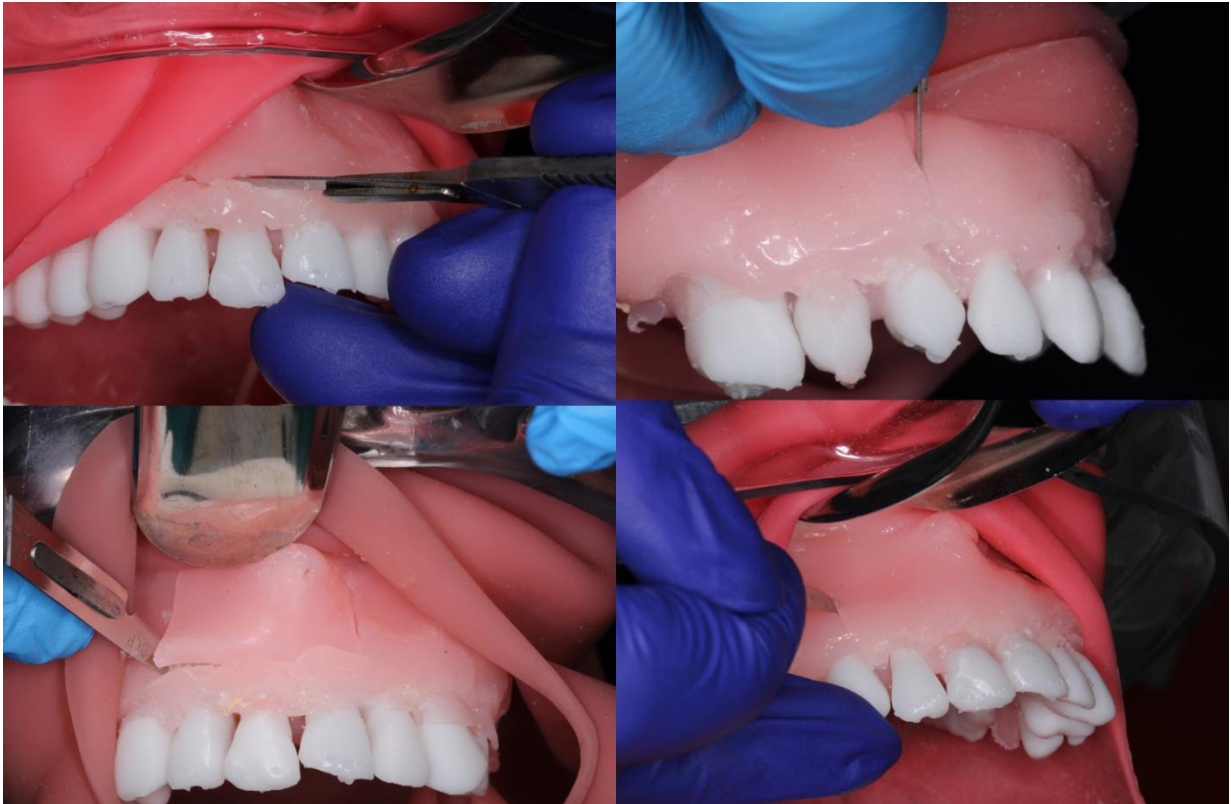


Figura 15. Diseño del colgajo. Fotografías fuente propia.



Figura 16. Retracción y manejo de tejidos blandos. Fotografías fuente propia.



Figura 17. Osteotomía y resección apical. Fotografías fuente propia.

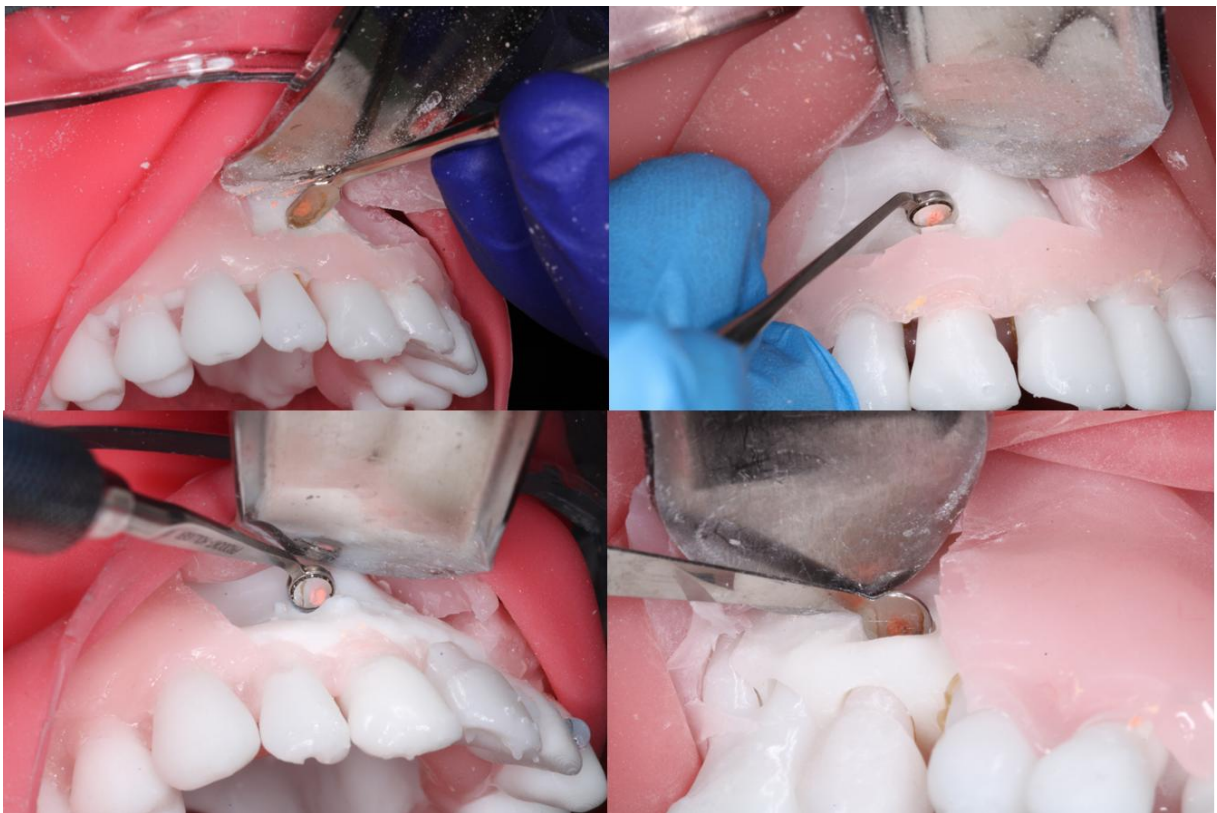


Figura 18. Inspección apical. Fotografías fuente propia.



Figura 19. Retropreparación, retroobtusión, inspección apical. Fotografías fuente propia.

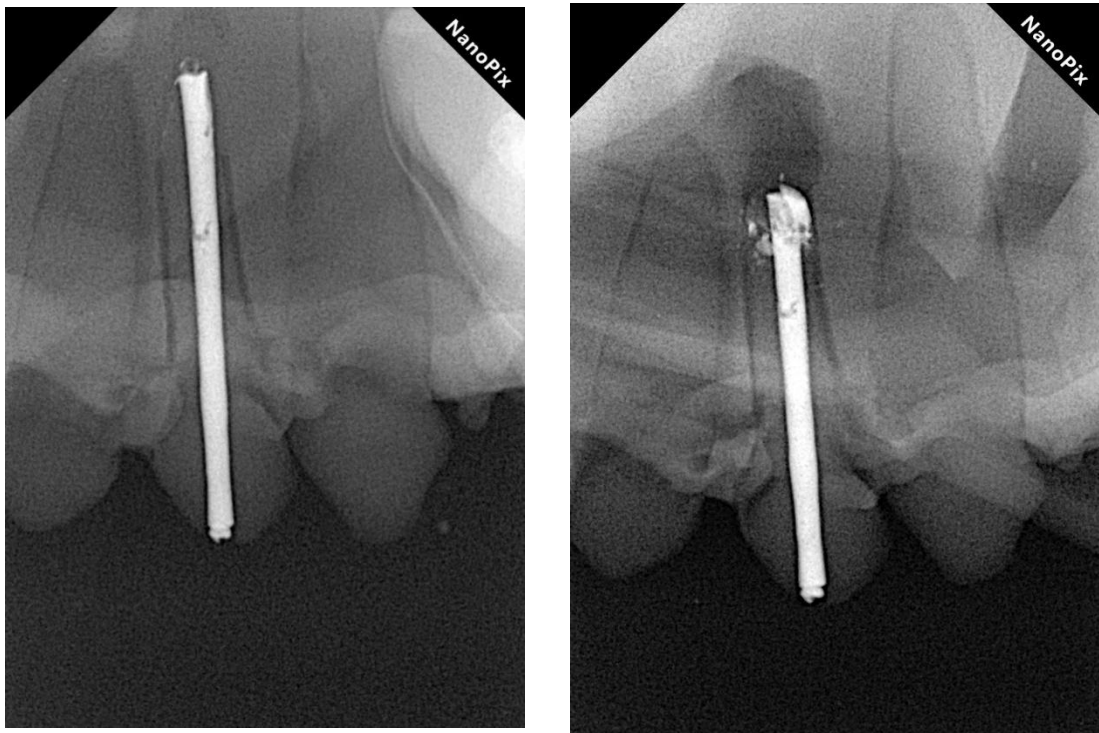


Figura 20. Radiografía inicial (izquierda) y final (derecha).

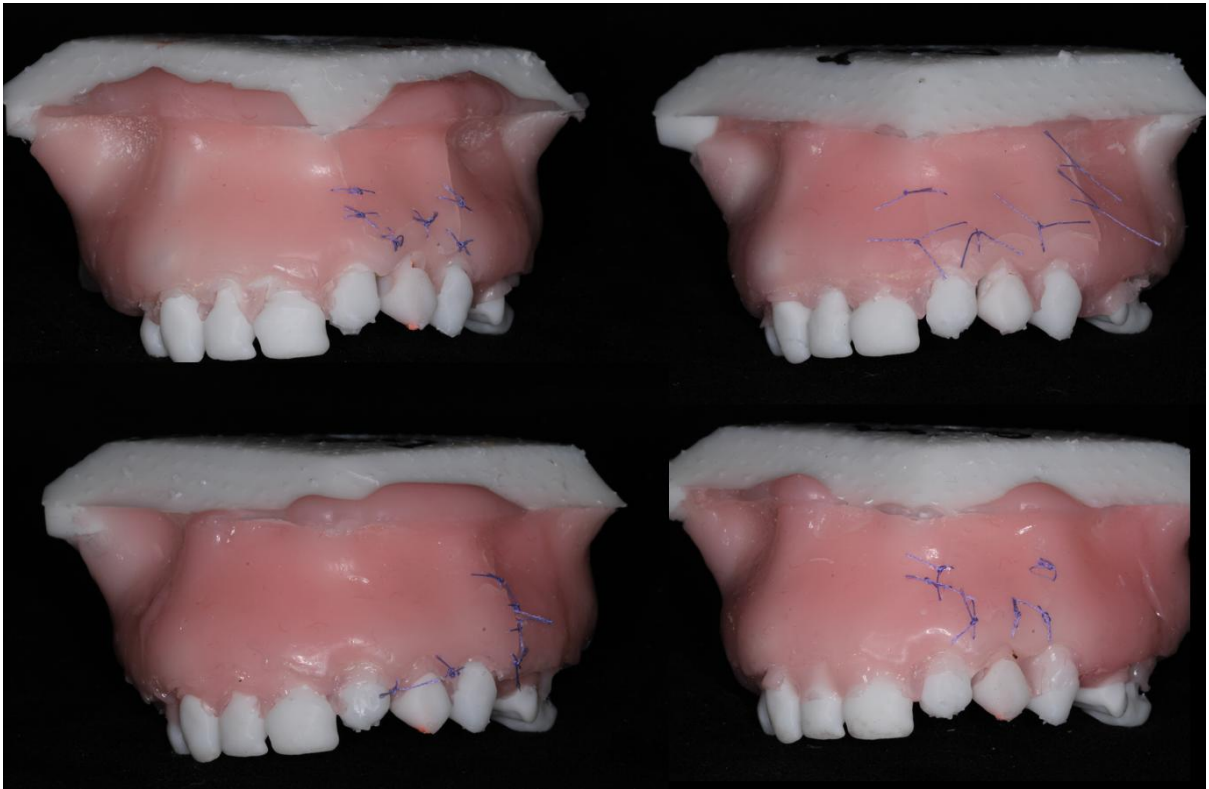


Figura 21. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 1, grupo 1, que estudiaron el caso con CBCT. Fotografías fuente propia.

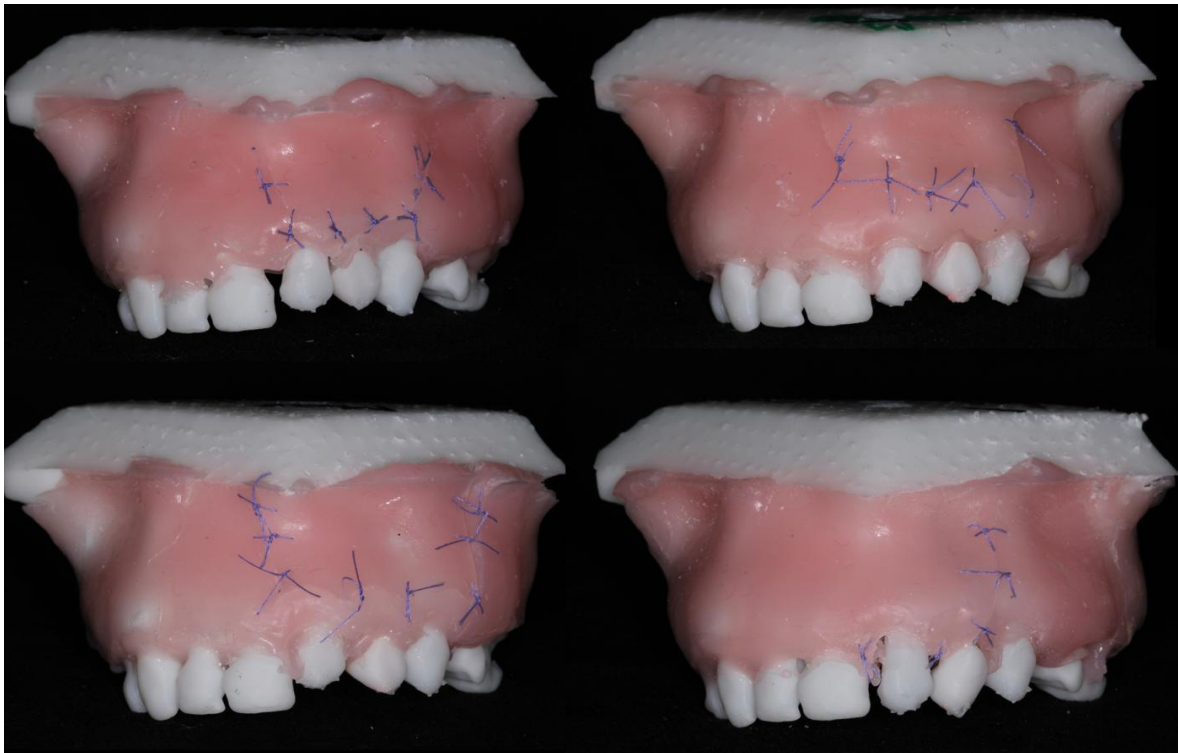


Figura 22. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 1, grupo 2, que estudiaron el caso con modelos educativos. Fotografías fuente propia.

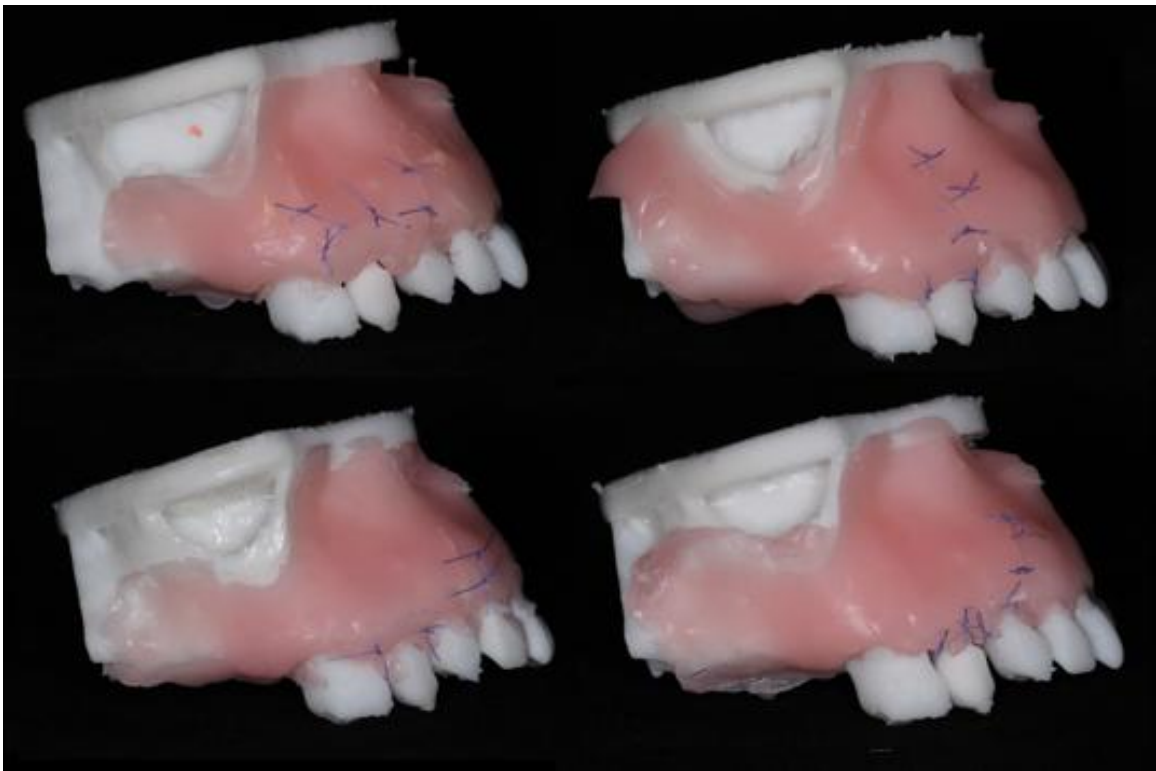


Figura 23. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 2, grupo 1, que estudiaron el caso con modelos educativos. Fotografías fuente propia.

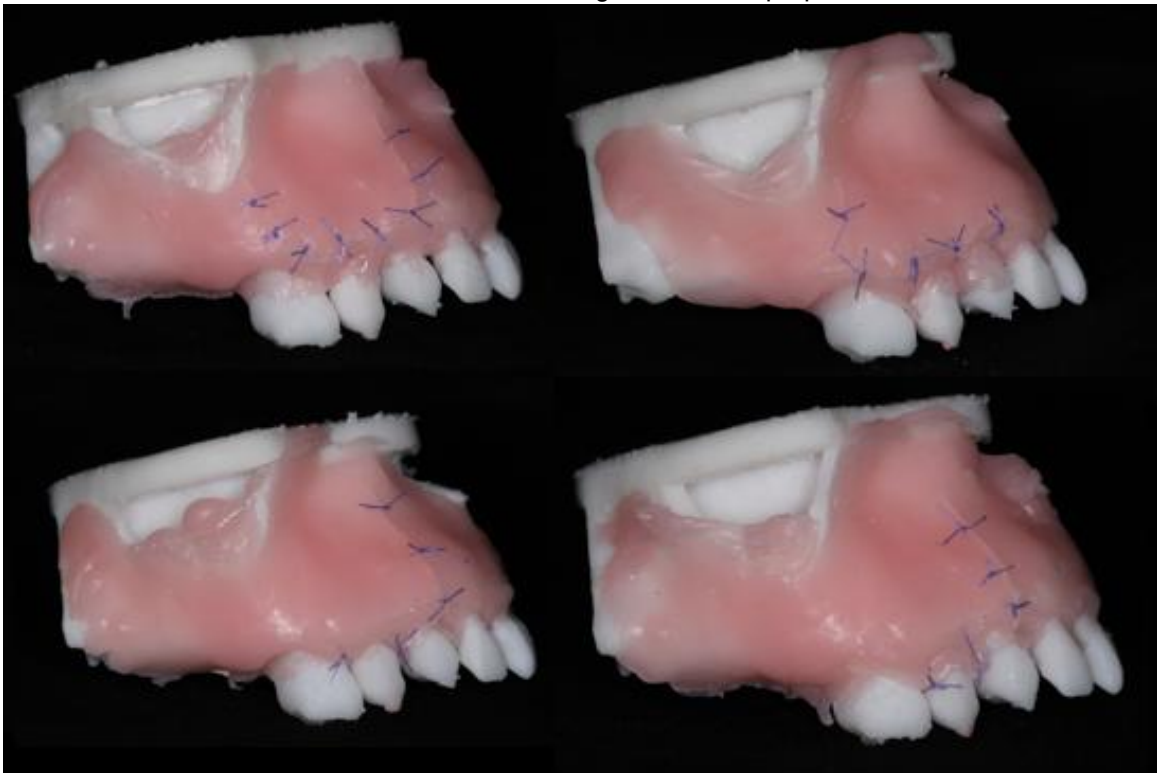


Figura 24. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 2, grupo 2, que estudiaron el caso con CBCT. Fotografías fuente propia.

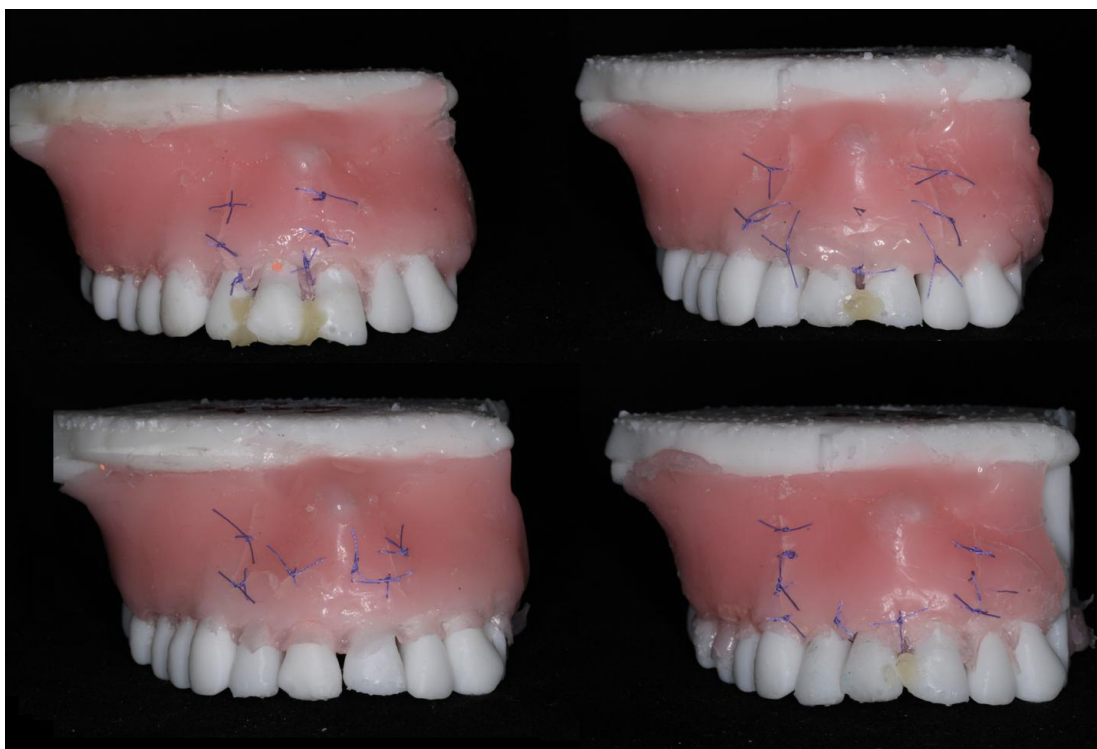


Figura 25. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 3, grupo 1, que estudiaron el caso con CBCT y modelos educativos. Fotografías fuente propia.

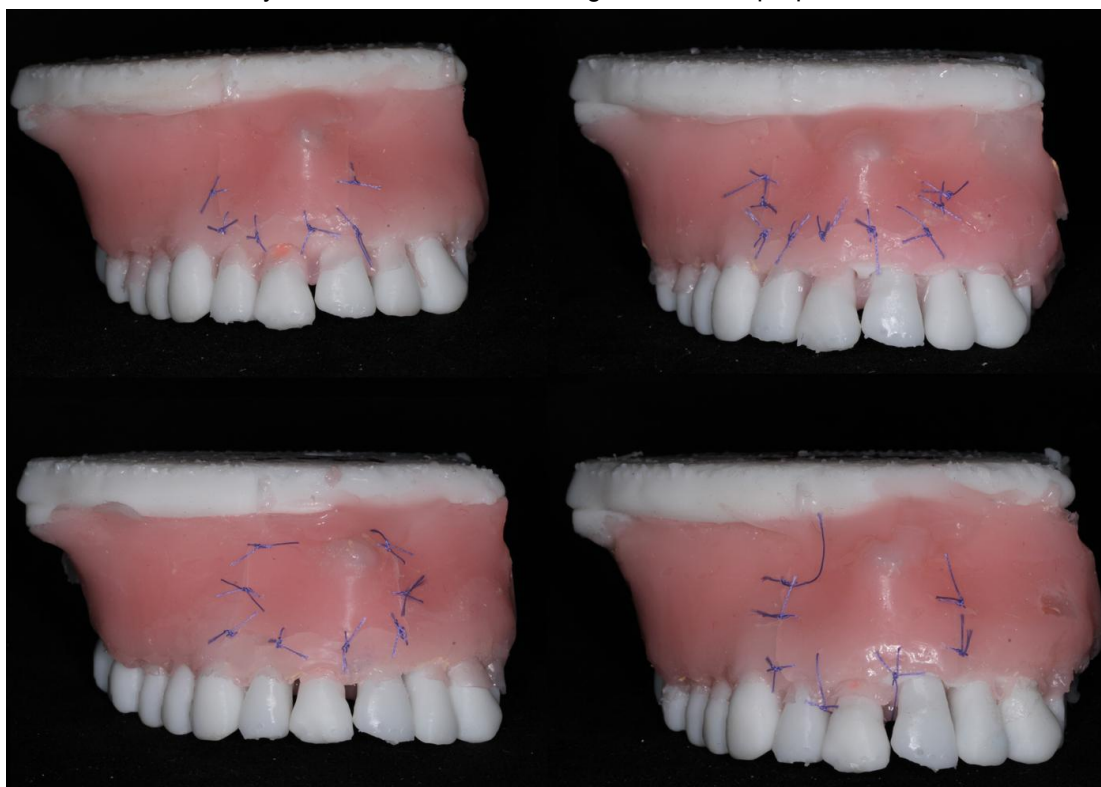


Figura 26. Postoperatorio de tejidos blandos del caso 3, grupo 2, que estudiaron el caso con CBCT y modelos educativos. Fotografías fuente propia.

Planificación digital

A partir de los archivos STL de los tres casos clínicos, se desarrolló una planificación ideal para la resección apical, sitio y tamaño de la osteotomía.

La planificación estableció que la resección apical fuera de 3 mm y asegurando que la osteotomía fuera lo suficientemente amplia como para cubrir por completo el diámetro de la lesión periapical. Se procuró que esta fuera lo más conservadora posible.

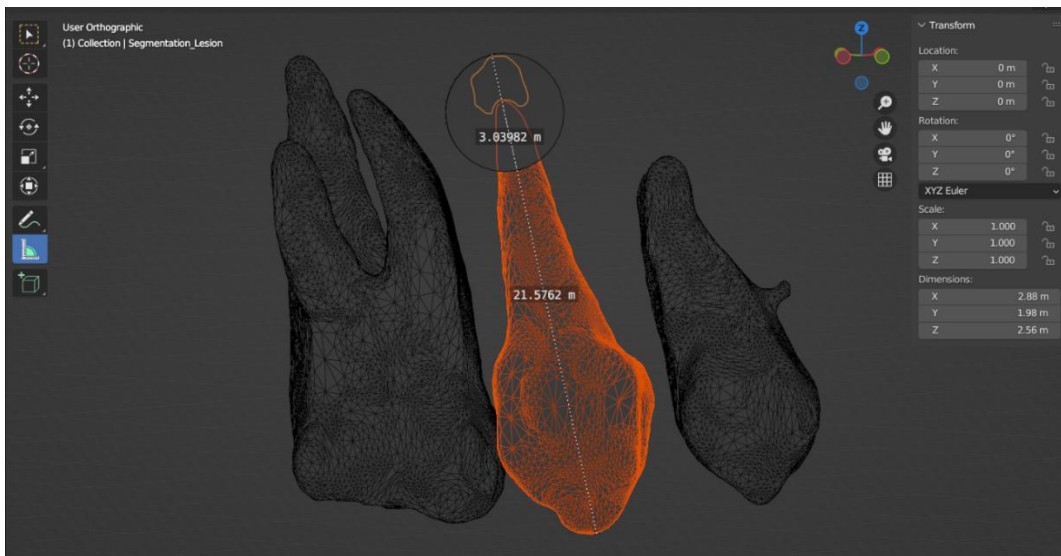


Figura 27. Diseño de la osteotomía y resección apical del caso 2.

Evaluación de la superposición de archivos STL

Se escanearon digitalmente los modelos, se realizó la superposición de ambos archivos STL y se midió la diferencia entre los resultados obtenidos en la evaluación de ambos grupos, comparándolos con la planificación digital inicial. Para esto se alineó el escaneo con planificación por medio de las herramientas del software, copiando y pegando el mismo ángulo y posición para todas las evaluaciones. Se evaluaron las diferencias en las medidas de la osteotomía, así como la posición y el tamaño de la resección realizada. En el estudio de Fidler et al. en 2021, se describen dos métodos principales para medir el transporte de los conductos: la medición del material removido (RM) y la distancia entre los puntos centrales del conducto (CP). En este trabajo, se siguió un procedimiento semejante a la distancia entre los puntos centrales del conducto para evaluar la diferencia entre la planificación ideal y el modelo escaneado (26). Se evaluó en 4 ejes: x, -x, y, -y. Se ubicó el punto el punto medio del diámetro círculo de planeación y se trazaron los 4 ejes, se colocó la vista transparente de la planificación y se trazó sobre los 4 ejes desde el punto de intersección con el perímetro del círculo de la planificación hasta el borde más cercano del escaneo que corresponda al límite de la ventana ósea. Se calcularon las diferencias restándole a este punto el tamaño de la circunferencia.



Figura 28. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 1, grupo 1, estudio con CBCT.



Figura 29. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 1, grupo 2, estudio con modelos.



Figura 30. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 2, grupo 1, estudio con modelos.



Figura 31. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 2, grupo 2, estudio con CBCT.



Figura 32. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 3, grupo 1, estudio con CBCT y modelos educativos



Figura 33. Superposición de escaneo con planificación (círculo rosa) del caso 3, grupo 2, estudio con CBCT y modelos educativos.

Aplicación del instrumento de evaluación

La aplicación del instrumento de evaluación se llevó a cabo en dos fases. En la primera parte, dos evaluadores expertos en cirugía periapical se encargaron de responder el instrumento durante las intervenciones quirúrgicas, comenzando con una serie de preguntas dirigidas a los alumnos participantes en el estudio. Durante esta fase, los evaluadores observaron el procedimiento quirúrgico realizado por los alumnos, tomando en cuenta los conocimientos, habilidades y el tiempo que les tomó completar la cirugía. Se obtuvo un total de 48 encuestas contestadas por los evaluadores.

Tras esta prueba piloto, se discutió entre los evaluadores sobre las partes de la cirugía que resultaron más importantes para la evaluación, así como aquellas que no fueron agregadas o que necesitaban mayor especificidad para poder ser evaluadas de manera efectiva y agregar más ítems al instrumento (**anexo 2**).

Posteriormente, se solicitó a los alumnos de posgrado participantes que contestaran la segunda parte del instrumento de forma anónima.

9. RESULTADOS

Aplicación del instrumento en la prueba piloto

Al comparar las puntuaciones obtenidas en la prueba piloto para cada uno de los métodos de aprendizaje, se observa que la combinación de CBCT y modelos (media de 3.91) presentó el mejor desempeño percibido según los evaluadores, seguido de modelos (media de 3.67) y finalmente CBCT (media de 3.64), que mostró un desempeño ligeramente inferior.

Método de aprendizaje	Media
CBCT	3.64
Modelos	3.67
Ambos	3.91

Tabla 3. Medias de puntuación otorgada por los evaluadores sobre el desempeño de los estudiantes en la escala de Likert que va del 1 al 5. Fuente propia.

El análisis de concordancia muestra que existe una alta relación entre las puntuaciones otorgadas a los tres métodos utilizados, lo que sugiere que los evaluadores están de acuerdo en su evaluación del desempeño de los estudiantes en cirugía periapical, independientemente del método utilizado.

	CBCT	Modelos	Ambos
CBCT	1		
Modelos	0.91	1	
Ambos	0.85	0.84	1

Tabla 4. Análisis de concordancia de las medias de puntuación otorgada por los evaluadores sobre el desempeño de los estudiantes como se muestra en la tabla 3. Fuente propia.

La puntuación obtenida al contestar los alumnos de posgrado la segunda parte del instrumento de evaluación fue de 4.77. Este valor refleja una evaluación de los modelos muy positiva por parte de los alumnos.

Tiempo quirúrgico

Se evaluó el tiempo necesario para que los estudiantes completaran las cirugías periapicales utilizando los tres métodos de aprendizaje.

El tiempo promedio requerido para completar las cirugías periapicales utilizando el método CBCT fue de 98 minutos.

El grupo que utilizó modelos como método de aprendizaje requirió un tiempo promedio de 122 minutos. Este tiempo es más largo en comparación con los otros dos métodos.

Los estudiantes que utilizaron la combinación de CBCT y modelos como método de aprendizaje necesitaron un tiempo promedio de 91 minutos. Este tiempo fue más corto que el de los que usaron solo los modelos y más cercano al tiempo del CBCT. La combinación de ambos métodos no aumentó significativamente el tiempo de ejecución de la cirugía, sino que disminuyó.

Método de aprendizaje	Tiempo
CBCT	98
Modelos	122
Ambos	91

Tabla 5. Medias del tiempo (minutos) que se requirió para completar las cirugías periapicales de acuerdo al método de aprendizaje previo. Fuente propia.

Desviación estándar de los modelos

Después de su impresión se tomaron medidas de los modelos y se calculó la desviación para los tres casos. La variabilidad en las mediciones es muy baja con valores de 0.032 en el caso 1 y 0.026 en los casos 2 y 3. No hay diferencias significativas en la precisión de los modelos impresos entre los tres casos.

Caso	Desviación estándar
1	0.032
2	0.026
3	0.026

Tabla 6. Desviación estándar de los tres casos clínicos impresos con resina. Fuente propia.

Comparación de la superposición de los escaneos con las planificaciones

La tabla 6 presenta el promedio de las diferencias entre la planificación y los operadores en el caso 1 al comparar los métodos de estudio CBCT y modelos. Cada valor de desviación refleja la diferencia entre las mediciones obtenidas por los operadores y la planificación ideal.

Se puede observar que los valores para modelos (representados por la línea azul en la figura 34) tienden a ser más bajos, aunque similares, que los de CBCT principalmente en el radio -y (representados por la línea verde en la figura 34), indicando que el estudio con modelos tiene menos desviación con respecto a la planificación ideal en comparación con CBCT.

Método de aprendizaje	Radio Y	Radio -Y	Radio X	Radio -X
CBCT	1.6	4.3	1.5	1.2
Modelos	1.8	2.9	1.8	1.0

Tabla 7. Promedio de las diferencias entre los operadores en el caso 1 de acuerdo a cada uno de los radios, comparando estudio con CBCT y modelos. Fuente propia.

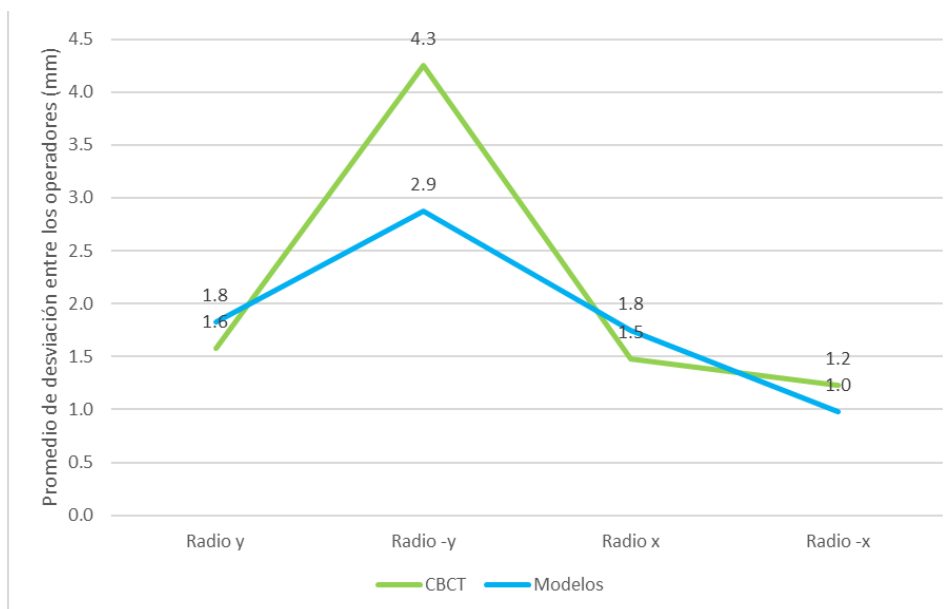


Figura 34. Media de desviación del caso 1 entre estudio con CBCT y estudio con modelo. Fuente propia.

La tabla 7 presenta el promedio de las diferencias entre los operadores en el caso 2 al comparar los métodos de estudio CBCT y modelos.

La figura 35 muestra los promedios de desviación entre la planificación y los operadores utilizando CBCT (línea verde) y modelos (línea azul). Se puede observar

que los valores para modelos son ligeramente mayores que para CBCT en varios de los radios, a excepción de -Y. Sin embargo, los otros valores son muy similares.

Método de aprendizaje	Radio Y	Radio -Y	Radio X	Radio -X
CBCT	0.7	1.4	0.4	0.6
Modelos	0.8	0.4	0.5	0.7

Tabla 8. Promedio de las diferencias entre los operadores en el caso 2 de acuerdo a cada uno de los radios, comparando estudio con CBCT y modelos. Fuente propia.

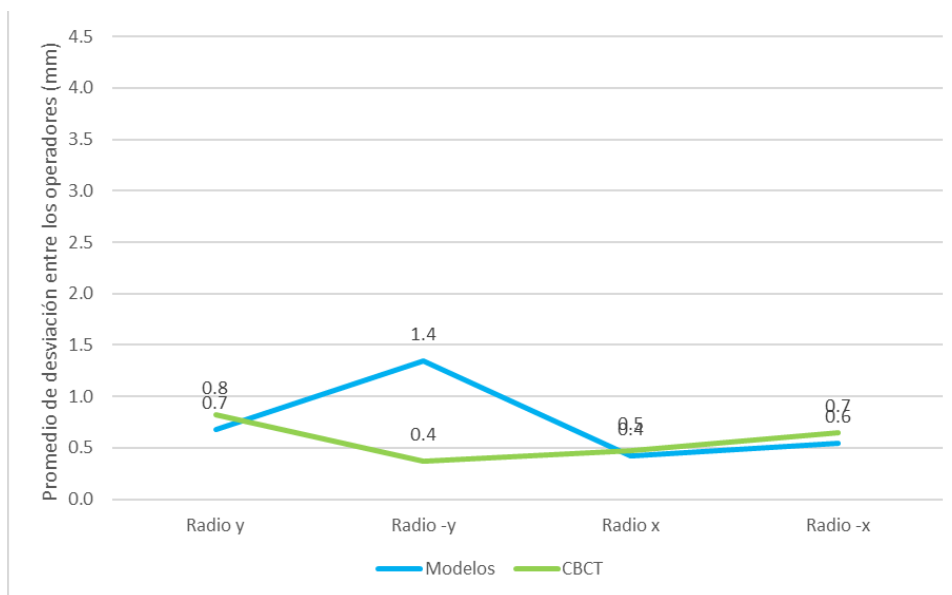


Figura 35. Media de desviación del caso 2 entre estudio con CBCT y estudio con modelo. Fuente propia.

Se realizó la comparación por tipo de aprendizaje, sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas (tabla 8 y 9) entre los dos grupos de alumnos con diferentes tipos de aprendizaje con la utilización de un modelo o CBCT.

Caso 1	CBCT (n=4) Medias		Modelo (n=4) Medias	p*
Alumno 1	3.6	Alumno 5	1.5	
Alumno 2	3.4	Alumno 6	2.8	
Alumno 3	1.5	Alumno 7	2.8	
Alumno 4	2.2	Alumno 8	3.1	
*t student				0.845

Tabla 9. Prueba de t de Student para el caso 1 entre CBCT y modelos. $p \geq 0.05$, no hay diferencia significativa. Fuente propia.

Caso 2	Modelo (n=4) Medias		CBCT (n=4) Medias	p*
Alumno 1	2.7	Alumno 5	2	0.537
Alumno 2	3.1	Alumno 6	2.5	
Alumno 3	2.2	Alumno 7	2.7	
Alumno 4	2	Alumno 8	2	
*t student				

Tabla 10. Prueba de t de Student para el caso 2 entre CBCT y modelos. $p \geq 0.05$, no hay diferencia significativa. Fuente propia.

En la tabla se presentan los promedios de las diferencias entre la planificación y los operadores utilizando tres métodos de aprendizaje: CBCT y modelos (caso 1 y 2) y ambos (caso 3). La combinación de ambos (línea amarilla) muestra una menor desviación en comparación con los otros dos métodos. Aunque CBCT en general muestra buena precisión, es muy similar a los modelos. No hay diferencias significativas como se expresa en las tablas 8 y 9.

Método de aprendizaje	Radio Y	Radio -Y	Radio X	Radio -X
CBCT	1.2	2.3	1	0.9
Modelos	1.3	2.1	1.1	0.9
Ambos	0.7	2	0.7	0.3

Tabla 11. Promedio de las diferencias entre los operadores que usaron CBCT, modelos o ambos. Fuente propia.

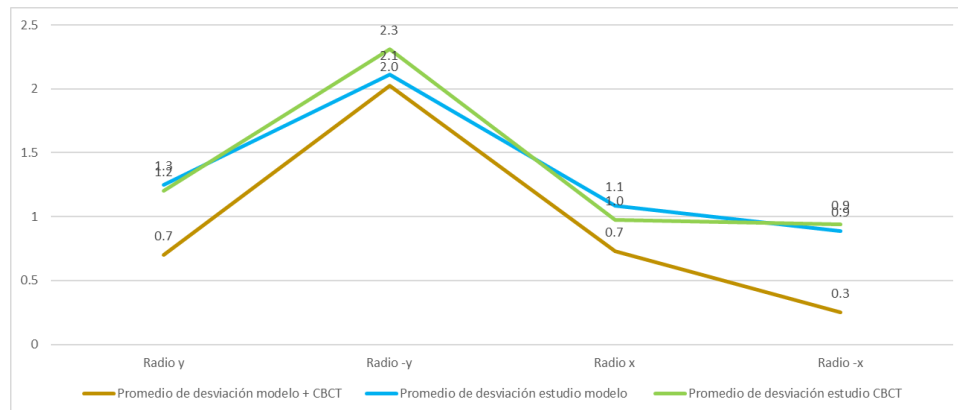


Figura 36. Media de desviación entre estudio con CBCT, con modelo o ambos. Fuente propia.

En la tabla 11 se observa que el valor p de 0.626 es mayor que 0.05, lo que significa que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos (CBCT, modelos y ambos) en cuanto a las medidas obtenidas.

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
CBCT (mm)	4	5.425	1.35625	0.41984375
Modelos (mm)	4	5.2125	1.303125	0.33222656
Modelo + CBCT	4	3.705	0.92625	0.58475625

Tabla 12. Análisis ANOVA de un factor entre las medias de desviación entre estudio con CBCT, con modelo o ambos. Fuente propia.

Resección del ápice

La media de la diferencia entre la planificación ideal y la resección apical realizada con el método CBCT fue de 0.94mm, lo que sugiere que las resecciones fueron moderadamente precisas.

Para el grupo que utilizó modelos, la media de la diferencia fue de 0.63mm. Esta diferencia es más pequeña que la observada con CBCT.

El grupo que utilizó la combinación de CBCT y modelos obtuvo una media de diferencia de 0.19 mm. Esta diferencia es considerablemente menor que las observadas en los dos métodos anteriores, lo que indica que la combinación de ambos métodos resultó en las resecciones apicales más precisas

Método de aprendizaje	Media
CBCT	0.94
Modelos	0.63
Ambos	0.19

Tabla 13. Media de la diferencia entre la planificación ideal y la resección apical realizada con cada método de aprendizaje. Fuente propia.

10. DISCUSIÓN

La impresión 3d ha sido utilizada con buenos resultados en otras áreas odontológicas, mejorando la comprensión anatómica y permitiendo la práctica sin riesgo para el paciente, lo que mejora la confianza y habilidad de los operadores (3,6). En el área de la cirugía endodóntica, una osteotomía excesiva puede generar complicaciones como dolor e inflamación, o un retraso en la cicatrización (4). En este estudio, se diseñaron modelos impresos en 3D, un instrumento de evaluación y se comparó la superposición de las medidas del resultado de la evaluación quirúrgica con la planificación ideal del caso. Esto para medir el desempeño quirúrgico de los estudiantes durante la práctica de la cirugía periapical, comparando los métodos de aprendizaje con CBCT, modelos 3D o la combinación de ambos.

Aplicación del instrumento en la prueba piloto

Al revisar los resultados obtenidos con el instrumento en la prueba piloto, se puede ver que la combinación de CBCT y modelos fue en la que se tuvo el mejor desempeño percibido por los evaluadores. Apoya la idea de que usar modelos educativos 3D junto con CBCT tiene un impacto positivo en la formación quirúrgica, ya que permite un enfoque más completo. Por otro lado, los estudiantes que usaron modelos también mostraron un desempeño superior al de aquellos que solo usaron CBCT. Aunque la diferencia no es muy grande, sugiere que los modelos por sí solos también son útiles, algo que ya se ha destacado en estudios previos que proponen el uso de los modelos 3D en la educación quirúrgica como de Lambrecht et al. en 2010 o el de Oza et al. en 2022 (18, 23).

El análisis de concordancia también reveló que los estudiantes estuvieron de acuerdo con las puntuaciones de los tres métodos utilizados, lo que sugiere que las diferencias observadas en el desempeño no se deben a un desacuerdo entre los evaluadores.

Los alumnos de posgrado dieron una puntuación promedio de 4.77 en la segunda parte del instrumento, lo que refleja una opinión muy positiva sobre los modelos educativos. Esto sugiere que los estudiantes valoran el uso de los modelos como método de aprendizaje, ya que les permite practicar sin riesgo para los pacientes. Este resultado concuerda con el estudio de Reymus et al. en 2018 que destaca que la práctica con modelos aumenta la confianza y mejora las competencias de los estudiantes (20).

Además, la prueba piloto ayudó a identificar qué partes del instrumento necesitaban ser más específicas y qué aspectos del procedimiento quirúrgico no se estaban evaluado. Como resultado de la discusión entre los operadores, se observó que era necesario incluir detalles más específicos sobre el uso de software para la planificación, la interacción con el modelo educativo durante el procedimiento, las especificaciones de la ventana ósea, el manejo del retractor, el uso de azul de metileno, la técnica de sutura, el uso del microscopio, visión directa, la ergonomía y la toma de radiografías (anexo 2).

A pesar de que el instrumento fue útil en la prueba piloto, no se validó debido a que la n fue limitada. En este trabajo, se contó con una n de 8 participantes, mientras que en el estudio de Zhang et al. en 2023, quienes también utilizaron un instrumento de evaluación para calificar el desempeño de los estudiantes en una práctica de órganos dentarios impresos, la n fue 30 participantes para validar el instrumento. Dado que en nuestro caso la muestra no alcanzaba el número suficiente para realizar la validación, se decidió que el instrumento quedara en fase de prueba piloto. Se agregaron 28 ítems al diseño del instrumento (24).

Tiempo quirúrgico

Al evaluar el tiempo necesario para que los estudiantes completaran las cirugías es importante resaltar que para los participantes esta fue la primera realizando el procedimiento, lo que hace que los tiempos observados reflejen más el impacto de los diferentes métodos de aprendizaje.

En el caso del grupo que utilizó modelos como método de aprendizaje, el tiempo promedio fue de 122 minutos, el más largo entre los tres grupos. Los modelos 3D permiten una interacción física con las estructuras anatómicas, lo que es beneficioso para la comprensión morfológica pero también alarga el tiempo de ejecución, especialmente si es la primera vez que los estudiantes realizan este tipo de procedimientos. Para no provocar un sesgo entre si el primer acercamiento al procedimiento es afectado por el método de aprendizaje que se utilizó, el grupo 1 inició estudiando con CBCT mientras que el 2 inició con modelos.

El grupo que utilizó la combinación de CBCT y modelos presentó un tiempo promedio de 91 minutos, que fue más corto que el tiempo de los que usaron solo modelos y muy acercado al tiempo del grupo que utilizó solo CBCT. Esto puede interpretarse como que la combinación de ambos métodos no solo no aumentó el tiempo de ejecución, sino que también lo redujo en comparación con el uso exclusivo de modelos. Esto concuerda con lo propuesto en otros estudios, donde el uso de modelos educativos 3D para la simulación preoperatoria permite a los estudiantes realizar la planificación quirúrgica con mayor precisión y realizar los procedimientos con mayor eficacia, tal como lo propusieron Lambrecht et al. en 2010 y Cohen et al en 2009 en sus estudios de cirugía maxilofacial y ortognática (7,18).

Diseño y desviación estándar de los modelos

Al diseñar los modelos se logró que tanto el modelo educativo en resina transparente como el modelo de evaluación en resina opaca contaran con las características necesarias para simular una cirugía periapical, permitiendo una experiencia educativa lo más cercana posible a la práctica real, con las limitaciones de ser una simulación. La intención de características como la segmentación de dientes y lesiones, la obturación de conductos y la presencia de encía, junto con la adaptación a la unidad dental y el microscopio, permitió una experiencia educativa que simula la cirugía periapical. Este uso de los modelos y métodos de evaluación no solo tiene aplicaciones en la cirugía periapical, sino que podría extenderse a otras áreas de la odontología, como la implantología, la cirugía maxilofacial, entre

otras. La reproducibilidad ilimitada de los modelos 3D permite crear modelos de aprendizaje personalizados para diferentes tipos de procedimientos. Al poder estos ser evaluados con un instrumento y software, los estudiantes pueden observar cómo se refleja su aprendizaje preoperatorio y la efectividad de su planificación en la ejecución de la cirugía. Se logró una constante alta en las mediciones, lo que hizo que los modelos fueron confiables para uso educativo. La baja desviación estándar (0.032 en el caso 1 y 0.026 en los casos 2 y 3 asegura que los estudiantes estuvieron trabajando con modelos que son réplicas casi idénticas, lo que ayuda también a la evaluación.

Comparación de la superposición de los escaneos con las planificaciones

Para realizar las mediciones de las diferencias, se utilizó el concepto matemático de traslación propuesto por Fidler et al. en 2021, quienes presentaron una técnica para medir la desviación del conducto radicular y la distancia del punto central. En este estudio, se aplicó una medición adaptada de este concepto para evaluar la precisión de la planificación de la osteotomía en cada uno de los radios medidos en los tres métodos de aprendizaje. Estos radios corresponden a los y, -y, x y -x. Las mediciones obtenidas permitieron comparar el tamaño y sitio de la osteotomía con respecto a una planificación ideal (26).

En cuanto a la comparación entre las mediciones obtenidas de los escaneos y las planificaciones ideales, los resultados mostraron que el uso de los modelos 3D, especialmente cuando se combinan con CBCT, ofrecieron una mayor precisión en comparación con los escaneos realizados de las cirugías donde se estudió únicamente con CBCT o modelos. En cambio, el uso de modelos por sí solo presentó mayores desviaciones, lo que puede deberse a que los modelos no proporcionan la misma precisión en la planificación digital que el CBCT. De manera similar, el uso exclusivo de CBCT también mostró desviaciones importantes, probablemente debido a las limitaciones en la interpretación de las imágenes 3D en una pantalla 2D (18).

La comparación realizada por tipo aprendizaje individual no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de alumnos con diferentes tipos de aprendizaje (entre CBCT y modelos solos). Tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos: CBCT, modelos y la combinación de ambos. Esto quiere decir que, aunque la combinación de CBCT mostró un desempeño ligeramente superior, la falta de diferencias significativas puede indicar que todos los métodos utilizados tienen un nivel similar de efectividad en el aprendizaje de la cirugía periapical. Sin embargo, es posible que el tamaño de la muestra no haya sido suficiente para detectar diferencias significativas en el desempeño de los tres métodos.

Resección del ápice

El grupo que combinó CBCT y modelos mostró una diferencia promedio de 0.19mm, lo que refleja una precisión mayor que en los otros dos grupos. Esto sugiere que la combinación de ambos métodos además de facilitar una mejor planificación, también mejora la ejecución de la cirugía, haciendo que las resecciones sean más

precisas. Estos resultados respaldan la idea de que integrar modelos CBCT puede ser la estrategia para lograr una cirugía más precisa.

11. CONCLUSIÓN

La combinación de CBCT y modelos educativos fue la que ofreció los mejores resultados en la evaluación por los expertos, utilizando el instrumento; mejores resultados en la cuanto a precisión, con las medidas obtenidas tras la superposición de la evaluación y la planificación ideal; y en tiempo quirúrgico. Esto sugiere que integrar estos métodos de aprendizaje puede influir positivamente en la educación quirúrgica de los alumnos de posgrado de endodoncia. Debido a las limitaciones muestrales, la falta de diferencias significativas entre los grupos que usaron métodos individuales podría sugerir que todos los enfoques empleadores resultan igualmente efectos para la formación de los alumnos de posgrado. Por lo tanto, el siguiente paso es ampliar el número de muestra y validar el instrumento.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Tsesis, I., Rosen, E., Schwartz-Arad, D., & Fuss, Z. Retrospective Evaluation of Surgical Endodontic Treatment: Traditional versus Modern Technique. *Journal of Endodontics*. 2006, 32(5), 412–416.
2. Moreno-Rabié, C., Torres, A., Lambrechts, P., & Jacobs, R. Clinical applications, accuracy and limitations of guided endodontics: a systematic review. In *International Endodontic Journal*. 2020, 53(2), 214–231.
3. Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*. 2015, 219(11), 521–529.
4. Fan, Y., Glickman, G. N., Umorin, M., Nair, M. K., & Jalali, P. A Novel Prefabricated Grid for Guided Endodontic Microsurgery. *Journal of Endodontics*. 2019, 45(5), 606–610.
5. Anderson, J., Wealleans, J., & Ray, J. Endodontic applications of 3D printing. In *International Endodontic Journal*. 2018, 51(9), 1005–1018.
6. Feng, J., Qi, W., Duan, S., Bao, C., Zhang, X., Cai, B., & Liu, X. Three-dimensional printed model of impacted third molar for surgical extraction training. *Journal of Dental Education*. 2021, 85(12), 1828–1836.
7. Cohen, A., Laviv, A., Berman, P., Nashef, R., & Abu-Tair, J. Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*. 2009, 108(5), 661–666.
8. Kim, J.-E., Shim, J.-S., & Shin, Y. A new minimally invasive guided endodontic microsurgery by cone beam computed tomography and 3-dimensional printing technology. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 2019, 44(3).
9. Ackerman, S., Aguilera, F. C., Buie, J. M., Glickman, G. N., Umorin, M., Wang, Q., & Jalali, P. Accuracy of 3-dimensional–printed Endodontic Surgical Guide: A Human Cadaver Study. *Journal of Endodontics*. 2019, 45(5), 615–618.
10. Ahn, S. Y., Kim, N. H., Kim, S., Karabucak, B., & Kim, E. Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing–guided Endodontic Surgery: Guided Osteotomy and Apex Localization in a Mandibular Molar with a Thick Buccal Bone Plate. *Journal of Endodontics*. 2018, 44(4), 665–670.
11. Kim, S., & Kratchman, S. Modern Endodontic Surgery Concepts and Practice: A Review. *Journal of Endodontics*. 2006, 32(7), 601–623.
12. Rosen, E., Taschieri, S., del Fabbro, M., Beitlitum, I., & Tsesis, I. (2015). The Diagnostic Efficacy of Cone-beam Computed Tomography in Endodontics: A Systematic Review and Analysis by a Hierarchical Model of Efficacy. In *Journal of Endodontics*. 2015, 41(7), 1008–1014.
13. von Arx, T., Janner, S. F. M., Hänni, S., & Bornstein, M. M. Evaluation of New Cone-beam Computed Tomographic Criteria for Radiographic Healing Evaluation after Apical Surgery: Assessment of Repeatability and Reproducibility. *Journal of Endodontics*. 2016, 42(2), 236–242.
14. Nair, M. K., & Nair, U. P. Digital and Advanced Imaging in Endodontics: A Review. *Journal of Endodontics*. 2007, 33(1), 1–6.

15. Tyndall, D. A., & Kohltfarber, H. Application of cone beam volumetric tomography in endodontics. *Australian Dental Journal*. 2012, 57, 72–81.
16. AAE and AAOMR Joint Position Statement Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update References. *Journal of Endodontics* 2016. 41, 9, 1393–1396.
17. Setzer, F. C., & Kratchman, S. I. Present status and future directions: Surgical endodontics. In *International Endodontic Journal*. 2022, 55(4), 1020–1058
18. Lambrecht, J. T. H., Berndt, D., Christensen, A. M., & Zehnder, M. Haptic model fabrication for undergraduate and postgraduate teaching. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2010, 39(12), 1226–1229.
19. Shah, P., & Chong, B. S. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. In *Clinical Oral Investigations*. 2018, 2 (2), 641–654.
20. Reymus, M., Fotiadou, C., Hickel, R., & Diegritz, C. 3D-printed model for hands-on training in dental traumatology. *International Endodontic Journal*. 2018, 51(11), 1313–1319.
21. Chae, Y. K., Lee, H., Jih, M. K., Lee, H. S., Lee, J. W., Kim, S. H., Kim, G. T., Choi, S. C., & Nam, O. H. Validation of a three-dimensional printed model for training of surgical extraction of supernumerary teeth. *European Journal of Dental Education*. 2020, 24(4), 637–643.
22. Reymus, M., Fotiadou, C., Kessler, A., Heck, K., Hickel, R., & Diegritz, C. 3D printed replicas for endodontic education. *International Endodontic Journal*. 2019, 52(1), 123–130.
23. Oza, S., Lai, G., Peters, O. A., Chen, J., Karabucak, B., Scott, R., & Galicia, J. C. The Influence of Cone Beam Computed Tomography-Derived 3D-Printed Models on Endodontic Microsurgical Treatment Planning and Confidence of the Operator. *Journal of Endodontics*. 2023, 3(2), 32-36.
24. Zhang, R., Tang, R., Spintzyk, S., Tian, Y., Xiang, Y., Xu, Y., & Hu, T. Three-Dimensional Printed Tooth Model with Root Canal Ledge: A Novel Educational Tool for Endodontic Training. *Dentistry Journal*. 2023, 11(9).
25. Valdespino Gómez, J., & García García MDL. Declaración de Helsinki. *Gac Med Mex*, 2001.137(4), 391.
26. Fidler, A., Plotino, G., & Kuralt, M. A Critical Review of Methods for Quantitative Evaluation of Root Canal Transportation. *Journal of Endodontics*. 2021. 47 (5), 721-731.

13.ANEXOS
Anexo 1

Instrumento de evaluación

Encuesta para los evaluadores sobre el desempeño del alumno.

Ficha de identificación
Nombre del alumno
Semestre:

Seleccione la respuesta (x) de cada pregunta indicando un número del 1 al 5 (1= totalmente en desacuerdo, 2=en desacuerdo, 3=neutral, 4=de acuerdo, 5=totalmente de acuerdo) para evaluar el desempeño del alumno durante la cirugía periapical en el modelo.					
Pregunta	1	2	3	4	5
1. Conocimiento y comprensión					
Entiende la relación del diagnóstico con las indicaciones operatorias para el caso.					
Sabe interpretar la tomografía para tomar decisiones pertinentes durante el procedimiento.					
2. Habilidades prácticas					
Utiliza las herramientas adecuadas del software para estudiar la imagen del CBCT.					
La incisión y el diseño del colgajo son apropiados para el caso.					
La ventana ósea es conservadora de acuerdo al tamaño de la lesión.					
El tamaño de la ventana es menor a 4mm cuando no hay fenestración.					
La posición de la raíz corresponde a su punta en el centro de la ventana.					
Selecciona y utiliza los instrumentos convenientes (pieza de alta, pieza de baja, tipo de fresa) para realizar el corte.					
El tamaño de la resección apical corresponde al tamaño de la lesión y la longitud de la raíz.					
La resección apical tiene la angulación idónea (0 grados, sin bisel).					
La retropreparación tiene una posición adecuada, que no se extiende lateralmente (mesial o distal).					

Sabe tomar decisiones sobre la profundidad de la retropreparación en caso de dos conductos e istmos.					
La retropreparación corresponde con el eje longitudinal del diente.					
La retroobtusión tiene un sellado apropiado.					
Sabe escoger el material apto para la retroobtusión según el caso.					
Selecciona apropiadamente el tipo de sutura.					
Muestra destreza con el uso del microscopio.					
El tiempo total que le toma realizar el procedimiento (desde el diseño del colgajo hasta la sutura) no es excesivo.					

Encuesta para los participantes del estudio (alumno).

Seleccione la respuesta (x) de cada pregunta indicando un número del 1 al 5 (1= totalmente en desacuerdo, 2=en desacuerdo, 3=neutral, 4=de acuerdo, 5=totalmente de acuerdo)					
Pregunta	1	2	3	4	5
3. Satisfacción y motivación					
Evalúe el modelo educativo en la efectividad de simular la osteotomía y la resección apical.					
Evalúe el modelo educativo por facilidad de uso en el laboratorio.					
¿Piensa que el modelo impreso es de ayuda para comprender el procedimiento de la cirugía periapical?					
4. Confianza y autoevaluación					
¿Considera que el modelo educativo le ayudó a localizar más rápidamente las estructuras anatómicas?					
¿Considera que el modelo educativo brinda información adicional al estudio de imagen de CBCT como herramienta para el aprendizaje de cirugía apical?					
5. Transferencia de conocimientos a la práctica clínica					

Puedo aplicar lo aprendido en cirugía periapical en situaciones clínicas reales,					
--	--	--	--	--	--

Anexo 2

Nuevos ítems

1. Conocimiento y comprensión					
Sabe realizar mediciones precisas en las vistas de la tomografía utilizando el software correspondiente.					
Alinea correctamente los ejes al diente para obtener imágenes diagnósticas claras y precisas.					
Identifica las estructuras relevantes en la tomografía que podrían intervenir en la cirugía.					
Utiliza la terminología adecuada para referirse a los hallazgos y aspectos técnicos de los estudios de CBCT.					
La interpretación de la tomografía corresponde a la planificación quirúrgica, considerando tanto la patología como las estructuras circundantes.					
Utiliza el modelo educativo impreso para analizar el caso y planificar la cirugía de forma preoperatoria.					
Realiza la práctica sobre el modelo educativo impreso, simulando el procedimiento antes de la cirugía.					
La interpretación del modelo educativo es la adecuada, demostrando comprensión clara de las características anatómicas y patologías presentadas.					
2. Habilidades prácticas					
La ventana ósea es mayor que el tamaño de la lesión, considerando los criterios clínicos para evitar daño innecesario.					

La ventana ósea es menor al tamaño de la lesión, comprometiendo la visualización y el acceso adecuados.					
La ventana ósea corresponde exactamente al tamaño de la lesión, reflejando una planificación adecuada y una ejecución precisa.					
Utiliza correctamente el retractor para garantizar una adecuada exposición del campo quirúrgico sin comprometer la integridad de los tejidos blandos.					
Aplica azul de metileno durante la inspección de la resección apical para identificar posibles fisuras o imperfecciones.					
Comprende la finalidad del uso del azul de metileno.					
Evalúa si los puntos de sutura están bien asegurados, sin tensión excesiva ni laxitud que comprometa la estabilidad del colgajo.					
Localización y número de puntos de sutura colocados de acuerdo al diseño del colgajo.					
Elige el tipo de sutura (material, grosor) y el tipo de aguja adecuados.					
Muestra destreza en la técnica de sutura.					
Ajusta la técnica de sutura al tipo de colgajo diseñado, evitando traumatismos adicionales al tejido.					
Utiliza el microscopio durante la incisión y el diseño del colgajo.					
Utiliza el microscopio durante la osteotomía.					
Utiliza el microscopio para la inspección después de la resección apical y tinción.					
Utiliza el microscopio durante la retropreparación y retroobtusión.					

Utiliza el microscopio durante la sutura.					
Alterna de manera adecuada entre visión directa y microscopio, considerando la necesidad de precisión o amplitud de campo durante el procedimiento.					
Mantiene una postura ergonómica durante la cirugía.					
Verifica la disposición correcta del microscopio, del equipo auxiliar y del paciente para optimizar la ergonomía.					
Toma radiografías después de la apicectomía, retropreparación, retroobturbación.					