

Grado en ODONTOLOGÍA

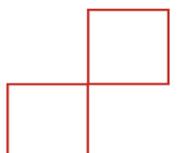
Trabajo Fin de Grado

Curso 2024-2025

**Impacto de los simuladores de realidad virtual
háptica frente a simuladores tradicionales en la
formación en endodoncia: Un estudio comparativo**

Presentado por: [Ola Deeb](#)

Tutor: [German Sánchez Herrera](#)



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi tutor, Germán Sánchez Herrera, por enseñarme y guiarme a lo largo de este proyecto, y por su paciencia durante el desarrollo de mi investigación. Debo reconocer y agradecer sinceramente todos sus esfuerzos y el apoyo que me ha brindado durante todo el proceso. Gracias de todo corazón.

To all the wonderful people and dear friends I've had the joy of meeting throughout my years of study, thank you. Your kindness, laughter, support, and presence made the journey brighter and more meaningful. I'm grateful not only for the memories but also for the friendships that will last beyond the classroom.

A special thank you to my bestfriend Hana, whose encouragement, and unwavering positivity have meant the world to me. Your friendship has been a true gift, and I'm so lucky to have shared this chapter of life with you.

Til min kjære familie, det finnes ikke ord som fullt ut kan uttrykke hvor takknemlig jeg er for all kjærligheten og støtten dere har gitt meg. Til mine foreldre, tusen takk for at dere alltid har trodd på meg, selv når jeg tvilte på meg selv. Deres oppmuntring, tålmodighet og uendelige tro på meg har gitt meg styrke gjennom hele denne reisen. Til mine søsken, takk for at dere er mine beste venner, mine heia-gjenger og mitt trygge sted. Denne prestasjonen er ikke bare min, den tilhører oss alle. Jeg bærer med meg deres støtte og kjærlighet i alt jeg gjør. Tusen hjertelig takk for alt. Jeg elsker dere.

Til mitt livs kjærlighet, takk for at du har støttet meg gjennom alt. Din kjærlighet, tålmodighet og stille styrke har båret meg gjennom hvert øyeblikk av tvil og hvert steg på denne reisen. Du trodde på meg når jeg ikke kunne se målet, og minnet meg på min verdi når jeg trengte det som mest. Din tilstedeværelse har vært min største trøst og motivasjon, og jeg er evig takknemlig for å ha deg ved min side.

Takk for at du har elsket meg gjennom alt, elsker deg.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT	2
3. PALABRAS CLAVE	3
4. INTRODUCCIÓN.....	5
4.1 ENDODONCIA.....	5
4.1.1 Historia de la endodoncia	5
4.1.2 Concepto de endodoncia.....	6
4.1.3 Etapas del tratamiento endodóntico	6
4.2 SIMULACIÓN HÁPTICA	11
4.2.1 Concepto e historia de simulación háptica	11
4.2.2 Ventajas de la simulación háptica en el entrenamiento de endodoncia.....	12
4.2.3 Limitación y desafíos de la simulación háptica en odontología.....	13
4.3. SIMODONT®	14
4.3.1 Concepto de Simodont®.....	14
4.3.2 Características principales del Simodont®	14
4.3.3 Aplicaciones clínicas y su influencia en la formación de dentistas.....	15
5. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS.....	19
5.1 JUSTIFICACIÓN	19
5.2 HIPÒTESIS.....	21
6. OBJETIVOS	23
7. MATERIALES Y MÉTODOS	25
7.1.1 Diseño del estudio.....	25
7.1.2.1 Criterios de inclusión.....	25
7.1.3 Tamaño muestral y aleatorización	25
7.1.4 Materiales empleados	27
7.1.5 Descripción del material	29
7.1.6 Recogida de datos.....	31
7.1.7 Análisis estadístico.....	33
8. RESULTADOS.....	35
9. DISCUSIÓN	45
9.1 Mejora en el rendimiento técnico y la formación anatómica	45

9.2 Evaluación de la satisfacción estudiantil y experiencia del usuario	46
9.3 Análisis del tiempo y eficiencia de aprendizaje	48
9.4 Costos, accesibilidad y sostenibilidad de Simodont®	48
9.5 Transferencia clínica y percepción estudiantil	49
9.6 Limitaciones	49
10. CONCLUSIÓN.....	52
11. BIBLIOGRAFÍA	54
12. ANEXOS.....	58

1. RESUMEN

INTRODUCCIÓN: La simulación háptica ha transformado la educación dental al permitir que los estudiantes practiquen procedimientos endodónticos de manera segura en un entorno virtual. Simodont® mejora la formación mediante la retroalimentación táctil, perfeccionando las habilidades motoras y la comprensión anatómica. Sin embargo, los altos costos y el mantenimiento dificultan su adopción generalizada.

MATERIALES Y MÉTODOS: Este estudio comparativo se realizó en la Universidad Europea de Valencia para evaluar dos métodos de entrenamiento en endodoncia: simuladores tradicionales y el simulador de realidad virtual háptica Simodont®. Participaron 40 estudiantes de cuarto año de Odontología, divididos en dos grupos: uno utilizó únicamente dientes artificiales (grupo control n=20) y el otro práctico con Simodont® antes de trabajar con dientes artificiales (grupo experimental n=20). Los estudiantes realizaron aperturas de premolares, evaluadas mediante una rúbrica que consideraba varios aspectos técnicos. Además, los estudiantes del grupo experimental completaron un cuestionario de satisfacción sobre Simodont®.

RESULTADOS: Los estudiantes entrenados con Simodont® obtuvieron puntuaciones significativamente más altas en general ($p < 0,05$), destacando en la forma de la cavidad, la eliminación del techo de la cámara pulpar y la morfología interna. No se encontraron diferencias en los daños al piso pulpar. El tiempo promedio de tarea fue de $252,7 \pm 33,45$ segundos, con un tiempo de instrumentación activa de $41 \pm 2,98$ segundos. El 85% consideró que Simodont® mejoró su comprensión de la anatomía tridimensional; el 70% disfrutó la experiencia; el 65% lo recomendaría; y el 75% prefirió una formación combinada entre simulación virtual y métodos tradicionales.

CONCLUSIÓN: El uso del simulador háptico Simodont® mejoró significativamente las habilidades técnicas de los estudiantes de odontología durante la preparación de cavidades de acceso endodóntico. Los estudiantes entrenados con Simodont® obtuvieron mejores resultados en métricas clave de desempeño en comparación con los métodos tradicionales y expresaron una alta satisfacción con su valor educativo consolidándose como una herramienta educativa efectiva y complementaria.

1. ABSTRACT

INTRODUCTION: Haptic simulation has transformed dental education by allowing students to safely practice endodontic procedures in a virtual environment. Simodont® enhances training through tactile feedback, honing motor skills and anatomical understanding. However, high costs and maintenance hinder its widespread adoption.

MATERIALS AND METHODS: This comparative study was conducted at the European University of Valencia to evaluate two endodontic training methods: traditional simulators and the haptic virtual reality simulator Simodont®. 40 fourth-year dental students participated, divided into two groups: one group used only artificial teeth (control group n=20) and the other group practiced with Simodont® before working with artificial teeth (experimental group n=20). The students performed premolar openings, assessed using a rubric that considered several technical aspects. In addition, students in the experimental group completed a Simodont® satisfaction questionnaire.

RESULTS: Students trained with Simodont® obtained significantly higher overall scores ($p < 0.05$), particularly in cavity shape, pulp chamber roof removal, and internal morphology. No differences were found in pulp floor damage. The average task time was 252.7 ± 33.45 seconds, with an active instrumentation time of 41 ± 2.98 seconds. Eighty-five percent felt that Simodont® improved their understanding of 3D anatomy; 70% enjoyed the experience; 65% would recommend it; and 75% preferred a combination of virtual simulation and traditional methods.

CONCLUSION: The use of the Simodont® haptic simulator significantly improved the technical skills of dental students during endodontic access cavity preparation. Students trained with Simodont® performed better on key performance metrics compared to traditional methods and expressed high satisfaction with its educational value.

2. PALABRAS CLAVE

1. Simulación háptica
2. Simodont[®]
3. Endodoncia
4. Apertura endodoncia
5. Simuladores tradicionales

ABREVIATURAS:

1. CBCT: Tomografía computarizada de haz cónico en 3D
2. NiTi: Níquel-Titanio
3. GC: Grupo control
4. GE: Grupo experimental

INTRODUCCIÓN

4. INTRODUCCIÓN

4.1 ENDODONCIA

4.1.1 Historia de la endodoncia

En los primeros siglos de la sociedad occidental, se documentaron tratamientos para aliviar el dolor pulpar. En el siglo XVII, Fauchard publicó *El cirujano dentista*, marcando el inicio de la odontología moderna, donde detalló tratamientos para patologías pulpares y periapicales, como el uso de eugenol (1). En 1910, Hunter alertó sobre los riesgos de los dientes desvitalizados como focos de bacteriemia, promoviendo la extracción innecesaria de dientes y frenando el desarrollo de la endodoncia (1,2). A pesar de ello, se avanzó en el estudio de la morfología dental, bacteriología radicular y patología pulpar. En 1920, Hermann introdujo el hidróxido de calcio, impulsando un enfoque más biológico (1).

Investigadores como Hess, Callahan y Grossman destacaron la importancia de limpiar y conformar los conductos radiculares. En 1925, Rickert propuso la obturación con cemento y gutapercha, y a finales de los años treinta, Grossman promovió el hipoclorito de sodio como irrigador y la estandarización de instrumentos endodónticos (1).

En 2000, la radiografía digital y la tomografía computarizada (CBCT) comenzaron a utilizarse ampliamente, mejorando el diagnóstico y la planificación del tratamiento al ofrecer imágenes más precisas y tridimensionales. Estos avances permitieron una mejor visualización de las anomalías radiculares y las infecciones periapicales. Los instrumentos de NiTi (Níquel-Titanio) y las técnicas de irrigación avanzadas, como el uso de hipoclorito de sodio y EDTA, optimizaron la limpieza de los conductos. En 2004, la endodoncia regenerativa comenzó a explorarse, utilizando células madre y factores de crecimiento para restaurar la vitalidad pulpar y ofrecer una alternativa biológica a los tratamientos tradicionales (1).

En los últimos años, la endodoncia también ha adoptado enfoques mínimamente invasivos, enfatizando la conservación de la estructura dental para mantener la durabilidad a largo plazo.

4.1.2 Concepto de endodoncia

El tratamiento de endodoncia es una especialidad dental que se centra en la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades y lesiones que afectan la pulpa dental y los tejidos circundantes. La pulpa, un tejido blando que contiene nervios y vasos sanguíneos, es crucial para la vitalidad del diente durante su desarrollo. El daño a la pulpa suele ser causado por caries profundas, fracturas o traumatismos, lo que puede llevar a inflamación o infección, requiriendo intervención para preservar la función y la estructura del diente (3).

La terapia de conductos radiculares es el pilar fundamental de la endodoncia. Este procedimiento consiste en eliminar la pulpa infectada, desinfectar el sistema de conductos y sellarlo para prevenir reinfecciones. Los avances modernos han revolucionado la endodoncia, como la CBCT, que proporciona imágenes tridimensionales detalladas y facilita la visualización de anatomías complejas de los conductos radiculares (4). Además, los instrumentos rotatorios de níquel-titanio han transformado el campo al mejorar la precisión y la eficiencia del tratamiento. Estas tecnologías permiten identificar anatomías complicadas de los conductos y aumentan la predictibilidad de los resultados (3).

4.1.3 Etapas del tratamiento endodóntico

Diagnóstico y evaluación preoperatoria

El primer paso en el tratamiento de conductos radiculares es realizar un diagnóstico adecuado antes de iniciar el procedimiento. Un diagnóstico preciso es fundamental para garantizar un tratamiento efectivo. La evaluación incluye una historia clínica detallada, análisis de la sintomatología y pruebas diagnósticas, tales como:

- Percusión y palpación para evaluar la inflamación periapical.
- Pruebas de vitalidad pulpar térmicas y eléctricas para determinar el estado de la pulpa.
- Imágenes radiográficas, como radiografías periapicales o CBCT, para visualizar el sistema de conductos radiculares y detectar periodontitis apical, fracturas o calcificaciones.

Las radiografías son esenciales para identificar la complejidad de la anatomía radicular, la extensión de la patología y para la planificación del tratamiento (5).

Anestesia y aislamiento del diente

La anestesia local asegura una gestión efectiva del dolor, garantizando la comodidad del paciente durante el procedimiento. En casos de inflamación aguda, se pueden emplear técnicas complementarias como inyecciones intraligamentosa para mejorar la eficacia anestésica. El uso del dique de goma aísla el diente de la cavidad oral, minimizando el riesgo de infección y protegiendo al paciente de ingerir irrigantes o residuos (6). Además, mantener un ambiente estéril es crucial para evitar contaminaciones durante el tratamiento.

Preparación de la cavidad de acceso

Crear una cavidad de acceso precisa es esencial para facilitar las etapas posteriores del tratamiento. Este procedimiento incluye:

- Penetración inicial con una fresa redonda para eliminar esmalte y dentina (tejido con caries).
- Refinamiento de la cavidad con una fresa Endo-Z para lograr paredes lisas sin dañar la base de la cámara pulpar (6,7).

Limpieza y conformación de los conductos radiculares

Esta etapa es fundamental para eliminar microorganismos y preparar el conducto para una obturación efectiva. Incluye:

- Desbridamiento mecánico: Las limas rotatorias de níquel-titanio son preferidas por su flexibilidad y eficiencia de corte, especialmente en conductos curvos.
- Irrigación química: Se emplea una combinación de hipoclorito de sodio para disolver tejido orgánico, EDTA para eliminar la capa de frotis y clorhexidina por su acción antimicrobiana. La activación ultrasónica o sónica de los irrigantes mejora su penetración en los túbulos dentinarios.

Una irrigación regular entre los cambios de limas previene la compactación de residuos y asegura la desinfección de áreas difíciles de alcanzar (5,6).

Determinación de la longitud de trabajo

Una longitud de trabajo precisa garantiza una limpieza adecuada y evita la sobrepreparación o la insuficiencia en el tratamiento del conducto. Los métodos incluyen:

- Localizadores de ápice electrónicos: Dispositivos que miden la impedancia de los tejidos periodontales para localizar con precisión la constricción apical.
- Confirmación radiográfica, conductometría: Radiografías complementarias verifican las mediciones electrónicas y las complejidades anatómicas (6,7).

Obturación de los conductos radiculares

El relleno de los conductos preparados busca sellar el sistema radicular y prevenir la reinfección bacteriana. La gutapercha, junto con selladores endodónticos, es el material estándar debido a su biocompatibilidad y propiedades de sellado. Las técnicas de compactación lateral y vertical aseguran una adaptación adecuada a las paredes del conducto, logrando un sellado hermético (6).

Restauración coronario

La restauración final es crucial para la durabilidad del diente tratado. Un relleno permanente bien sellado o una corona restauran la integridad estructural y previenen la microfiltración. Retrasar la restauración aumenta el riesgo de fracturas o reinfección, destacando su importancia (7).

4.1.4 Desafíos y complicaciones en los procedimientos endodónticos

Uno de los desafíos más significativos en endodoncia puede derivarse de la variabilidad en la anatomía de los conductos radiculares. Los dientes tienen anatomías diferentes, que pueden incluir conductos curvados, múltiples o de formas inusuales, lo que dificulta limpiarlos y darles forma de manera efectiva durante el tratamiento de conductos. Esto puede ocasionar complicaciones como la formación de escalones, donde los instrumentos se doblan y no avanzan en la dirección deseada, o el bloqueo del conducto debido a la compactación de restos (8,9). La complejidad anatómica también puede resultar en perforaciones, ya sea en la furca o en la región apical, debido a una sobreinstrumentación o longitudes de trabajo inexactas (10,8).

El dolor es otra complicación común que ocurre con frecuencia. El dolor preoperatorio a menudo surge de la pulpitis o absceso presente en el diente, lo que puede generar una sensibilidad aumentada durante el proceso de tratamiento. La intensidad del dolor preoperatorio suele ser un indicador del malestar postoperatorio, siendo los pacientes con dolor preoperatorio significativo más propensos a experimentar niveles de dolor más intensos después del tratamiento (11,12). Esto resalta la importancia de abordar la causa del dolor antes de realizar procedimientos endodónticos para reducir el riesgo de incomodidad postoperatoria.

Además, ciertos factores contribuyen al dolor postoperatorio, como la técnica de instrumentación, la presencia de periodontitis apical y el tipo de irrigantes utilizados. Las investigaciones han demostrado que las técnicas más agresivas y el uso de irrigantes más fuertes tienden a aumentar la probabilidad de dolor posterior al tratamiento, mientras que los métodos más suaves y protocolos de irrigación cuidadosos se asocian con menor incomodidad (13,14).

Otro desafío que ocurre con frecuencia es el fracaso del tratamiento endodóntico. El retratamiento es necesario cuando el tratamiento inicial ha fallado, ya sea por conductos no detectados o un sellado deficiente. El proceso de retratamiento implica la eliminación del material de obturación previo, la limpieza del conducto nuevamente y su resellado, donde la dificultad aumenta al retirar el material de obturación viejo. La gutapercha, un sellador de conductos radiculares comúnmente

utilizado, puede ser difícil de retirar sin causar más daño a la estructura radicular (10). La presencia de material de obturación residual, especialmente cementos de fraguado duro, también puede complicar la instrumentación del conducto, incrementando el riesgo de fracaso del tratamiento (15).

Otro problema es la perforación, ya sea durante la preparación de la cavidad de acceso o la instrumentación apical. Las perforaciones en la furca o la región apical de la raíz pueden llevar a una serie de complicaciones, como infecciones y dificultades para sellar adecuadamente el conducto (16).

La sobreobturación o subobturación del conducto radicular es otra complicación frecuente. Los conductos sobreobturados, donde el material de obturación se extiende más allá del límite apical, pueden provocar inflamación en los tejidos periapicales, mientras que los conductos infraobturados dejan espacio para el crecimiento bacteriano. Ambas condiciones se asocian con un mayor riesgo de fracaso del tratamiento y la necesidad de retratamiento (17).

Los factores relacionados con el paciente también juegan un papel crucial en el éxito del tratamiento endodóntico. Muchos pacientes experimentan ansiedad o miedo hacia los procedimientos dentales, lo que puede generar dificultades durante el tratamiento. En tales casos, es fundamental gestionar la ansiedad del paciente y garantizar que esté cómodo durante todo el procedimiento. Además, los pacientes con ciertas condiciones médicas o que toman medicamentos pueden requerir ajustes en sus planes de tratamiento. Por ejemplo, los pacientes mayores a menudo tienen problemas de salud subyacentes, como diabetes o enfermedades cardiovasculares, que pueden afectar el proceso de curación o la elección de la anestesia. Por lo tanto, es necesario hacer interconsultas con otros profesionales de atención médica para garantizar que el tratamiento sea seguro y efectivo (15,18).

Los estudios han demostrado que, en la práctica clínica, la experiencia del operador es crucial para minimizar las complicaciones. Los especialistas, que manejan casos más complejos, tienden a encontrar menos complicaciones en comparación con los profesionales menos experimentados (19).

Innovaciones como los instrumentos rotatorios de níquel-titanio, los localizadores electrónicos de ápices y los sistemas modernos de irrigación han contribuido a reducir los riesgos asociados con el tratamiento. Sin embargo, al igual que en todos los campos médicos, estas tecnologías aún tienen limitaciones. Por ejemplo, aunque los instrumentos NiTi ofrecen mayor flexibilidad y son menos propensos a fracturarse, aún tienen el potencial de romperse si se utilizan de forma inadecuada, lo que puede complicar el tratamiento. Además, aunque el uso de herramientas como la CBCT permite una mejor visualización de la compleja anatomía de los conductos radiculares, su uso aún no es universal, y muchas clínicas todavía dependen de radiografías tradicionales, que pueden ser menos informativas (20).

4.2 SIMULACIÓN HÁPTICA

4.2.1 Concepto e historia de simulación háptica

La simulación háptica es una tecnología que replica el sentido del tacto mediante retroalimentación táctil en entornos virtuales. Combina sensores avanzados, actuadores y software para simular interacciones físicas, permitiendo a los usuarios sentir texturas, fuerzas y resistencias al manipular objetos virtuales. Esta tecnología se utiliza ampliamente en la formación y educación, particularmente en campos como la medicina, donde mejora las habilidades prácticas sin necesidad de materiales físicos (21). Al imitar condiciones del mundo real, la simulación háptica mejora la participación, la precisión y los resultados de aprendizaje (22).

La simulación háptica, la tecnología que permite a los usuarios sentir objetos virtuales a través del tacto, ha evolucionado significativamente a lo largo de los años. Sus orígenes se remontan a mediados del siglo XX, cuando las primeras investigaciones en cibernética exploraron la interacción entre humanos y máquinas. En la década de 1960, los ingenieros desarrollaron exoesqueletos con retroalimentación de fuerza para la manipulación remota (23).

En la década de 1990, los avances en informática llevaron a la creación del PHANTOM Haptic Device, que permitió la interacción táctil precisa con objetos virtuales. Pronto surgieron aplicaciones médicas, permitiendo a los estudiantes practicar procedimientos en entornos seguros y libres de riesgos. Los años 2000 trajeron avances rápidos, con la simulación háptica expandiéndose a la cirugía, odontología, videojuegos e interfaces automotrices. En 2010, Simodont® revolucionó la formación dental al proporcionar una retroalimentación háptica realista para los estudiantes. Hoy en día, la tecnología háptica evoluciona junto con la inteligencia artificial y la realidad virtual, prometiendo interacciones aún más inmersivas e intuitivas en campos como la medicina, los videojuegos y la robótica (24).

4.2.2 Ventajas de la simulación háptica en el entrenamiento de endodoncia

La estimulación háptica en endodoncia ofrece numerosos beneficios para la educación y práctica dental. Una gran ventaja es la oportunidad de practicar repetidamente en un entorno virtual, lo que permite a los estudiantes perfeccionar sus habilidades motoras sin la presión de trabajar con pacientes reales (25). La retroalimentación háptica imita las sensaciones naturales de la estructura dental, proporcionando una experiencia táctil que mejora la comprensión de la anatomía dental, incluidos la cámara pulpar y los conductos radiculares (26). Esta retroalimentación táctil conduce a una mejora de las habilidades motoras, permitiendo a los estudiantes realizar procedimientos delicados con precisión (25).

Además, los estudiantes ganan confianza mediante la práctica constante, lo que ayuda a reducir el estrés y la ansiedad asociados con procedimientos dentales complejos (26). Como resultado, la simulación háptica mejora la preparación clínica de los estudiantes, aumenta su autoconfianza y mejora su competencia general en los procedimientos de endodoncia, lo que lleva a un mejor cuidado del paciente y a menos errores en los tratamientos reales.

4.2.3 Limitación y desafíos de la simulación háptica en odontología

A pesar de las ventajas de la estimulación háptica en la educación dental, existen varios desafíos que limitan su uso generalizado. Los altos costos son una de las principales barreras, ya que los sistemas de simulación VR y háptica requieren una inversión significativa, lo que puede ser prohibitivo para muchas escuelas de odontología con presupuestos limitados. Además, el mantenimiento y las actualizaciones de estos sistemas aumentan aún más la carga financiera (26). Las limitaciones tecnológicas también juegan un papel importante, ya que la retroalimentación háptica no replica perfectamente las complejas sensaciones táctiles de los procedimientos dentales reales.

La interacción de la herramienta virtual con el diente simulado puede sentirse menos realista en comparación con las estructuras dentales reales, lo que puede reducir la efectividad del entrenamiento (25). Además, la integración de la tecnología háptica requiere un tiempo considerable para que los instructores aprendan a utilizarla de manera efectiva, y capacitarlos puede ser un proceso que consume recursos. Otros desafíos incluyen la duración insuficiente de las sesiones de VR, la dificultad para controlar el instrumento y la aplicación limitada de materiales dentales en las simulaciones (25,26).

4.3. SIMODONT®

4.3.1 Concepto de Simodont®

Simodont® es un simulador dental háptico de realidad virtual diseñado como una herramienta innovadora de entrenamiento para mejorar la educación de los estudiantes de odontología, proporcionando un entorno realista e interactivo para el desarrollo de habilidades. El objetivo principal de Simodont® es cerrar la brecha entre el conocimiento teórico y las habilidades prácticas, permitiendo a los estudiantes ganar confianza y competencia antes de trabajar con pacientes reales. Este enfoque basado en simulación se alinea con las tendencias educativas contemporáneas que destacan el aprendizaje experiencial y la seguridad del paciente (27).

Simodont® aprovecha los principios de la teoría del aprendizaje experiencial al permitir que los estudiantes practiquen diversos procedimientos dentales en un entorno libre de riesgos.

El dispositivo utiliza visualizaciones tridimensionales (3D) y tecnología de retroalimentación de fuerza para imitar las sensaciones táctiles de las herramientas dentales interactuando con diferentes tejidos orales. Al replicar escenarios de la vida real, Simodont® facilita la adquisición de habilidades, la identificación de errores y la autoevaluación, convirtiéndose en un recurso invaluable en la educación odontológica (28).

Además de sus beneficios educativos, Simodont® promueve la sostenibilidad al reducir la dependencia de materiales consumibles, como los dientes de plástico.

4.3.2 Características principales del Simodont®

El simulador dental háptico Simodont® VR se destaca por sus características avanzadas, que lo convierten en una herramienta eficaz para la educación dental. Simodont® integra tecnología háptica avanzada para simular las sensaciones táctiles de los instrumentos dentales interactuando con los tejidos orales, ofreciendo a los estudiantes una experiencia altamente realista (27,29). Además, Simodont® proporciona visualizaciones detalladas en 3D de la cavidad oral, lo que permite a los

estudiantes participar en procedimientos virtuales realistas. La interacción en tiempo real con estos elementos visuales mejora tanto la conciencia espacial como la comprensión conceptual, que son fundamentales para una práctica dental efectiva (29).

Simodont® sobresale en la simulación de una amplia gama de procedimientos dentales, como la preparación de cavidades, la colocación de coronas y el tratamiento de conductos radiculares. Su diseño modular permite a los estudiantes abordar estas tareas en diferentes niveles de dificultad, generando confianza a medida que avanzan (30). La capacidad del sistema para proporcionar retroalimentación inmediata sobre el rendimiento es otra característica clave, ofreciendo evaluaciones detalladas de métricas como la angulación, la profundidad y el uso de herramientas. Esta retroalimentación no solo apoya el aprendizaje autodirigido, sino que también ayuda a los educadores a evaluar el progreso de los estudiantes de manera objetiva a través de información basada en datos (29,30)

La personalización es otra característica destacada de Simodont®. Los educadores pueden adaptar las simulaciones para alinearlas con objetivos de enseñanza específicos y ajustarlas a las necesidades individuales o grupales, asegurando que el simulador sea relevante en diversos contextos educativos. Esta flexibilidad se ve aún más mejorada por el software integrado, que proporciona orientación estructurada desde habilidades básicas hasta procedimientos avanzados, promoviendo la consistencia en los resultados del entrenamiento (29,30).

Al combinar tecnología háptica de vanguardia, características personalizables y un compromiso con la sostenibilidad, Simodont® representa una solución integral para la formación dental moderna, proporcionando una herramienta de aprendizaje eficaz y eficiente tanto para estudiantes como para educadores (27).

4.3.3 Aplicaciones clínicas y su influencia en la formación de dentistas

Utilizar Simodont® en procedimientos dentales puede complementar los métodos tradicionales de formación dental. Los estudios han demostrado que los estudiantes que usan Simodont® se sienten más confiados en su capacidad para transferir habilidades de la simulación a escenarios clínicos, con un alto porcentaje

expresando que mejoró sus habilidades preclínicas (31). Sin embargo, la integración de Simodont® con el software del curso permite evaluaciones detalladas y automatizadas, proporcionando retroalimentación tanto cualitativa como cuantitativa, lo cual es esencial para el aprendizaje continuo (31).

Además, la capacidad de Simodont® para simular diversos escenarios clínicos y permitir la repetición de procedimientos complejos lo convierte en una herramienta invaluable para desarrollar el razonamiento clínico y la toma de decisiones. Algunos escenarios clave que puede simular incluyen:

- **Preparación de cavidades** – Los estudiantes pueden practicar diferentes tipos de preparaciones cavitarias con retroalimentación háptica realista.
- **Apertura de acceso endodóntico** – Permite la práctica precisa de la apertura de cavidades de acceso en procedimientos endodónticos.
- **Preparaciones para coronas y puentes** – Los usuarios pueden perfeccionar sus habilidades en la conformación de dientes para restauraciones protésicas.
- **Exploración de la cámara pulpar y la anatomía del conducto radicular** – Proporciona una simulación detallada de las estructuras internas del diente.
- **Casos de pacientes virtuales** – El sistema puede presentar diferentes casos clínicos, incluidas variaciones anatómicas y condiciones patológicas.
- **Variaciones en la resistencia al fresado** – El software puede simular diferentes resistencias de materiales, imitando el esmalte, la dentina y el tejido afectado por caries (27).

Aunque no está destinado a reemplazar la formación práctica ni a los instructores humanos, mejora significativamente el proceso de aprendizaje al proporcionar a los estudiantes un entorno controlado e inmersivo donde pueden perfeccionar sus habilidades (31,27). Así, el papel de Simodont® en la educación dental está creciendo, particularmente en la mejora de la competencia y la confianza de los estudiantes a medida que transitan a la práctica clínica real.

En conclusión, este estudio tiene como objetivo explorar el impacto de la simulación háptica, específicamente utilizando Simodont®, en el desarrollo de habilidades endodónticas entre los estudiantes de odontología. Este trabajo se centra en comparar la efectividad de Simodont®, que ofrece una experiencia virtual altamente realista, con los simuladores tradicionales.

JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

5. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

5.1 Justificación

Los procedimientos endodónticos, centrados en el tratamiento del interior del diente, son esenciales en la educación dental, ya que influyen directamente en la calidad de la atención al paciente. Tradicionalmente, los estudiantes han perfeccionado estas habilidades en cabezas de fantoma, un enfoque práctico que, aunque efectivo, presenta limitaciones en retroalimentación y realismo.

Con los avances tecnológicos, simuladores de realidad virtual hápticos, como Simodont® ofrecen experiencias de aprendizaje inmersivas con retroalimentación en tiempo real y una sensación táctil más realista. Estos permiten practicar en entornos controlados sin riesgos para los pacientes (29,31).

Sin embargo, la evidencia sobre la efectividad de estos simuladores frente a métodos tradicionales sigue siendo limitada. Aunque algunos estudios analizan el uso de VR en educación dental, pocos exploran su impacto específico en habilidades endodónticas. Este estudio busca comparar ambos métodos para evaluar su efectividad en el desarrollo de dichas habilidades.

Los resultados podrían transformar la educación dental, orientando las mejores prácticas. Si los simuladores VR son más efectivos, podrían revolucionar la formación y mejorar la atención al paciente. Por otro lado, si los métodos tradicionales demuestran mejores resultados, se reafirmará su importancia. Este análisis busca proporcionar una base sólida para optimizar la formación de futuros dentistas.

Justificación con desarrollo sostenible (ODS)

Este trabajo nos permite alcanzar 3 objetivos de desarrollo sostenible (ODS): el tercero “Salud y Bienestar”, el cuarto “Educación de calidad” y el noveno “Industria, Innovación, Infraestructura”,

- **ODS 3: Salud y bienestar** – Al mejorar la formación de futuros profesionales dentales, el estudio apoya indirectamente mejores resultados en la atención sanitaria. Los profesionales capacitados son esenciales para brindar atención

endodóntica de alta calidad, mejorar la salud bucal y garantizar el bienestar de los pacientes.

- **ODS 4: Educación de calidad** – La investigación explora enfoques innovadores para mejorar la educación en odontología mediante la integración de simuladores avanzados de realidad virtual háptica como Simodont®. Este método de entrenamiento modernizado busca mejorar la adquisición de habilidades, la eficiencia y la confianza de los estudiantes, fomentando un entorno de aprendizaje más efectivo e inclusivo.
- **ODS 9: Industria, innovación e infraestructura** – El estudio promueve la aplicación de tecnología de vanguardia en la educación, impulsando la innovación en los métodos de formación. La introducción de simuladores hápticos en endodoncia no sólo moderniza la enseñanza, sino que también abre camino hacia una capacitación profesional más eficiente, precisa y sostenible en odontología.

5.2 Hipótesis

1. Los estudiantes entrenados con el simulador háptico de realidad virtual Simodont® mostrarán una mejora en las habilidades adquiridas en aperturas de endodoncia, en comparación con los entrenados con simuladores tradicionales.
2. El uso del simulador háptico de realidad virtual Simodont® resultará en una mayor satisfacción estudiantil, mayor confianza en la realización de procedimientos endodónticos y tiempos de finalización de tareas más rápidos en comparación con el entrenamiento con simuladores tradicionales.

OBJETIVOS

6. OBJETIVOS

Objetivo principal

1. Evaluar la eficacia en el desarrollo de habilidades prácticas en endodoncia entre los estudiantes de odontología que entrenan exclusivamente con simuladores tradicionales y aquellos que también incorporan simuladores de realidad virtual háptica (Simodont®).

Objetivo secundario

2. Evaluar si el uso del simulador Simodont®. mejora las habilidades adquiridas en aperturas de endodoncia por los participantes del grupo experimental en comparación con aquellos entrenados exclusivamente en simuladores convencionales (grupo control).
3. Determinar la percepción y satisfacción de los estudiantes en, relación al uso de la realidad virtual háptica como complemento formativo en la práctica preclínica de endodoncia.
4. Analizar los patrones de uso del simulador Simodont®, evaluando la relación entre el tiempo total de trabajo y el tiempo de presión en el desarrollo de la práctica en endodoncia.

MATERIALES Y MÉTODOS

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1.1 Diseño del estudio

Estudio comparativo y de intervención que se llevó a cabo en el laboratorio preclínico y de simulación de la Universidad Europea de Valencia (UEV). El estudio se realizó utilizando el simulador háptico “Simodont®” y métodos tradicionales con dientes de endodoncia en dientes montados en modelo de escayola.

Fue llevado a cabo por un grupo de estudiantes de cuarto año de odontología. Este estudio experimental cuenta con la aprobación de la Comisión de Investigación de la Escuela de Doctorado e Investigación de la Universidad Europea, aprobado el día 24-1-25 con código de registro: 2025-128 (Anexo 1). El estudio se realizó entre *marzo 28 – abril 4 2025*. La redacción del trabajo se ha realizado teniendo en cuenta la guía CONSORT.

7.1.2 Selección de la muestra

Se seleccionaron estudiantes de 4º año de Odontología de la Universidad Europea de Valencia, matriculados en la asignatura “*Restauradora III*”. A un total de 160 alumnos se les envió un correo electrónico invitándolos a participar de manera voluntaria en el estudio, en el cual se proporcionaba una explicación detallada sobre su objetivo y desarrollo. Los primeros 40 participantes fueron seleccionados según el orden de inscripción.

7.1.2.1 Criterios de inclusión

- Estudiantes matriculados en el 4º año de odontología.
- Estudiantes matriculados en la asignatura “*Restauradora III*”
- Disponibilidad para participar en una sesión de entrenamiento el día previsto.

7.1.2.2 Criterios de exclusión

- Estudiante que retiraran el consentimiento durante el transcurso del estudio.
- Estudiantes que estaban repitiendo la asignatura de restauradora III.

7.1.3 Tamaño muestral y aleatorización

Se llevó a cabo un primer entrenamiento de aperturas de endodoncia de dientes montados en modelo de escayola a los 40 alumnos voluntarios. Todos los participantes realizaron una apertura de un premolar de resina montados en modelo de escayola.

Tras completar este primer entrenamiento, dos evaluadores expertos en endodoncia asignaron una calificación a cada participante. Las puntuaciones fueron registradas en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, junto con los nombres de los estudiantes. Posteriormente, los participantes fueron ordenados según su puntuación, de mayor a menor. Aquellos que ocupaban posiciones pares en la lista fueron asignados al grupo control (GC), mientras que los que se encontraban en posiciones impares fueron asignados al grupo experimental (GE).

Grupo control (n=20):

Prácticas preclínicas de aperturas de endodoncia en simuladores convencionales.

Grupo experimental (n=20):

Primero realizaban sesiones en simuladores de realidad virtual háptica (Simodont®), y posteriormente llevaban a cabo las prácticas preclínicas de aperturas de endodoncia en simuladores convencionales.

7.1.4 Materiales empleados

A continuación, se muestra en *Tabla 1* en la que se indican los diferentes los materiales utilizados.

Tabla 1. *Materiales utilizados.*

Materiales	Descripción
Equipo de seguridad y protección	Guantes, gafas protectoras y mascarillas desechables y bata de laboratorio para higiene y seguridad.
Simuladores tradicionales	Dientes montados en modelo de escayola.
Instrumentos para la apertura de endodoncia	Turbina, contra ángulo, kit de exploración (espejo, pinzas, sonda), sonda endodóntica (Maillefer-Denstply® 6-15, Hu- Friedy® A9- EXDG 16), fresas (Fresa de apertura tronco-conica - Komet® Referencia 807 314 010) Premolares; Endo Z, 23mm – (Bestdent® Referencia 152-16 60144).
Instrumentos para la apertura de endodoncia - Simodont®	Simodont®: (A NISSIN BRAND) <ul style="list-style-type: none">• Panel (pantalla táctil) que permite acceder a la interfaz de usuario para seleccionar, interactuar y completar casos.• Espejo.• Visor de pantalla 3D para objetos dentales, campo háptico.• Gafas 3D para mirar a través de la pantalla 3D.• Pedal para activar y controlar la velocidad de los instrumentos manuales (turbina y micromotor)

Programa iconográfico:

1. Rúbrica de evaluación de aperturas modificada y adaptada a premolares del artículo de Slaczka y cols (Anexo 2) (32). Los dientes preparados fueron codificados con el número del participante evaluados según la rúbrica de evaluación (Figura 1).

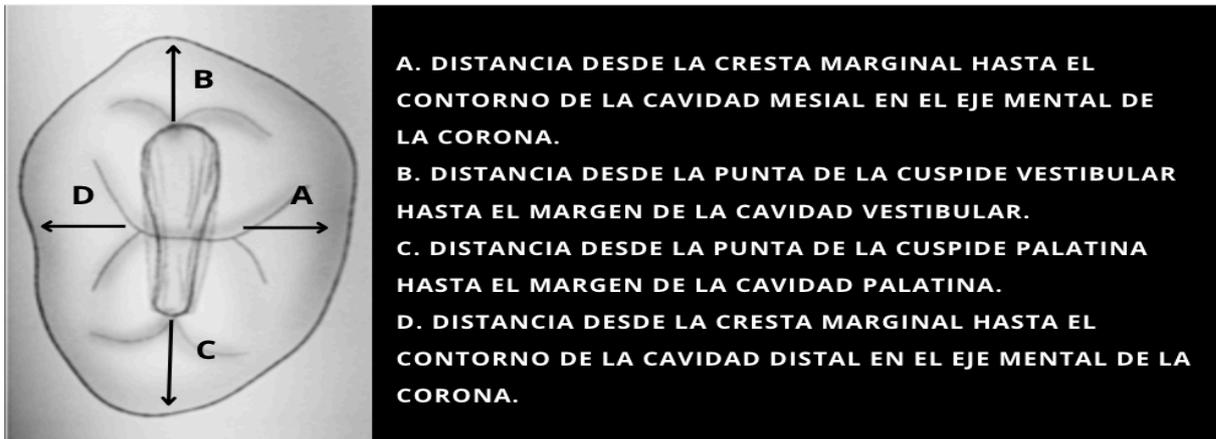


Figura 1: *Rúbrica de evaluación*

2. Cuestionario de percepción y satisfacción del estudiante sobre el uso del Simodont® (Anexo 3), la mitad de las preguntas son del artículo (32), la otra mitad creadas por nosotros.

Programa informático:

3. Tratamiento de datos: Programa de excel office.
4. Análisis estadístico: Software de análisis estadístico y representación de datos GraphPad Software INC, San Diego, CA, EE.UU

7.1.5 Descripción del material

Preparación de los estudiantes

40 estudiantes de odontología de 4º año llegaron al laboratorio de simulación, donde se les preparó para participar en el estudio.

A los participantes del estudio se les presentó una presentación en PowerPoint que detallaba el procedimiento para realizar una apertura en premolares, así como los materiales necesarios. La presentación incluía pautas sobre cómo eliminar el techo de la cámara pulpar y cómo prevenir daños en el suelo de la cámara pulpar, incluyendo la prevención de perforaciones.

Antes de comenzar a practicar con Simodont®, el grupo experimental participó en una formación centrada en el uso del simulador, con un enfoque específico en la realización de aperturas utilizando el simulador. El vídeo empleado para la formación fue obtenido de YouTube y está disponible en el siguiente enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=-fk0JTQpLME>.

Conocimiento informado

Se elaboró un consentimiento informado (Anexo 4) en el que se explicaban los objetivos y el propósito del estudio, garantizando la confidencialidad y el tratamiento anónimo de los datos. Se enfatizó que los datos solo se usarían para esta investigación y se solicitó el consentimiento voluntario del paciente. Este documento fue entregado en papel para ser firmado por todos los participantes antes, de comenzar con la investigación.

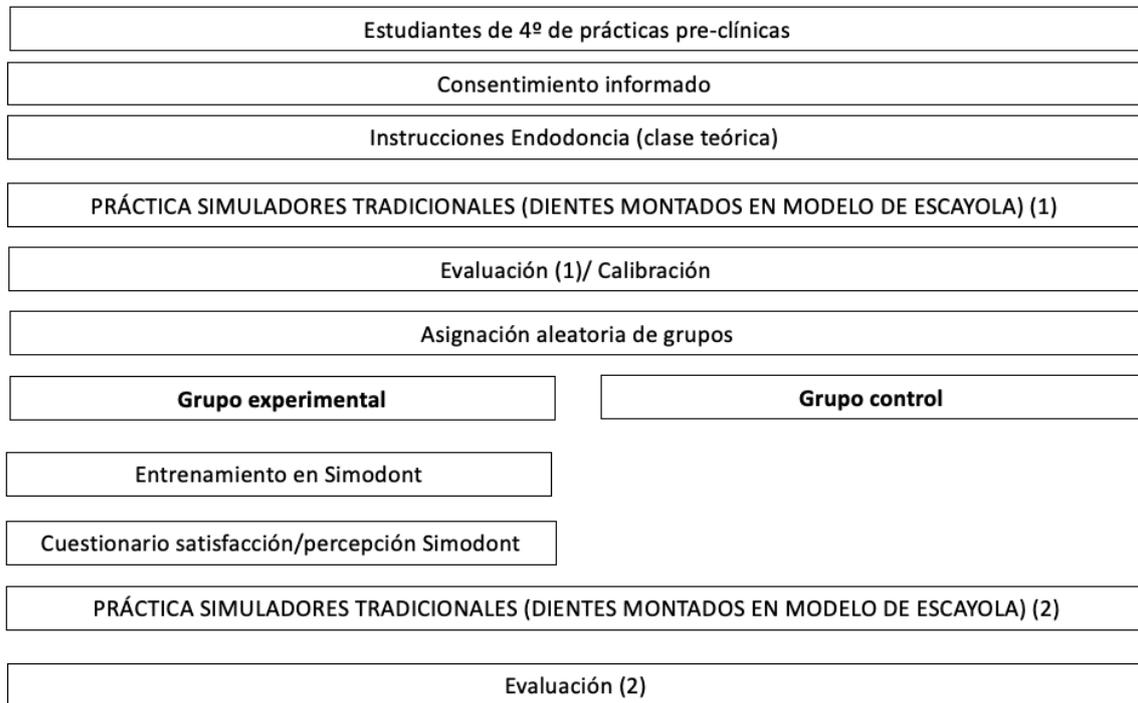


Figura 2. Esquema que resume todas las fases del protocolo implementado.

Entrenamiento

Se llevó a cabo un primer entrenamiento de aperturas de endodoncia en dientes de resina de endodoncia montados en modelo de escayola, con la participación de 40 alumnos voluntarios. En esta primera fase, todos los participantes realizaron la apertura de acceso en un premolar con dientes de resina montado en escayola.

Una vez finalizada esta primera etapa, se procedió a la formación de dos grupos de igual tamaño, con el fin de comparar los métodos de entrenamiento.

Después de formar los dos grupos, los participantes de los grupos experimental y grupo control, se llevó a cabo una segunda sesión de práctica enfocada en la apertura de premolares. Los participantes del grupo control continuaron utilizando los dientes de resina montados en modelo de escayola para realizar las aperturas. En contraste, los integrantes del grupo experimental realizaron la apertura de acceso utilizando el simulador de realidad virtual háptica Simodont®.

Finalmente, tras completar el entrenamiento con Simodont®, los estudiantes del grupo experimental volvieron a realizar aperturas de acceso en premolares montados en resina en modelo de escayola.

7.1.6 Recogida de datos

La recogida de datos en este estudio implicó varios métodos para evaluar el impacto de las dos técnicas de entrenamiento en las habilidades endodónticas de los estudiantes.

1. Evaluación de las aperturas

Se procedió a evaluar las aperturas mediante dos examinadores. Un primer examinador profesor de la UEV y otro segundo examinador estudiante de último curso de odontología de la UEV. Se evaluaron las aperturas del último entrenamiento de ambos grupos de aperturas con diente premolar montados en resina en modelo de escayola. Siguieron una rúbrica descrita en el artículo Slaczka et al. (32), que fue modificada y adaptada a premolares (Anexo 2).

Los criterios de la rúbrica de calificación comprendían cuatro secciones:

- A. Contorno y colocación.
- B. Eliminación del techo de la cámara pulpar.
- C. Daño al suelo de la cámara pulpar, incluyendo arañosos y perforaciones.
- D. Forma interna.

Cada sección del formulario de evaluación estaba asociada con una calificación. Las calificaciones de las secciones se sumaron para obtener una calificación total para cada participante. Los dientes preparados de los grupos experimental y control fueron evaluados de manera independiente por dos examinadores, los cuales no sabían de qué grupo procedían los dientes. Para conseguir esto, se tapó el número del participante, previamente inscrito en los dientes preparados, con cinta adhesiva.

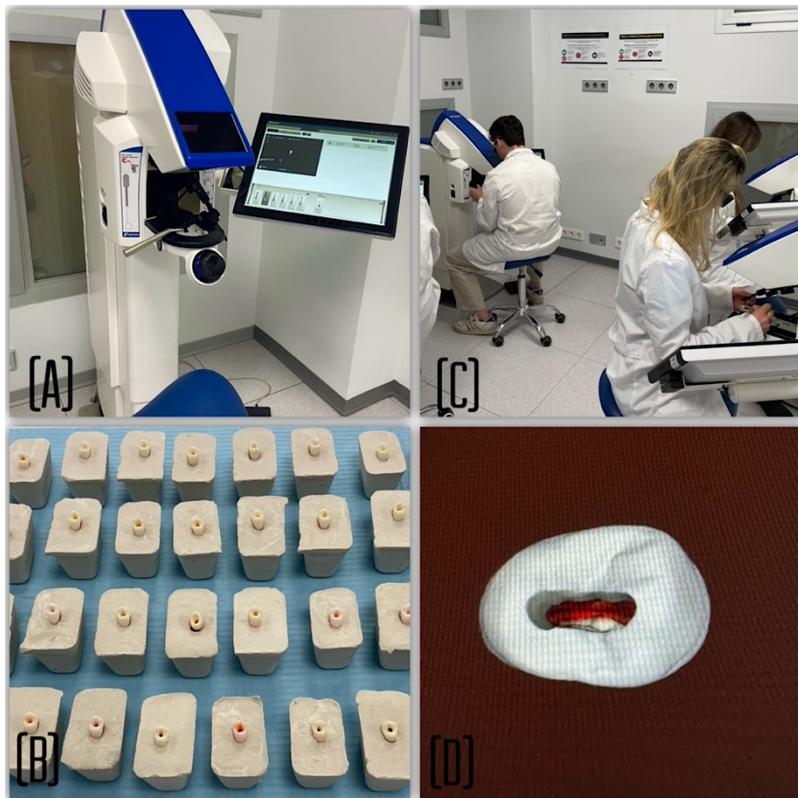


Figura 3. Simodont®. (A) Apertura cameral de endodoncia en dientes montados en modelo de escayola (B) Estudiantes realizando la práctica de Simodont®. Preparación de la cavidad de acceso en Simodont del diente virtual 3D #14 (D).

2. Satisfacción del Estudiante (Cuestionario)

Al final de la sesión práctica, los participantes del grupo experimental completaron un cuestionario evaluando sus experiencias con Simodont®, Se entregó a cada participante el cuestionario de satisfacción y percepción sobre el uso del Simodont®, el cual se encuentra adjunto en el (Anexo 3) (32).

Este cuestionario estaba basado en aspectos de la realidad virtual considerados importantes para el entrenamiento de aperturas de endodoncia, incluyendo la visualización de la anatomía tridimensional de la cámara pulpar, la retroalimentación háptica de la pieza de mano de Simodont®, el nivel de satisfacción y si los estudiantes, recomendaría la tecnología a sus compañeros.

3. Evaluación del Tiempo

Dos evaluadores midieron el tiempo que los participantes del grupo experimental tardaron en realizar correctamente una apertura de endodoncia en un premolar, utilizando el simulador. El software integrado reflejó el tiempo exacto empleado.

7.1.7 Análisis estadístico

Los datos se presentan como media +/- desviación estándar (SD) de los resultados obtenidos.

El análisis de la distribución normal para cada grupo de datos se realizó mediante el test de Kolmogorov-Smirnov.

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo mediante el análisis de la prueba de T de student entre dos grupos, o por pruebas no paramétricas apropiadas en su caso en función del procedimiento (GraphPad Software INC, San Diego, CA, EE.UU). Los resultados se tomaron como significativos (*) cuando el valor $p < 0,05$.

RESULTADOS

8. RESULTADOS

El reclutamiento de los participantes se realizó entre el 28 de marzo y el 4 de abril de 2025, durante las prácticas preclínicas de la asignatura “Restauradora III” en la Universidad Europea de Valencia. Se enviaron invitaciones por correo electrónico a un total de 160 estudiantes de 4º año de Odontología. Los primeros 40 estudiantes que aceptaron participar fueron seleccionados para el estudio, tras firmar el consentimiento informado. De los 40 estudiantes participantes, 20 fueron asignados al grupo control (simuladores tradicionales) y 20 al grupo experimental (Simodont® + simuladores tradicionales). Todos los participantes completaron el estudio y las evaluaciones programadas, sin registrarse ninguna pérdida durante el seguimiento. Los 40 estudiantes realizaron las aperturas endodónticas en premolares montados en modelo de escayola, siendo evaluados mediante una rúbrica estandarizada. Además, los 20 estudiantes del grupo experimental completaron un cuestionario de satisfacción tras el uso del simulador háptico Simodont®. Todos los datos recogidos se incluyeron en el análisis estadístico (Figura 4).

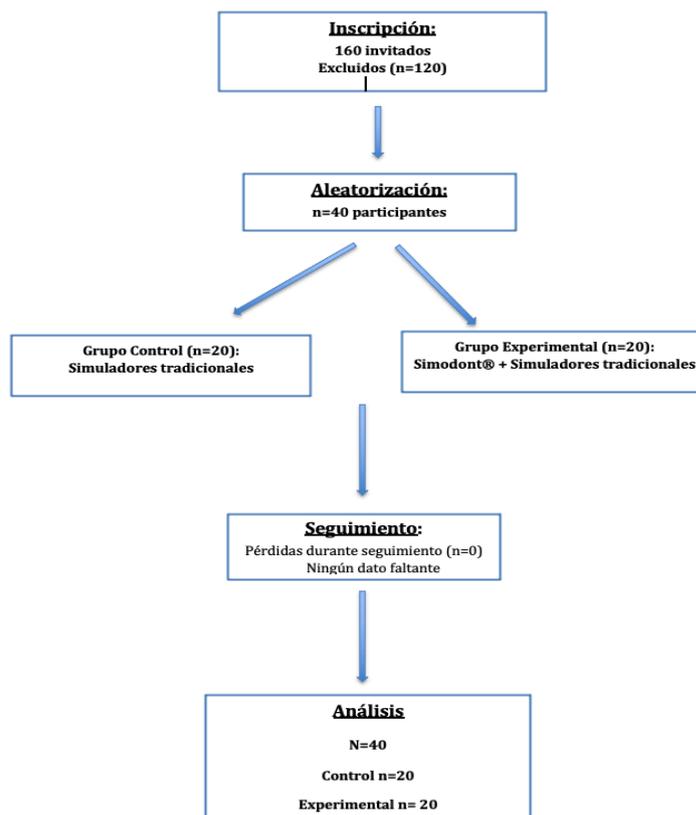


Figura 4. Diagrama de flujo CONSORT del estudio.

En esta sección se presentan los hallazgos obtenidos tras la implementación del estudio experimental que comparó el entrenamiento en endodoncia entre estudiantes de odontología que utilizaron simuladores tradicionales y aquellos que también incorporaron el simulador de realidad virtual háptica Simodont®. Los resultados se organizaron con base en los objetivos del estudio, abordando tanto la eficacia en el desarrollo de habilidades prácticas como la percepción y satisfacción de los estudiantes frente al uso del Simodont® en el contexto de la enseñanza preclínica. Se analizó el desempeño práctico de los estudiantes en la realización de cavidades de acceso, comparando el grupo experimental con el grupo control, así como el tiempo de aprendizaje necesario para alcanzar un resultado clínicamente aceptable. Además, mediante una encuesta de satisfacción, se evaluó la percepción subjetiva de los estudiantes respecto al valor formativo, realismo, facilidad de uso y aplicabilidad clínica del simulador háptico, cuyos resultados se detallan a continuación.

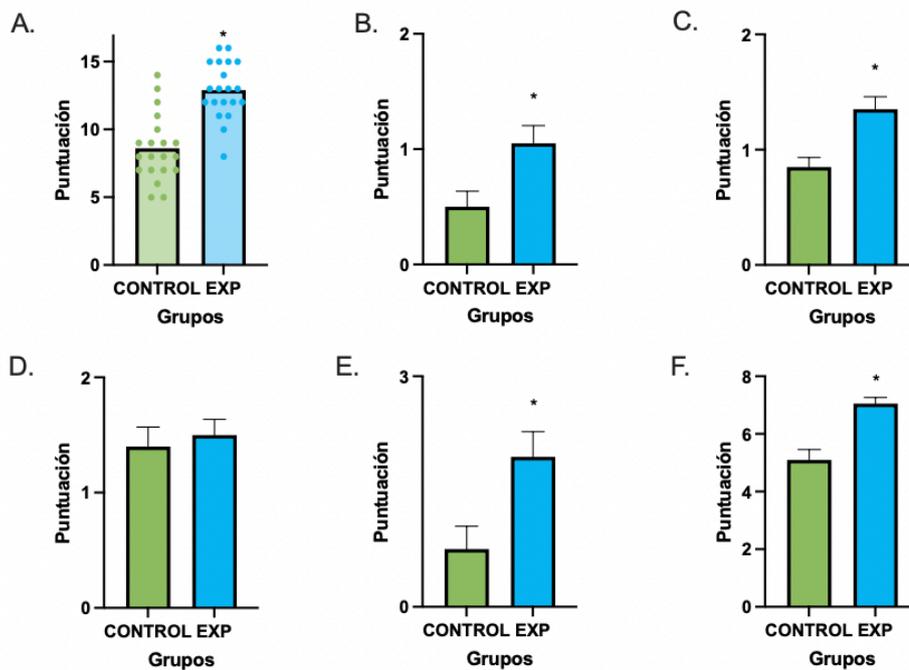


Figura 5. Puntuaciones obtenidas por ambos grupos (control y experimental con simulador) en la evaluación de la apertura cameral de endodoncia en dientes montados en modelo de escayola.

Todos los datos se expresan como valores medios \pm error estándar de la media (EEM). El símbolo (*) indica diferencias estadísticamente significativas en relación con el grupo control, con un nivel de significancia definido como $p < 0,05$.

La Figura 5 representa los resultados comparativos de las puntuaciones obtenidas por el grupo control y el grupo experimental, este último entrenado con el simulador háptico Simodont®, durante la evaluación práctica de la preparación de cavidades de acceso endodóntico. Está dividida en seis partes (A–F), cada uno de los cuales representa un parámetro específico del procedimiento de preparación de la cavidad de acceso.

La figura 5A ilustra la puntuación global, que refleja el desempeño acumulativo en todos los aspectos evaluados del procedimiento. El grupo experimental obtuvo puntuaciones generales significativamente más altas en comparación con el grupo control ($p < 0,05$).

La figura 5B muestra la evaluación de la forma de la cavidad de acceso, un factor crucial para la eficacia de los procedimientos endodónticos posteriores. El grupo experimental superó nuevamente al grupo control, obteniendo puntuaciones significativamente más altas ($p < 0,05$).

La figura 5C se centra en la eliminación del techo de la cámara pulpar, un paso esencial para lograr un acceso despejado al sistema de conductos radiculares. Las puntuaciones indican una ventaja estadísticamente significativa a favor del grupo experimental ($p < 0,05$).

La figura 5D evalúa el daño al piso de la cámara pulpar, un resultado negativo que los profesionales intentan evitar, ya que puede comprometer la integridad del diente o provocar perforaciones. En este caso, no se observó ninguna diferencia estadísticamente significativa entre los grupos control y experimental

La figura 5E presenta los resultados relativos a la forma interna de la cavidad, que evalúa la conformación de la cavidad de acceso en relación con la anatomía interna

del diente. El grupo experimental obtuvo puntuaciones significativamente más altas ($p < 0,05$).

La figura 5F muestra la longitud sumada de cuatro líneas de referencia predefinidas, utilizada como medida cuantitativa de la precisión en la obtención de puntos anatómicos específicos. El grupo experimental tuvo un desempeño significativamente mejor en esta métrica ($p < 0,05$).

Estos resultados indican en conjunto que el entrenamiento con un simulador háptico puede conferir ventajas en varios aspectos clave de la preparación de cavidades de acceso endodóntico. En particular, parece mejorar el desempeño en tareas que requieren habilidades motoras finas, conciencia espacial y precisión, sin aumentar el riesgo de daño a estructuras internas críticas.

Tabla 2. *Tiempo de uso del Simulador.*

	Tiempo total	Tiempo de presión
Media (segundos)	252,7	41
Error estándar de la media (SEM)	33,45	2,98

La Tabla 2 presenta los datos sobre el tiempo de uso del simulador Simodont[®], por parte del grupo experimental. Para cada estudiante, se registró la duración del uso del simulador durante sus sesiones de entrenamiento, con un máximo de tres intentos. Se midieron dos variables de tiempo: el tiempo total de uso, que representa la duración total que el estudiante pasó trabajando en la simulación, y el tiempo de presión, que se refiere al tiempo acumulado durante el cual la herramienta dental estuvo activamente en uso (es decir, cuando el instrumento tocaba el diente mientras se presionaba el pedal).

El tiempo total de uso promedio fue de 252,7 segundos, con un error estándar de la media (SEM) de 33,45 segundos. Por otro lado, el tiempo de presión promedio fue de 41 segundos, con un SEM menor de 2,98 segundos.

Estos datos aportan información sobre el comportamiento y los patrones de interacción de los estudiantes durante el entrenamiento háptico. La diferencia entre el tiempo total y el tiempo de presión puede reflejar momentos de planificación, reposicionamiento o duda, los cuales también son elementos críticos en la adquisición de habilidades en procedimientos endodónticos.

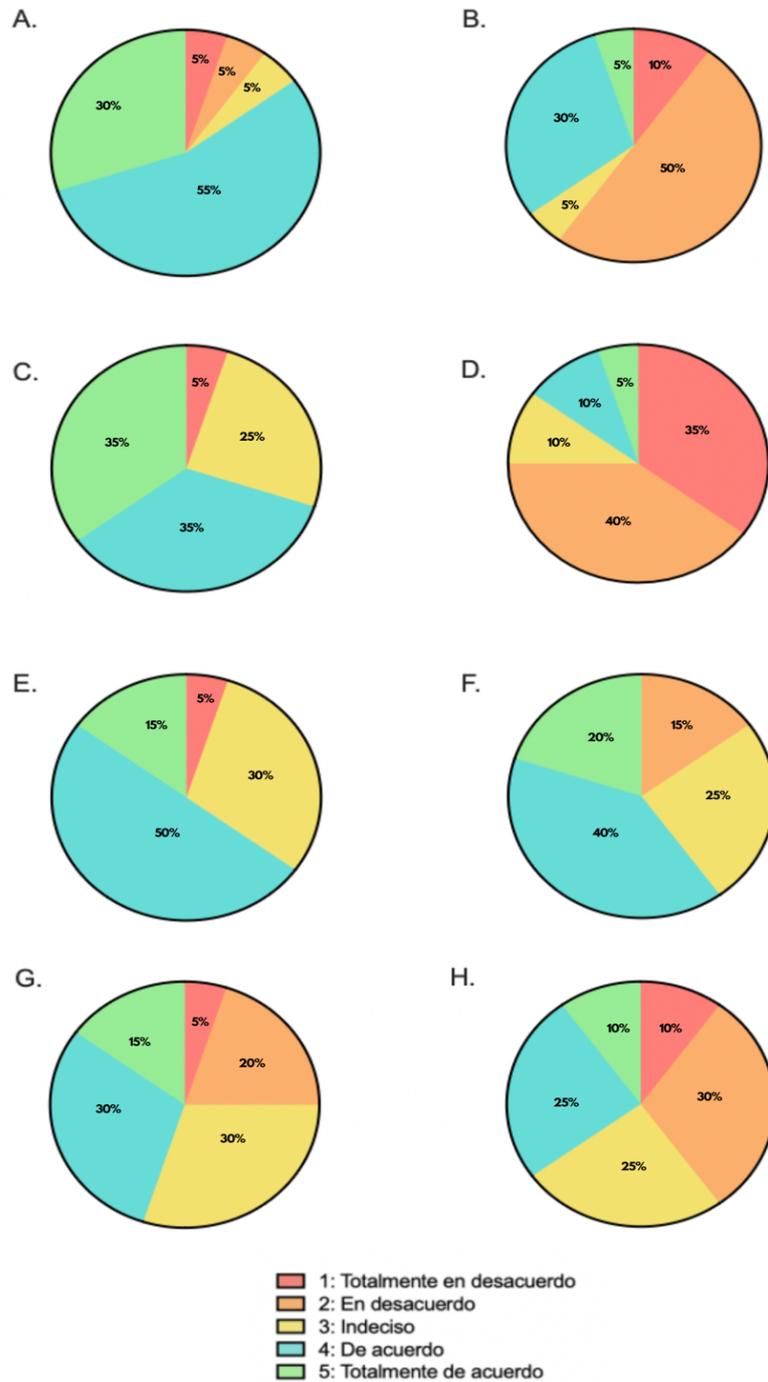


Figura 6. Resultados de la encuesta de satisfacción tras el uso del simulador háptico Simodont®.

La Figura 6 presenta los resultados de una encuesta de satisfacción aplicada a estudiantes de odontología después de utilizar el simulador háptico Simodont. Las respuestas se recopilaban utilizando una escala de Likert de cinco puntos, donde 1 representa "totalmente en desacuerdo" y 5 "totalmente de acuerdo". Cada gráfico circular refleja el porcentaje de estudiantes que eligió cada opción frente a distintas

afirmaciones diseñadas para evaluar aspectos específicos del simulador, desde la experiencia de uso hasta su valor pedagógico y realismo.

En la pregunta A, "Simodont me ayudó a visualizar la anatomía 3D de la pulpa", el 55% de los encuestados indicó estar totalmente de acuerdo, el 30% de acuerdo, el 5% indeciso, el 5% en desacuerdo y el otro 5% totalmente en desacuerdo. Sin embargo, la percepción sobre la retroalimentación táctil fue menos favorable. En la pregunta B, "La retroalimentación háptica del Simodont fue la misma que la de una pieza de mano real", el 60 % de los estudiantes expresó desacuerdo o total desacuerdo.

En cuanto a la experiencia general con el simulador, los resultados de la pregunta C, "Disfruté usando el Simodont", mostraron una percepción mayormente positiva: el 35 % estuvo totalmente de acuerdo y otro 35 % de acuerdo, mientras que el 25 % se mantuvo indeciso y solo un 5 % expresó total desacuerdo. Por otro lado, la preferencia frente al método tradicional fue menos favorable. En la pregunta D, "Prefiero el Simodont al diente artificial", el 75 % de los estudiantes indicó estar en desacuerdo o totalmente en desacuerdo, el 10 % se mostró indeciso, y solo un 15 % expresó acuerdo o total acuerdo.

En la pregunta E, "Recomendaría el Simodont a amigos/compañeros", un 65 % de los encuestados respondió positivamente (50 % de acuerdo y 15 % totalmente de acuerdo), mientras que el 30 % se mantuvo indeciso y solo un 5 % expresó total desacuerdo. Respecto a la facilidad de adaptación, la mayoría respondió de manera positiva a la pregunta F, "Fue fácil adaptarse al uso del Simodont": un 40 % estuvo de acuerdo y un 20 % totalmente de acuerdo. Un 25 % permaneció indeciso y un 15 % en desacuerdo.

En relación con la autoconfianza clínica, la pregunta G, "El uso del Simodont ha mejorado mi confianza en procedimientos dentales con pacientes", presentó una distribución más equilibrada: un 30 % estuvo de acuerdo, un 15 % totalmente de acuerdo, mientras que un 30 % permaneció indeciso, y un 25 % expresó algún nivel de desacuerdo.

Finalmente, en la pregunta H, "El nivel de realismo del Simodont es suficiente para simular escenarios clínicos reales", las opiniones estuvieron divididas: un 40 % manifestó desacuerdo o total desacuerdo, un 25 % estuvo indeciso, y un 35 % estuvo de acuerdo o totalmente de acuerdo.

En conjunto, los datos presentados en la Figura 7 evidencian que el Simodont es valorado positivamente por su capacidad de visualización anatómica y su accesibilidad, y que ofrece una experiencia de aprendizaje generalmente bien recibida por los estudiantes. No obstante, aspectos como el realismo háptico, la transferencia de confianza clínica, y la comparación con métodos tradicionales revelan oportunidades de mejora que deben ser consideradas para su implementación más eficaz en el currículo odontológico.

Figura 7 muestra los resultados de la pregunta incluida en la encuesta de satisfacción: "*¿Qué entrenamiento preclínico prefieres?*", realizada a los estudiantes tras su experiencia con el simulador háptico Simodont. Las opciones de respuesta fueron:

- Dientes artificiales,
- Simodont
- Combinación de ambos métodos.

Los datos muestran una clara preferencia por un enfoque de aprendizaje combinado. Específicamente, el 75% de los encuestados indicó que preferiría una combinación de dientes artificiales y el simulador Simodont para su entrenamiento preclínico. Esto sugiere que la mayoría de los estudiantes valora los aspectos complementarios de cada método.

Solo el 20% de los participantes manifestó preferencia por entrenar exclusivamente con dientes artificiales, que siguen siendo el estándar tradicional en la educación odontológica. Por otro lado, un porcentaje menor, el 5%, expresó preferencia por utilizar únicamente el simulador Simodont como método de entrenamiento.

Estos resultados refuerzan la idea de que el entrenamiento preclínico en odontología puede beneficiarse de un enfoque integrador, en el que las herramientas

digitales como los simuladores hápticos complementen, pero no reemplacen completamente, las técnicas tradicionales de enseñanza.

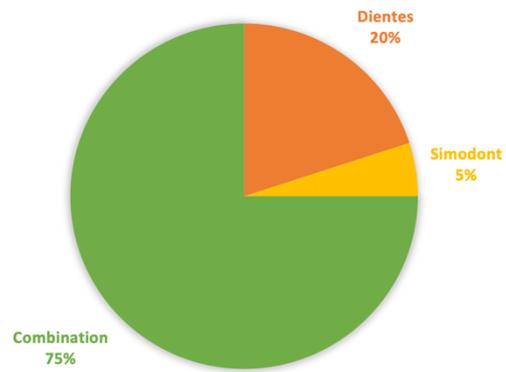


Figura 7. Resultados de la encuesta de satisfacción tras el uso del simulador háptico Simodont a la pregunta.

DISCUSIÓN

9. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo comparar la efectividad de la formación con simuladores tradicionales frente al simulador de realidad virtual háptica Simodont® en la educación preclínica de estudiantes de odontología en el contexto del acceso endodóntico. Basado en los resultados obtenidos, se puede afirmar que el uso de simuladores hápticos presenta claras ventajas en diversos aspectos del aprendizaje preclínico, aunque también se identificaron ciertas limitaciones que deben considerarse al evaluar su implementación generalizada.

9.1 Mejora en el rendimiento técnico y la formación anatómica

Los estudiantes entrenados con Simodont® obtuvieron puntuaciones significativamente más altas en la mayoría de los parámetros evaluados durante la preparación de cavidades de acceso. Estos hallazgos sugieren que la simulación háptica mejora la comprensión tridimensional de la anatomía dental, así como la ejecución precisa de tareas que requieren habilidades motoras finas. Este resultado es consistente con estudios como el de Slaczka y cols (2024), donde los estudiantes que utilizaron Simodont® demostraron mayor competencia en la realización del acceso endodóntico y mejor adaptación al contorno anatómico del diente (32).

Otros estudios refuerzan estas observaciones. Buchanan y cols (2022) demostraron que los estudiantes entrenados con simuladores hápticos desarrollaron un control psicomotor superior y mejores habilidades de orientación espacial en comparación con aquellos entrenados únicamente con modelos tradicionales. Además, Perry y cols (2023) encontraron que la retroalimentación háptica en la simulación odontológica ayudó a reducir el número de errores técnicos en la preparación de cavidades de acceso endodóntico, especialmente entre principiantes. En nuestro estudio, los estudiantes entrenados con Simodont® obtuvieron puntuaciones más altas en aspectos clave como el contorno, la forma y la fidelidad anatómica, apoyando estos hallazgos (33,34).

De manera similar, Al-Saud y cols (2017) reportaron que los estudiantes que utilizaron simuladores de realidad virtual mostraron mayor confianza procedimental y

mejor apreciación de la anatomía interna dental. Esto concuerda con nuestros hallazgos, donde los estudiantes reconocieron a Simodont® como particularmente valioso para visualizar la estructura interna tridimensional de los dientes, habilidad crítica en los procedimientos endodónticos (35).

No obstante, nuestro estudio también refleja preocupaciones destacadas por Sailer y cols (2021), quienes advirtieron que, aunque los simuladores VR-hápticos mejoran las habilidades preclínicas, no pueden sustituir completamente la experiencia táctil proporcionada por condiciones clínicas reales (36).

Los mejores resultados técnicos observados en el grupo experimental en nuestro estudio pueden atribuirse a varias ventajas pedagógicas inherentes a la simulación de realidad virtual háptica. Primero, la retroalimentación inmediata proporcionada por Simodont® permite a los estudiantes autocorregir errores tempranamente durante la práctica, fomentando una rápida adquisición de habilidades. La posibilidad de repetir procedimientos sin costos adicionales o desperdicio de materiales ofrece un entorno de aprendizaje eficiente que no es factible con modelos físicos. Curiosamente, no se observaron diferencias significativas entre grupos respecto al daño del piso pulpar, lo que sugiere que la prudencia clínica fundamental puede ser adecuadamente inculcada por ambos métodos, pero las habilidades técnicas más finas, como el contorneado y la morfología interna, se potencian mejor mediante la simulación háptica.

Adicionalmente, el trabajo de Su y cols (2020) sobre el uso de dispositivos hápticos para el entrenamiento en odontología restauradora mostró que, aunque estas herramientas eran efectivas para promover la destreza y la coordinación mano-ojo, los estudiantes aún requerían práctica en modelos reales o altamente realistas para perfeccionar su sensibilidad táctil. Estas percepciones son cruciales para comprender el papel complementario y no sustitutivo de la simulación háptica (37).

9.2 Evaluación de la satisfacción estudiantil y experiencia del usuario

La percepción estudiantil sobre el uso de Simodont® fue generalmente positiva. Según la encuesta de satisfacción, el 85% de los estudiantes estuvieron de acuerdo o muy de acuerdo en que el simulador les ayudó a comprender la anatomía tridimensional

de la cámara pulpar. Además, el 70% reportó haber disfrutado el uso de Simodont®. La mayoría destacó la utilidad del simulador para visualizar la anatomía tridimensional y consideraron su manejo intuitivo. Sin embargo, una proporción significativa expresó preocupaciones sobre la calidad de la retroalimentación háptica, indicando que no se siente totalmente realista en comparación con los instrumentos dentales convencionales. En nuestra encuesta de satisfacción, una proporción significativa de estudiantes señaló que la sensación táctil no replicaba totalmente la experiencia de utilizar instrumentos dentales reales en dientes naturales, reflejando esta crítica.

Aunque la mayoría calificó positivamente su experiencia con Simodont®, una proporción considerable expresó preferencia por un enfoque combinado, reforzando la necesidad de integrar métodos físicos y virtuales para una formación más completa. La encuesta final reveló que el 75% de los participantes prefería una aproximación mixta. Los cuestionarios de percepción mostraron que los estudiantes disfrutaron usando Simodont®, como también se observó en estudios como el de Koo y cols (2015). Aunque parte de esta aceptación podría atribuirse al efecto de novedad, los estudiantes reconocieron ventajas significativas, como la posibilidad de hacer zoom, rotar el modelo dental o visualizar estructuras internas de forma transparente (40).

En segundo lugar, las capacidades mejoradas de visualización tridimensional de Simodont® facilitan una mejor comprensión de la compleja anatomía interna dental, un desafío mayor en los procedimientos endodónticos. En tercer lugar, el entorno estructurado del simulador, donde se pueden estandarizar variables como la morfología dental, la dureza de materiales y los escenarios clínicos, garantiza experiencias de aprendizaje uniformes en toda la cohorte, a diferencia de los dientes artificiales, que pueden variar ligeramente.

Además, la preferencia de los estudiantes por combinar Simodont® y modelos artificiales destaca la importancia de estrategias de formación híbridas. Un enfoque mixto parece aprovechar las fortalezas de ambos métodos: el realismo táctil y la variabilidad de los modelos físicos, y el entorno anatómicamente enriquecido de la realidad virtual.

Este aumento en la confianza también está relacionado con la retroalimentación inmediata que proporciona el simulador, permitiendo a los estudiantes identificar y corregir errores en tiempo real, mejorando las habilidades de autoevaluación y promoviendo un aprendizaje más autónomo.

9.3 Análisis del tiempo y eficiencia de aprendizaje

El análisis del tiempo de formación entre los estudiantes que utilizaron Simodont® reveló una diferencia notable entre el tiempo total del procedimiento y el tiempo de uso activo de la herramienta. El tiempo promedio total fue de 252,7 segundos ($\pm 33,45$), mientras que el tiempo promedio activo del instrumento fue de 41 segundos ($\pm 2,98$). Esto sugiere que los estudiantes participaron en fases significativas de planificación, observación y toma de decisiones antes de aplicar activamente la herramienta, un componente importante del razonamiento clínico.

Es importante destacar que los estudiantes del grupo Simodont® completaron el procedimiento en tres intentos separados, sin restricciones de tiempo. El seguimiento de los tiempos mostró una progresión clara, indicando mayor eficiencia y familiaridad. La reducción del tiempo total y el mejor control del tiempo activo del instrumento desde la primera hasta la tercera sesión refuerzan la idea de que los simuladores hápticos apoyan un entorno de aprendizaje formativo, donde los estudiantes mejoran mediante la repetición y la retroalimentación objetiva.

9.4 Costos, accesibilidad y sostenibilidad de Simodont®

Uno de los principales desafíos para la implementación generalizada de Simodont® es su alto costo de adquisición y mantenimiento. Como se ha señalado en otros estudios Philip y cols (2023), la necesidad de formar tanto a instructores como a estudiantes, junto con los requerimientos de espacio e infraestructura técnica, puede limitar el número de unidades disponibles en las facultades de odontología, reduciendo el tiempo efectivo de uso para cada estudiante (38).

Sin embargo, su capacidad para permitir la práctica repetida sin costos adicionales de materiales físicos y sin riesgo para el paciente representa una ventaja

sustancial sobre los métodos tradicionales. Además, el uso de simuladores como Simodont® también se alinea con los principios de sostenibilidad, al reducir la necesidad de modelos plásticos y artículos desechables que afectan negativamente al medio ambiente. Es esencial que las instituciones educativas consideren estos aspectos al decidir la integración de tecnologías avanzadas en sus programas de enseñanza.

9.5 Transferencia clínica y percepción estudiantil

Aunque este estudio se centró en la etapa preclínica, es relevante considerar el posible impacto de la simulación en la confianza del estudiante para enfrentar casos clínicos reales. Investigaciones previas, como las de Hattori y cols (2021) ha demostrado que la formación en entornos virtuales puede reducir la ansiedad en los procedimientos clínicos y mejorar la toma de decisiones. En nuestro estudio, el 45% de los estudiantes reportó sentirse más confiado después de utilizar el simulador, lo que sugiere que el entorno de Simodont® facilita una transición más fluida hacia la práctica clínica (39).

9.6 Limitaciones

Si bien los resultados obtenidos en este estudio son alentadores y aportan información valiosa sobre el uso de simuladores hápticos en la formación odontológica, es relevante considerar ciertos factores que pueden influir en el alcance y aplicabilidad de los hallazgos. El estudio se realizó con una muestra de 40 participantes, distribuidos equitativamente entre el grupo experimental y el grupo de control. Aunque este tamaño de muestra permitió un análisis comparativo adecuado dentro del contexto del estudio, futuras investigaciones con muestras más amplias podrían fortalecer la generalización de los resultados a otras poblaciones estudiantiles.

Otra consideración importante es el elevado costo de la tecnología Simodont®. Las instituciones con recursos financieros limitados pueden encontrar difícil invertir en este tipo de equipamiento avanzado, especialmente al equilibrar presupuestos destinados a otras prioridades educativas. Asimismo, aunque Simodont® ofrece componentes visuales e interactivos realistas, la retroalimentación háptica aún no replica por completo la fidelidad táctil de los procedimientos odontológicos reales, lo que podría influir en la percepción del estudiante y en su preparación clínica.

También debe considerarse que la retroalimentación táctil de Simodont®, aunque avanzada, no reproduce plenamente las sensaciones clínicas reales, lo que puede limitar su efectividad para simular la complejidad del entorno intraoral. Finalmente, este estudio no incluyó un seguimiento longitudinal que permitiera evaluar si las habilidades adquiridas con el simulador se traducen en un mejor desempeño clínico con pacientes reales, un área importante para futuras investigaciones que busquen validar la transferencia de habilidades del entorno virtual al clínico.

CONCLUSIÓN

10. CONCLUSIÓN

Objetivo principal

1. Simodont® mejora el desarrollo de habilidades prácticas en endodoncia frente a métodos tradicionales, haciendo que los estudiantes logren mejores resultados técnicos con una mayor eficacia.

Objetivo secundario

2. El entrenamiento previo con Simodont® contribuyó a una mejora en la forma y en la profundidad de las cavidades en aperturas endodónticas, confirmando su eficacia en la mejora de habilidades adquiridas.
3. La mayoría de los estudiantes valoró positivamente el simulador háptico Simodont® en la formación en endodoncia, destacando su utilidad para comprender la anatomía tridimensional, aunque algunos mencionaron limitaciones en la sensación táctil. Se prefirió un enfoque combinado de simulación háptica con métodos tradicionales.
4. La diferencia entre el tiempo total de uso y el tiempo de presión en Simodont® sugiere que los estudiantes dedican tiempo a planificar y reflexionar, lo que indica un proceso de aprendizaje activo y consciente durante el entrenamiento endodóntico.

BIBLIOGRAFIA

11. BIBLIOGRAFIA

1. Canalda Sahli C, Brau Aguadé E. *Endodoncia: técnicas clínicas y bases científicas*. 4ª ed. Barcelona: Elsevier España; 2019.
2. Karamifa Karamifar K, Tondari A, Saghiri MA. Endodontic periapical lesion: An overview on the etiology, diagnosis and current treatment modalities. *Eur Endod J*. 2020;5(2):54–67.
3. Karamifar K, Tondari A, Saghiri MA. Endodontic periapical lesion: An overview on the etiology, diagnosis and current treatment modalities. *European Endodontic Journal*. 2020;5(2):54–67.
4. Iqbal A, Sharari TA, Khattak O, et al. Guided endodontic surgery: A narrative review. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(4):678.
5. Perminova K. Planificación del tratamiento de endodoncia [Internet]. España: OHI-S; 2024 [revisado 2024; consultado 2024 Noviembre 28]. Disponible en: <https://es.ohi-s.com/articulos-videos/planificacion-del-tratamiento-de-endodoncia/>
6. Soares IJ, Goldberg F. *Endodoncia: técnica y fundamentos*. 2ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2012.
7. García Barbero J, editor. *Patología y terapéutica dental: operatoria dental y endodoncia*. 2nd ed. Barcelona: Elsevier; 2015.
8. Hedayati Z, Dummer PMH, Shahrabi M, et al. A review of root canal shaping systems for preparing curved canals. *Int Endod J*. 2021;54(12):1792–806.
9. Nayak V, Naik B, Hegde P, et al. Root canal irrigants: An update. *J Conserv Dent*. 2016;19(3):199–207.
10. Pérez-Hernández D, González-Rodríguez MP, Rodríguez-Vidal C, et al. Endodontic management of challenging anatomy with a new file system: About a retreatment in upper first premolar type VI Vertucci. *Endod Pract US*. 2022.
11. Gundappa S, Mallya S, Shanbhog S, et al. The role of cone-beam computed tomography in endodontics. *J Conserv Dent*. 2022;25(6):503–9.
12. Garg A, Khurana A, Singla M, et al. Management of C-shaped canal system: A case report. *J Conserv Dent*. 2021;24(2):188–91.
13. Nivedhitha S. Influence of different irrigant activation techniques in post-operative endodontic pain: A review of literature. *Int J Dent Oral Sci*. 2021;8(5):2659–2665.

14. Liu Z, Zhang C, Zhang R, et al. The role of microorganisms in endodontic infections: A review. *J Clin Med*. 2023;12(2):431.
15. Zhang Y, Xu C, Wang Q, et al. A review of endodontic instrumentation systems for the preparation of root canals: Mechanical properties and clinical performance. *Appl Sci*. 2022;12(20):10217.
16. Alshehri MM, Alhawsawi BF, Alghamdi A, Aldobaikhi SO, Alanazi MH, Alahmad FA. The management of root perforation: A review of the literature. *Cureus*. 2024;16(10):e72296.
17. Siqueira JF Jr, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod*. 2008;34(11):1291–1301.e3.
18. Segura-Egea JJ, Castellanos-Cosano L, Machuca G, López-López J, Martín-González J, Velasco-Ortega E, et al. Diabetes mellitus, periapical inflammation and endodontic treatment outcome. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012;17(2):e356–61.
19. Shao T, Guan R, Zhang C, Hou B. Influence of operator's experience on complications of root canal treatment using contemporary techniques: a retrospective study. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):96.
20. Chang SW, editor. Recent Advancement and Challenges in Endodontics [Internet]. Basel: MDPI; 2021 [consultado 2024 Noviembre 29]. Disponible en: https://www.mdpi.com/journal/applsci/special_issues/Endodontics
21. Husain S, Arif F, Shah R, et al. The role of simulation in dental education: A review of the literature. *BMC Med Educ*. 2020;20(1):305.
22. Patil S, Suneetha N. Endodontic management of root canal infections: A comprehensive review. *Ann Dent Oral Health*. 2021;3(5):555868.
23. Ravishankar N, Kumar R, Ganapathy S, et al. Endodontic management of infected root canals: A systematic review of contemporary techniques. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(4):4226.
24. Ruiz Esparza González H, De Jesús Martínez F, Monroy Alvarado G. Simulación: conceptos y evolución. *XV Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas ACACIA*; 2011. Boca del Río, Veracruz, México.
25. Stone RJ. Haptic feedback: A brief history from telepresence to virtual reality. In: Brewster S, Murray-Smith R, editors. *Haptic Human-Computer Interaction*. Berlin: Springer; 2001. p. 1–16.

26. Saini R, Saini S, Pandey N, et al. Trends in endodontic materials and techniques for root canal treatment: A review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(7):4081.
27. Simodont Dental Trainer. *Simodont Courseware v4.12 Teacher Manual*. 2023.
28. Wei Y, Peng Z. Application of Simodont virtual simulation system for preclinical teaching of access and coronal cavity preparation. *PLoS One*. 2024;19(12):e0315732.
29. Bakr MM, Massey WL, Alexander H. Evaluation of Simodont® haptic 3D virtual reality dental training simulator. *Int J Dent Clin*. 2013;5(4):1–6.
30. Daud A. Enhancing learning experiences in pre-clinical restorative dentistry: The impact of virtual reality haptic simulators. *J Dent Educ*. 2021;85(5):558–64.
31. Wang W, Li L, Zhang L, et al. Advances in root canal disinfection: A systematic review. *J Endod*. 2023;49(5):399–410.
32. Slaczka DM, Shah R, Liu C, Zou F, Karunanayake GA. Endodontic access cavity training using artificial teeth and Simodont® dental trainer: A comparison of student performance and acceptance. *Int Endod J*. Forthcoming 2024 Nov 18.
33. Buchanan JA, Higginson J, Petrison B. Impact of haptic simulators in preclinical dental education: A systematic review. *J Dent Educ*. 2022;86(5):555–63.
34. Perry S, Bridges SM, Chan JCK. Virtual reality and haptics in dental education: Implementation and student perceptions. *Eur J Dent Educ*. 2023;27(1):155–62.
35. Al-Saud LM, Mushtaq F, Allsop MJ, et al. Feedback and motor skill acquisition using a haptic dental simulator. *Eur J Dent Educ*. 2017;21(4):240–7.
36. Sailer HF, Müller P, Weber HP. Virtual reality dental simulators: Limitations and educational perspectives. *Dent Educ Res*. 2021;25(2):120–7.
37. Su X, Moussa R, Alghazaly A, et al. Effectiveness of virtual reality and interactive simulators on dental education outcomes: Systematic review. *Eur J Dent*. 2022;16(1):14–31.
38. Philip N, Ali K, Duggal M, Daas H, Nazzal H. Effectiveness and student perceptions of haptic virtual reality simulation training in pre-clinical paediatric dentistry: A pilot pedagogical study. *Int J Paediatr Dent*. 2023.
39. Hattori A, Tonami KI, Tsuruta J, et al. Effect of the haptic 3D virtual reality dental training simulator on assessment of tooth preparation. *J Dent Sci*. 2022;17:514–20.
40. Koo S, Kim A, Donoff RB, Karimbux NY. An initial assessment of haptics in preclinical operative dentistry training. *J Investig Clin Dent*. 2015;6(1):69–76.

ANEXOS

12. ANEXOS

ANEXOS I

Comisión de Investigación



Comisión de Investigación

Villaviciosa de Odón, 24 de enero de 2025

Estimado/a investigador/a,

La Comisión de Investigación de la Escuela de Doctorado e Investigación, una vez revisada la documentación e información, remitida por el investigador responsable con fecha , relativa al proyecto abajo indicado, autoriza su desarrollo en la Universidad Europea.

Título del proyecto:	Impacto de los simuladores hápticos de realidad virtual en el desempeño y en la confianza de los estudiantes de Odontología en endodancia.
Tipo de proyecto:	Proyecto-SIN financiación
Investigador/a responsable:	FLACCO- NICLA
Código CI:	2025-128
Código OTRI:	Sin especificar
Código Departamento:	Sin especificar
Dictamen:	APROBADO

Atentamente,



Fdo. Óscar García López

Director de la Escuela de Doctorado e Investigación

ci@universidadeuropea.es

ANEXO II

Rúbrica de evaluación de aperturas

Sección A / Section A	Calificación /Grade
Parámetro: longitud de la línea A/ Parameter: length of line A	
A= 2 mm	2
A= 1 mm	1
A= 3mm	1
A > 3mm	0
A < 1mm	0
Parámetro: longitud de la línea B/ Parameter: length of line B	
B= 2mm	2
B= 1mm	1
B= 3mm	1
B > 3mm	0
B < 1mm	0
Parámetro: longitud de la línea C/ Parameter: length of line C	
C= 2mm	2
C= 1mm	1
C= 3mm	1
C > 3mm	0
C < 1mm	0
Parámetro: longitud de la línea D/ Parameter: length of line D	
D= 2mm	2
D= 1mm	1
D= 3mm	1
D > 3mm	0
D < 1mm	0
Parámetro: Forma de la cavidad de acceso/ Parameter: Shape of access cavity	
La cavidad de acceso tiene una forma elíptica con márgenes lisos.	2
La cavidad de acceso tiene una forma elíptica con márgenes irregulares.	1
La forma de la cavidad de acceso no es elíptica.	0

Sección B / Section B	Calificación /Grade
Parámetro: Remoción de la cámara pulpar / Parameter: Pulp chamber root removal	
Remoción completa del techo de la cámara pulpar / Complete removal of the pulp chamber roof	2
Se ha eliminado la mayoría (> 90 %) del techo de la cámara pulpar / Majority (> 90%) of pulp chamber roof removed	1
Se ha eliminado menos del 90 % del techo de la cámara pulpar / Less than 90% of pulp chamber roof removed	0
Sección C / Section C	
Parámetro: Daño del suelo de la cámara pulpar / Parameter: Damage to the pulp chamber floor	
Sin ranuras ni perforaciones en el suelo de la cámara pulpar / No gouging or perforation to the floor of the pulp chamber	2
Ranuras mínimas (1-2 muescas pequeñas; <0,5 mm de profundidad) en el suelo de la cámara pulpar / Minimal gouging (1-2 small notches; <0.5 mm depth) to the floor of the pulp chamber	1
Ranuras significativas (>2 muescas; >0,5 mm de profundidad) y/o perforación en el suelo de la cámara pulpar / Significant gouging (>2 notches; >0.5 mm depth) and/or perforation to the floor of the pulp chamber	0
Sección D / Section D	
Parámetro: Forma interna / Parameter: Internal form	
Las paredes axiales de la cavidad de acceso revelan 2 orificios de conductos con ranuras nulas o leves (<0.5 mm de diámetro) / The access cavity axial walls reveal 3 canal orifices with no or slight gouges (<0.5 mm in diameter)	3
Las paredes axiales de la cavidad de acceso no logran revelar 2 orificios de conductos / The access cavity axial walls fail to reveal 3 canal orifices	0
Las paredes de la cavidad de acceso tienen ranuras gruesas (>0.5 mm de diámetro) / The access cavity walls have gross gouges (>0.5 mm in diameter)	0

ANEXO III

Cuestionario de percepción y satisfacción del estudiante sobre el uso del Simodont®

Encuesta percepción/ satisfacción:

A continuación, encontrará una serie de afirmaciones. Por favor, marque con una X la opción que mejor refleje su opinión, donde **1** significa "Totalmente en desacuerdo" y **5** significa "Totalmente de acuerdo".

		1	2	3	4	5
		Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	El Simodont me ayudó a visualizar la anatomía 3D de la pulpa / The Simodont trainer helped me visualize 3D anatomy of the pulp.					
2	La retroalimentación háptica del Simodont fue la misma que la de una pieza de mano real / The Simodont trainer haptic feedback was the same as a real life handpiece.					
3	Disfruté usando el Simodont / I enjoyed using the Simodont trainer.					
4	Prefiero el Simodont al diente artificial / I prefer the Simodont trainer over the artificial tooth.					
5	Recomendaría el Simodont a amigos/compañeros. / I would recommend Simodont trainer to my friends/ colleagues.					
6	Fue fácil adaptarse al uso del Simodont / It was easy to adapt to using the Simodont.					
7	El uso del Simodont ha mejorado mi confianza en procedimientos dentales con pacientes/ Using the Simodont has improved my confidence in dental procedures with patients.					
8	El nivel de realismo del Simodont es suficiente para simular escenarios clínicos reales / The level of realism of the Simodont is sufficient to simulate real clinical scenarios.					
9	¿Cuál de estas opciones de entrenamiento preclínico prefieres? / Which of these preclinical training options do you prefer? a. Solo fantoma / Phantom only b. Solo Simodont / Simodont only c. Una combinación de fantoma y Simodont / A combination of Phantom and Simodont.					
10	Por favor, deja un comentario sobre lo que te ha gustado, no te ha gustado o te gustaría mejorar del Simodont. Gracias / Please leave a comment about what you liked, didn't like, or would like to improve about the Simodont. Thank you.					

ANEXO IV

Hoja de información del estudio



UEV Facultad de Odontología.

HOJA DE INFORMACIÓN

Título del estudio: Impacto de los simuladores hápticos de realidad virtual en el desempeño y en la confianza de los estudiantes de Odontología en endodoncia.

Promotor: No aplica

Investigadores: GERMÁN SÁNCHEZ HERRERA, NICLA FLACCO

Centro: UEV

Nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio de investigación que se va a realizar dentro del grado de odontología la Universidad Europea de Valencia, en el cual se le invita a participar. Este documento tiene por objeto que usted reciba la información correcta y necesaria para evaluar si quiere o no participar en el estudio. A continuación, le explicaremos de forma detallada todos los objetivos, beneficios y posibles riesgos del estudio. Si usted tiene alguna duda tras leer las siguientes aclaraciones, nosotros estaremos a su disposición para aclararle las posibles dudas. Finalmente, usted puede consultar su participación con las personas que considere oportuno.

¿Cuál es el objetivo de este estudio?

El estudio pretende evaluar si el uso de simuladores de realidad virtual háptica mejora las habilidades y seguridad de los estudiantes en endodoncia.

Resumen del estudio:

Este estudio investiga el efecto del uso de simuladores hápticos de realidad virtual en el desempeño clínico y la confianza de los estudiantes de Odontología en tratamientos de endodoncia. Compara a los estudiantes que realizan su entrenamiento práctico convencional con aquellos que incorporan simuladores en su formación. Se evalúan factores como habilidades técnicas, seguridad, confianza, niveles de ansiedad y ergonomía, poniendo especial énfasis en cómo el entrenamiento previo con el simulador influye en la adquisición de habilidades y en la percepción de los estudiantes sobre su aprendizaje.

Este texto tiene por objeto que usted reciba la información correcta y necesaria para evaluar si quiere o no participar en el estudio. A continuación, le explicaremos de forma detallada todos los objetivos, beneficios y posibles riesgos del estudio. Si usted tiene alguna duda tras leer las siguientes aclaraciones, nosotros estaremos a su disposición para aclararle las posibles dudas. Finalmente, usted puede consultar su participación con las personas que considere oportuno.

UEV Facultad de Odontología.

PARTICIPACIÓN VOLUNTARIA Y RETIRADA DEL ESTUDIO: La participación en este estudio es voluntaria, por lo que puede decidir no participar. En caso de que decida participar, puede retirar su consentimiento en cualquier momento, sin que por ello se altere la relación con su médico ni se produzca perjuicio alguno en su tratamiento. En caso de que usted decidiera abandonar el estudio, puede hacerlo permitiendo el uso de los datos obtenidos hasta ese momento para la finalidad del estudio, o si fuera su voluntad, todos los registros y datos serán borrados de los ficheros informáticos.

¿Quién puede participar?

¿Cuáles son los posibles beneficios y riesgos derivados de mi participación? Es posible que usted no obtenga ningún beneficio directo por participar en el estudio. No obstante, se prevé que la información que se obtenga pueda beneficiar en un futuro alumno y pueda contribuir a realizar un cambio de pensamiento en el docente a la hora de preparar y dar sus clases. Al finalizar la investigación podrá ser informado, si lo desea, sobre los principales resultados y conclusiones generales del estudio. El estudio no supone ningún riesgo para su salud ya que para la toma adicional de los registros necesarios no se incurre en ninguna acción nociva ni perniciosa

¿Quién tiene acceso a mis datos personales y como se protegen? El tratamiento, la comunicación y la cesión de los datos de carácter personal de todos los sujetos participantes se ajustará a lo dispuesto en la Ley Orgánica 3/2018 de 5 de diciembre de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. De acuerdo con lo que establece la legislación mencionada, usted puede ejercer los derechos de acceso, modificación, oposición y cancelación de datos, para lo cual deberá dirigirse al investigador del estudio.

¿Recibiré algún tipo de compensación económica? No se prevé ningún tipo de compensación económica durante el estudio. Si bien, su participación en el estudio no le supondrá ningún gasto.

OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE: Si usted decide retirar el consentimiento para participar en este estudio, ningún dato nuevo será añadido a la base de datos y puede exigir la destrucción de sus datos y/o de todos los registros identificables, previamente retenidos, para evitar la realización de otros análisis. También debe saber que puede ser excluido del estudio si los investigadores del estudio lo consideran oportuno, ya sea por motivos de seguridad, por cualquier acontecimiento adverso que se produzca o porque consideren que no está cumpliendo con los procedimientos establecidos. En cualquiera de los casos, usted recibirá una explicación adecuada del motivo que ha ocasionado su retirada del estudio.

CALIDAD CIENTÍFICA Y REQUERIMIENTOS ÉTICOS DEL ESTUDIO: Este estudio ha sido sometido al registro de la Comisión de la Investigación de la Universidad Europea de Madrid, Valencia y Canarias, que vela por la calidad científica de los proyectos de investigación que se llevan a cabo en el centro. Cuando la investigación se hace con personas, esta Comisión vela por el cumplimiento de lo establecido en la Declaración de Helsinki y la normativa legal vigente sobre investigación biomédica (ley 14/2007, de junio de investigación biomédica) y ensayos clínicos (R.D. 1090/2015 de 4 de diciembre, por el que se regulan los ensayos clínicos con medicamentos).

UEV Facultad de Odontología.

PREGUNTAS: Llegando este momento le damos la oportunidad de que, si no lo ha hecho antes, haga las preguntas que considere oportunas. El equipo investigador le responderá lo mejor que sea posible.

INVESTIGADOR DEL ESTUDIO: Si tiene alguna duda sobre algún aspecto del estudio o le gustaría comentar algún aspecto de esta información, por favor no deje de preguntar al investigador: Germán Sánchez Herrera (german.sanchez@universidadeuropea.es). En caso de que una vez leída esta información y aclaradas las dudas decida participar en el estudio, deberá firmar su consentimiento informado. Este estudio ha sido registrado por la Comisión de la Investigación de la Universidad Europea de Madrid, Valencia y Canarias.

ANEXO

Consort checkli

Item	Description	Page
1	Title	1
2	Abstract: either a structured summary of background, research objectives, key experiment methods, principal fundings, and conclusion of the study or self-contained (should contain enough information to enable a good understanding of the rationale for the approach)	1-2
3	Introduction: background, experimental approach, and explanation of rational/hypothesis	3-16
4	Introduction; preprimary and secondary objectives	22
5	Methods: study design explained number of experimental and control groups, steps to reduce bias (demonstrating the consistency of the experiment (done more than one), sufficient detail for replication, blinding evaluation, etc).	24
6	Methods: precise details of experimental procedure (i.e., how, when, where and why)	28
7	Methods: how sample size was determined (details of control and experimental group) and sample size calculation	25
8	Methods: details of statistical methods and analysis (statistical methods used to compare groups)	32
9	Results: explanation for any excluded data, results of each analysis with a measure of precision as standard deviation or standard error or confidence interval	34-41
10	Discussion: interpretation/scientific implications, limitations, and generalizability/translation	43-48
11	Statement of potential conflicts and funding disclosure	-
12	Publication in a peer-review journal	—

**IMPACTO DE LOS SIMULADORES DE REALIDAD VIRTUAL HÁPTICA FRENTE A
SIMULADORES TRADICIONALES EN LA FORMACION EN ENDODONCIA: UN ESTUDIO
COMPARATIVO**

**Título corto: Impacto de los simuladores de realidad virtual háptica en la formación
en endodoncia: un estudio comparativo**

Autores:

Ola Deeb¹, Germán Sánchez-Herrera²

1. Estudiante de 5º curso del grado de Odontología en la Universidad Europea de Valencia, Valencia, España.
2. Profesor del Departamento de Odontología Clínica. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Europea de Valencia

CORRESPONDENCIA:

Germán Sánchez-Herrera

Paseo Alameda 7, Valencia 46010, Valencia

GERMAN.SANCHEZ@universidadeuropea.es

RESUMEN:

INTRODUCCIÓN: La simulación háptica ha transformado la educación dental al permitir que los estudiantes practiquen procedimientos endodónticos de manera segura en un entorno virtual. Simodont® mejora la formación mediante la retroalimentación táctil, perfeccionando las habilidades motoras y la comprensión anatómica. Sin embargo, los altos costos y el mantenimiento dificultan su adopción generalizada.

MATERIALES Y MÉTODOS: Este estudio comparativo se realizó en la Universidad Europea de Valencia para evaluar dos métodos de entrenamiento en endodoncia: simuladores tradicionales y el simulador de realidad virtual háptica Simodont®. Participaron 40 estudiantes de cuarto año de Odontología, divididos en dos grupos: uno utilizó únicamente dientes artificiales (grupo control n=20) y el otro práctico con Simodont® antes de trabajar con dientes artificiales (grupo experimental n=20). Los estudiantes realizaron aperturas de premolares, evaluadas mediante una rúbrica que consideraba varios aspectos técnicos. Además, los estudiantes del grupo experimental completaron un cuestionario de satisfacción sobre Simodont®.

RESULTADOS: Los estudiantes entrenados con Simodont® obtuvieron puntuaciones significativamente más altas en general ($p < 0,05$), destacando en la forma de la cavidad, la eliminación del techo de la cámara pulpar y la morfología interna. No se encontraron diferencias en los daños al piso pulpar. El tiempo promedio de tarea fue de $252,7 \pm 33,45$ segundos, con un tiempo de instrumentación activa de $41 \pm 2,98$ segundos. El 85% consideró que Simodont® mejoró su comprensión de la anatomía tridimensional; el 70% disfrutó la experiencia; el 65% lo recomendaría; y el 75% prefirió una formación combinada entre simulación virtual y métodos tradicionales.

CONCLUSIÓN: El uso del simulador háptico Simodont® mejoró significativamente las habilidades técnicas de los estudiantes de odontología durante la preparación de cavidades de acceso endodóntico. Los estudiantes entrenados con Simodont® obtuvieron mejores resultados en métricas clave de desempeño en comparación con los métodos tradicionales y expresaron una alta satisfacción con su valor educativo consolidándose como una herramienta educativa efectiva y complementaria.

Palabras claves: Simulación háptica, simodont®, endodoncia, apertura endodoncia, simuladores tradicionales

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la endodoncia ha evolucionado significativamente con la integración de tecnologías avanzadas como la simulación háptica. Esta técnica permite replicar el sentido del tacto mediante retroalimentación de fuerza en entornos virtuales, lo que facilita la práctica de procedimientos clínicos sin riesgo para los pacientes (1). En odontología, su implementación ha transformado la forma en que los estudiantes adquieren habilidades prácticas, particularmente en áreas complejas como la endodoncia. Dentro de estas innovaciones destaca **Simodont®**, un simulador dental de realidad virtual háptica diseñado específicamente para la formación preclínica. Este dispositivo combina tecnología háptica avanzada con visualización tridimensional para crear un entorno inmersivo y realista (1,2).

Los estudiantes pueden experimentar sensaciones táctiles precisas al interactuar con estructuras dentales virtuales, como la dentina o la cámara pulpar, lo que mejora el aprendizaje motor y la comprensión anatómica (1). Simodont® permite practicar procedimientos clave como la apertura de acceso endodóntico, la exploración de conductos radiculares y la preparación de cavidades, ofreciendo retroalimentación inmediata sobre aspectos como la angulación, profundidad o uso de instrumentos. Esta capacidad de repetir procedimientos sin consumir materiales físicos promueve el aprendizaje experiencial, mejora la confianza del alumno y contribuye a la sostenibilidad en la educación dental (3,4).

A pesar de sus beneficios, la adopción generalizada de Simodont® enfrenta desafíos como los altos costos de adquisición y mantenimiento, así como la necesidad de formación docente para su uso efectivo (2). No obstante, estudios recientes demuestran que los estudiantes que entrenan con Simodont® se sienten más preparados para transferir sus habilidades a entornos clínicos reales, evidenciando una mejora en su competencia y seguridad (5).

Este estudio tiene como objetivo analizar el impacto del uso de Simodont® en el desarrollo de habilidades endodónticas entre estudiantes de odontología, comparándolo con los simuladores tradicionales. Se busca evaluar su eficacia en la formación práctica y su potencial como herramienta educativa clave en la enseñanza moderna de la endodoncia.

MATERIALES Y METODOS

- Diseño del estudio:

Estudio comparativo y de intervención que se llevó a cabo en el laboratorio preclínico y de simulación de la Universidad Europea de Valencia (UEV). El estudio se realizó utilizando el simulador háptico “Simodont®” y métodos tradicionales con dientes de endodoncia en dientes montados en modelo de escayola.

Fue llevado a cabo por un grupo de estudiantes de cuarto año de odontología. Este estudio experimental cuenta con la aprobación de la Comisión de Investigación de la Escuela de Doctorado e Investigación de la Universidad Europea, aprobado el día 24-1-25 con código de registro: 2025-128. El estudio se realizó entre *marzo 28 – abril 4 2025*.

- Selección de la muestra:

La muestra del estudio estuvo compuesta por estudiantes de cuarto año del grado en Odontología de la Universidad Europea de Valencia, matriculados en la asignatura “Restauradora III”. Se envió una invitación por correo electrónico a un total de 160 alumnos, invitándolos a participar de forma voluntaria en el estudio. En dicha comunicación se incluía una explicación detallada del objetivo y desarrollo del mismo. Los primeros 40 estudiantes que manifestaron su interés en participar, según el orden de inscripción, fueron seleccionados como muestra final del estudio.

- Descripción del procedimiento

El estudio incluyó a 40 estudiantes de cuarto año de Odontología, quienes asistieron al laboratorio de simulación para recibir formación sobre el procedimiento de apertura endodóntica en premolares. La preparación teórica se llevó a cabo mediante una presentación en PowerPoint que abordó las fases clave del procedimiento, haciendo énfasis en la eliminación del techo de la cámara pulpar y la prevención de perforaciones en el suelo de la misma.

Todos los estudiantes realizaron una primera práctica y, posteriormente, fueron distribuidos aleatoriamente en dos grupos iguales. El grupo experimental recibió formación específica en el uso del simulador háptico Simodont®, y practicó las aperturas en dicho simulador. El grupo control continuó su práctica con métodos tradicionales. Una vez completada esta fase, el grupo experimental volvió a realizar aperturas para evaluar la transferencia de habilidades.

La evaluación de los procedimientos se realizó utilizando una rúbrica adaptada a premolares, basada en el artículo de Slaczka et al. (Tabla 1) , (6). Cada caso fue codificado por participante y evaluado según los criterios establecidos en la rúbrica (Figura 1), que incluye mediciones precisas desde referencias anatómicas de la corona hasta los márgenes de la cavidad. También se aplicó un cuestionario de percepción y satisfacción sobre el uso del simulador Simodont®, compuesto por ítems extraídos del estudio original y preguntas elaboradas por el equipo investigador.

- Recogida de datos:

La recogida de datos se llevó a cabo mediante tres estrategias: evaluación objetiva de las aperturas, cuestionario de satisfacción y medición del tiempo de ejecución.

Evaluación de las aperturas: Dos evaluadores independientes, un profesor de la UEV y un estudiante de último curso, valoraron las aperturas realizadas en el entrenamiento final de ambos grupos. Se utilizó una rúbrica adaptada del artículo de Slaczka et al. , centrada en cuatro criterios: contorno y colocación, eliminación del techo de la cámara pulpar, daño al suelo pulpar (incluyendo arañazos y perforaciones), y forma interna (6). Cada sección se calificó individualmente, y se obtuvo una puntuación total por participante. Para garantizar una evaluación ciega, los dientes preparados fueron codificados y su identificación cubierta.

Cuestionario de satisfacción: Tras la práctica, los participantes del grupo experimental completaron un cuestionario sobre su percepción del simulador Simodont® (Tabla 2 basado en aspectos clave de la simulación en realidad virtual como la visualización anatómica tridimensional, la retroalimentación háptica, la utilidad percibida y la disposición a recomendar la herramienta.

Evaluación del tiempo: Finalmente, se registró el tiempo necesario para realizar correctamente la apertura endodóntica en el simulador, utilizando el cronómetro integrado del software. Esta medición fue realizada por dos evaluadores.

- Análisis estadístico de los datos:

Los datos se presentan como media +/- desviación estándar (SD) de los resultados obtenidos. El análisis de la distribución normal para cada grupo de datos se realizó mediante el test de Kolmogorov-Smirnov.

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo mediante el análisis de la prueba de T de student entre dos grupos, o por pruebas no paramétricas apropiadas en su caso en función del procedimiento (GraphPad Software INC, San Diego, CA, EE.UU). Los resultados se tomaron como significativos (*) cuando el valor $p < 0,05$.

RESULTADOS

La Figura 2 compara las puntuaciones del grupo de control y el grupo experimental que utiliza Simodont® en la tarea de preparación de la cavidad de acceso. Los datos se expresan como valores medios \pm error estándar (EE). Las diferencias significativas ($p < 0,05$) se indican con un asterisco (*).

- La **Figura 2A** muestra la puntuación general, donde el grupo experimental supera al grupo de control ($p < 0,05$).
- La **Figura 2B** evalúa la forma de la cavidad, con el grupo experimental obteniendo nuevamente una puntuación más alta ($p < 0,05$).
- La **Figura 2C** evalúa la eliminación del techo de la cámara pulpar, con el grupo experimental mostrando una ventaja estadísticamente significativa ($p < 0,05$).
- La **Figura 2D** evalúa el daño al piso de la cámara pulpar, mostrando que no hay diferencias significativas entre los grupos.
- La **Figura 2E** se centra en la forma interna de la cavidad, con el grupo experimental logrando puntuaciones significativamente más altas ($p < 0,05$).
- La **Figura 2F** mide la precisión en la identificación de puntos anatómicos, con el grupo experimental obteniendo mejores resultados ($p < 0,05$).

Estos resultados sugieren que el entrenamiento con simuladores hápticos de realidad virtual mejora el rendimiento, especialmente en tareas que requieren habilidades motoras finas, conciencia espacial y precisión, sin aumentar el riesgo de daño interno.

La Tabla 3 presenta el tiempo de uso del simulador por parte del grupo experimental. El tiempo total promedio fue de 252,7 segundos, mientras que el tiempo de presión activo, cuando el instrumento estaba en contacto con el diente, fue de solo 41 segundos. Esta diferencia indica que una parte sustancial del entrenamiento se dedicó a la observación, planificación y reposicionamiento, lo cual también es fundamental en la adquisición de habilidades clínicas complejas.

La Figura 3 muestra los resultados de la encuesta de satisfacción tras el uso del *Simodont*[®]. Se utilizaron afirmaciones con escala Likert para valorar distintas dimensiones de la experiencia del usuario. En cuanto a la visualización anatómica (Pregunta A), el 85 % de los estudiantes respondió positivamente, destacando su utilidad para comprender la anatomía 3D de la pulpa. Por el contrario, la retroalimentación háptica (Pregunta B) fue valorada negativamente por el 60 %, indicando que el simulador no replicaba fielmente la sensación de una pieza de mano real.

Respecto a la experiencia general (Pregunta C), el 70 % disfrutó usando el simulador, mientras que en la comparación con métodos tradicionales (Pregunta D), el 75 % expresó preferencia por los dientes artificiales. Aun así, el 65 % recomendaría **Simodont** a otros compañeros (Pregunta E), y un 60 % consideró fácil adaptarse a su uso (Pregunta F). En relación con la confianza clínica (Pregunta G), un 45 % manifestó una mejora percibida, aunque un 30 % permaneció indeciso y un 25 % no percibió beneficios. Finalmente, sobre el realismo general (Pregunta H), el 40 % opinó que no era suficiente para simular escenarios clínicos reales, frente a un 35 % que respondió favorablemente.

La Figura 4 recoge la respuesta a la pregunta final sobre la preferencia de enfoque pedagógico. El 75 % de los estudiantes expresó preferencia por una combinación de dientes artificiales y el simulador *Simodont*[®] como estrategia ideal para el entrenamiento preclínico. Solo el 20 % prefirió exclusivamente dientes artificiales, y un escaso 5 % se inclinó únicamente por el simulador.

DISCUSION

El objetivo de este estudio fue comparar la efectividad de los simuladores tradicionales frente al simulador de realidad virtual háptica *Simodont*[®] en la educación preclínica en endodoncia. Los resultados obtenidos sugieren que los simuladores hápticos presentan ventajas significativas en varios aspectos del aprendizaje, aunque también se identificaron algunas limitaciones que deben considerarse al evaluar su implementación generalizada en la formación odontológica.

- Rendimiento técnico y entrenamiento anatómico

Los estudiantes entrenados con Simodont® obtuvieron puntuaciones significativamente más altas en la mayoría de los parámetros durante la preparación de cavidades de acceso. Este hallazgo es consistente con estudios previos como el de Slaczka et al. (2024), donde los estudiantes que utilizaron Simodont® demostraron mayor competencia en la realización del acceso endodóntico y mejor adaptación al contorno anatómico del diente (6) Otros estudios también han respaldado este resultado, como el de Buchanan et al. (2022), quienes encontraron que los estudiantes que entrenaron con simuladores de realidad virtual desarrollaron un control psicomotor superior y mejores habilidades de orientación espacial en comparación con los que solo usaron modelos tradicionales (7).

En este sentido, los resultados de nuestro estudio coinciden con estas observaciones, sugiriendo que la simulación háptica mejora la comprensión tridimensional de la anatomía dental y la ejecución precisa de tareas que requieren habilidades motoras finas.

Además, Perry et al. (2023) encontraron que la retroalimentación háptica en la simulación odontológica ayudó a reducir el número de errores técnicos, especialmente entre los principiantes (8). Nuestros hallazgos también apoyan estos resultados, ya que los estudiantes entrenados con Simodont® obtuvieron puntuaciones más altas en aspectos clave como el contorno, la forma y la fidelidad anatómica. En paralelo, Al-Saud et al. (2017) reportaron que los estudiantes que utilizaron simuladores de realidad virtual mostraron mayor confianza en el procedimiento y mejor apreciación de la anatomía interna dental, lo cual también se refleja en nuestros resultados, ya que los estudiantes destacaron la utilidad de Simodont® para visualizar la estructura interna tridimensional de los dientes (9).

Sin embargo, nuestro estudio también reflejó preocupaciones similares a las de Sailer et al. (2021), quienes advirtieron que, aunque los simuladores VR hápticos mejoran las habilidades preclínicas, no pueden reemplazar completamente la experiencia táctil que se obtiene en condiciones clínicas reales. Aunque los mejores resultados técnicos fueron observados en el grupo experimental, esto no implica que la simulación VR pueda sustituir la práctica clínica real (10).

Las mejores habilidades técnicas observadas en el grupo experimental pueden atribuirse a varias ventajas pedagógicas inherentes a la simulación de realidad virtual háptica, como la retroalimentación inmediata y la capacidad de repetir procedimientos sin costos adicionales, lo que permite un entorno de aprendizaje eficiente.

- **Satisfacción estudiantil y experiencia del usuario**

La satisfacción de los estudiantes con el uso de Simodont® fue en su mayoría positiva. En nuestro estudio, el 85% de los estudiantes estuvo de acuerdo en que el simulador les ayudó a comprender mejor la anatomía tridimensional de la cámara pulpar. Estos resultados son similares a los obtenidos por Koo et al. (2015), quienes también encontraron que los estudiantes disfrutaron utilizando simuladores de VR debido a la capacidad de realizar zoom, rotar modelos y visualizar estructuras internas de manera transparente (11). Sin embargo, una proporción significativa de estudiantes expresó preocupaciones sobre la calidad de la retroalimentación háptica, indicando que no se sentía totalmente realista en comparación con los instrumentos dentales convencionales.

Esta crítica es consistente con la observación de estudios previos, como el de Su et al. (2020), que indicaron que, aunque los simuladores VR eran efectivos para promover la destreza y la coordinación, los estudiantes aún necesitaban practicar con modelos físicos o altamente realistas para perfeccionar su sensibilidad táctil (12).

Una proporción significativa de estudiantes prefirió un enfoque combinado, reforzando la necesidad de integrar métodos físicos y virtuales para una formación más completa. Esta preferencia por un enfoque híbrido está en línea con la idea de que tanto los simuladores hápticos como los modelos tradicionales tienen fortalezas complementarias. Los cuestionarios de satisfacción también mostraron que los estudiantes disfrutaron utilizando Simodont®, pero reconocieron que una combinación de simuladores virtuales y modelos físicos podría proporcionar una formación más equilibrada.

- **Eficiencia de aprendizaje y análisis de tiempo**

El análisis del tiempo de formación mostró que los estudiantes del grupo Simodont® completaron los procedimientos más rápido y con mayor eficiencia en las sesiones posteriores.

Este hallazgo coincide con el trabajo de Buchanan et al. (2022), quienes observaron que los simuladores de realidad virtual permitieron una mayor familiaridad y eficiencia en los procedimientos a medida que los estudiantes repetían las prácticas (7). En nuestro estudio, los estudiantes completaron el procedimiento en tres intentos separados sin restricciones de tiempo, lo que mostró una mejora progresiva en su eficiencia. Esta progresión refuerza la idea de que los simuladores hápticos ofrecen un entorno de aprendizaje formativo, donde la repetición y la retroalimentación objetiva juegan un papel clave en el desarrollo de habilidades.

- Costos, accesibilidad y sostenibilidad

Uno de los desafíos para la implementación generalizada de Simodont® es su alto costo de adquisición y mantenimiento, un problema que también se ha destacado en estudios previos como el de Philip et al. (2023). La necesidad de formar tanto a instructores como a estudiantes, junto con los requisitos de espacio e infraestructura técnica, puede limitar la disponibilidad de estas tecnologías en las facultades de odontología, lo que reduce el tiempo efectivo de uso por cada estudiante (13). A pesar de estos desafíos, la posibilidad de practicar sin los costos adicionales de materiales físicos y sin el riesgo para el paciente representa una ventaja significativa sobre los métodos tradicionales. Además, el uso de simuladores como Simodont® está alineado con los principios de sostenibilidad, ya que reduce la necesidad de modelos plásticos y artículos desechables. Esto también ha sido señalado por diversos estudios que apoyan el uso de tecnologías de simulación para promover prácticas más sostenibles en la educación dental.

- Transferencia clínica y percepción estudiantil

A pesar de que este estudio se centró en la etapa preclínica, la percepción de los estudiantes sobre su confianza para enfrentar casos clínicos reales mejoró después de usar Simodont®. El 45% de los estudiantes indicó sentirse más confiado para enfrentar casos clínicos reales, lo cual es consistente con los hallazgos de Hattori et al. (2021), quienes demostraron que la formación en entornos virtuales puede reducir la ansiedad durante los procedimientos clínicos y mejorar la toma de decisiones (14).

- Limitaciones

Aunque los resultados son prometedores y aportan valor al uso de simuladores hápticos en la formación odontológica, deben considerarse factores que afectan su aplicabilidad. El estudio se basó en 40 participantes, distribuidos equitativamente entre los grupos. Si bien la muestra permitió una comparación adecuada, futuras investigaciones con más participantes podrían mejorar la generalización de los hallazgos. Además, aunque Simodont® ofrece retroalimentación visual e interactiva de alta calidad, la retroalimentación táctil aún no reproduce completamente la fidelidad necesaria para simular las condiciones clínicas reales. Estos aspectos son similares a las limitaciones observadas en estudios previos que sugieren que los simuladores hápticos deben complementarse con prácticas en modelos físicos o en situaciones clínicas reales.

CONCLUSION

- 1) Simodont® mejora el desarrollo de habilidades prácticas en endodoncia frente a métodos tradicionales, haciendo que los estudiantes logren mejores resultados técnicos con una mayor eficacia.
- 2) El entrenamiento previo con Simodont® contribuyó a una mejora en la forma y en la profundidad de las cavidades en aperturas endodónticas, confirmando su eficacia en la mejora de habilidades adquiridas.
- 3) La mayoría de los estudiantes valoró positivamente el simulador háptico Simodont® en la formación en endodoncia, destacando su utilidad para comprender la anatomía tridimensional, aunque algunos mencionaron limitaciones en la sensación táctil. Se prefirió un enfoque combinado de simulación háptica con métodos tradicionales.
- 4) La diferencia entre el tiempo total de uso y el tiempo de presión en Simodont® sugiere que los estudiantes dedican tiempo a planificar y reflexionar, lo que indica un proceso de aprendizaje activo y consciente durante el entrenamiento endodóntico.

BIBLIOGRAFIA

1. Simodont Dental Trainer. *Simodont Courseware v4.12 Teacher Manual*. 2023.
2. Zhang L, Wu Y, Zhang X, et al. Application of Simodont virtual simulation system for preclinical teaching of access and coronal cavity preparation. *[ResearchGate preprint]*. 2023.

3. Daud A. Enhancing learning experiences in pre-clinical restorative dentistry: The impact of virtual reality haptic simulators. *J Dent Educ.* 2021;85(5):558–64.
4. Wang W, Li L, Zhang L, et al. Advances in root canal disinfection: A systematic review. *J Endod.* 2023;49(5):399–410.
5. Bakr MM, Massey WL, Alexander H. Evaluation of Simodont® haptic 3D virtual reality dental training simulator. *Int J Dent Clin.* 2013;5(4):1–6.
6. Slaczka DM, Shah R, Liu C, Zou F, Karunanayake GA. Endodontic access cavity training using artificial teeth and Simodont® dental trainer: A comparison of student performance and acceptance. *Int Endod J.* Forthcoming 2024 Nov 18.
7. Buchanan JA, Higginson J, Petrisor B. Impact of haptic simulators in preclinical dental education: A systematic review. *J Dent Educ.* 2022;86(5):555–63.
8. Perry S, Bridges SM, Chan JCK. Virtual reality and haptics in dental education: Implementation and student perceptions. *Eur J Dent Educ.* 2023;27(1):155–62.
9. Al-Saud LM, Mushtaq F, Allsop MJ, et al. Feedback and motor skill acquisition using a haptic dental simulator. *Eur J Dent Educ.* 2017;21(4):240–7.
10. Sailer HF, Müller P, Weber HP. Virtual reality dental simulators: Limitations and educational perspectives. *Dent Educ Res.* 2021;25(2):120–7.
11. Koo S, Kim A, Donoff RB, Karimbux NY. An initial assessment of haptics in preclinical operative dentistry training. *J Investig Clin Dent.* 2015;6(1):69–76.
12. Su X, Moussa R, Alghazaly A, et al. Effectiveness of virtual reality and interactive simulators on dental education outcomes: Systematic review. *Eur J Dent.* 2022;16(1):14–31.
13. Philip N, Ali K, Duggal M, Daas H, Nazzal H. Effectiveness and student perceptions of haptic virtual reality simulation training in pre-clinical paediatric dentistry: A pilot pedagogical study. *Int J Paediatr Dent.* 2023.
14. Hattori A, Tonami KI, Tsuruta J, et al. Effect of the haptic 3D virtual reality dental training simulator on assessment of tooth preparation. *J Dent Sci.* 2022;17:514.

Conflicto de interés: ninguno declarado

Financiamiento: ninguno declarado

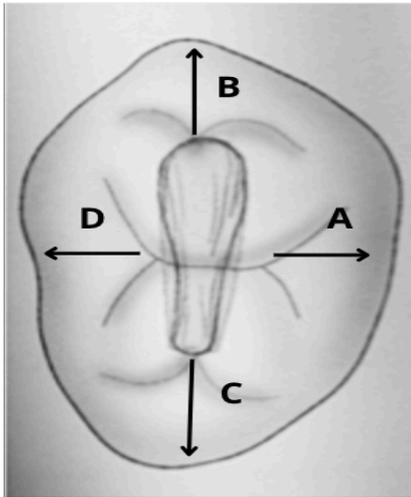
Tabla 1. Rúbrica de evaluación de aperturas

Sección A / Section A	Calificación /Grade
Parámetro: longitud de la línea A/ Parameter: length of line A	
A= 2 mm	2
A= 1 mm	1
A= 3mm	1
A > 3mm	0
A < 1mm	0
Parámetro: longitud de la línea B/ Parameter: length of line B	
B= 2mm	2
B= 1mm	1
B= 3mm	1
B > 3mm	0
B < 1mm	0
Parámetro: longitud de la línea C/ Parameter: length of line C	
C= 2mm	2
C= 1mm	1
C= 3mm	1
C > 3mm	0
C < 1mm	0
Parámetro: longitud de la línea D/ Parameter: length of line D	
D= 2mm	2
D= 1mm	1
D= 3mm	1
D > 3mm	0
D < 1mm	0
Parámetro: Forma de la cavidad de acceso/ Parameter: Shape of access cavity	
La cavidad de acceso tiene una forma elíptica con márgenes lisos.	2
La cavidad de acceso tiene una forma elíptica con márgenes irregulares.	1
La forma de la cavidad de acceso no es elíptica.	0

Sección B / Section B	Calificación /Grade
Parámetro: Remoción de la cámara pulpar / Parameter: Pulp chamber root removal	
Remoción completa del techo de la cámara pulpar / Complete removal of the pulp chamber roof	2
Se ha eliminado la mayoría (> 90 %) del techo de la cámara pulpar / Majority (> 90%) of pulp chamber roof removed	1
Se ha eliminado menos del 90 % del techo de la cámara pulpar / Less than 90% of pulp chamber roof removed	0
Sección C / Section C	
Parámetro: Daño del suelo de la cámara pulpar / Parameter: Damage to the pulp chamber floor	
Sin ranuras ni perforaciones en el suelo de la cámara pulpar / No gouging or perforation to the floor of the pulp chamber	2
Ranuras mínimas (1-2 muescas pequeñas; <0,5 mm de profundidad) en el suelo de la cámara pulpar / Minimal gouging (1-2 small notches; <0.5 mm depth) to the floor of the pulp chamber	1
Ranuras significativas (>2 muescas; >0,5 mm de profundidad) y/o perforación en el suelo de la cámara pulpar / Significant gouging (>2 notches; >0.5 mm depth) and/or perforation to the floor of the pulp chamber	0
Sección D / Section D	
Parámetro: Forma interna / Parameter: Internal form	
Las paredes axiales de la cavidad de acceso revelan 2 orificios de conductos con ranuras nulas o leves (<0.5 mm de diámetro) / The access cavity axial walls reveal 3 canal orifices with no or slight gouges (<0.5 mm in diameter)	3
Las paredes axiales de la cavidad de acceso no logran revelar 2 orificios de conductos / The access cavity axial walls fail to reveal 3 canal orifices	0
Las paredes de la cavidad de acceso tienen ranuras gruesas (>0.5 mm de diámetro) / The access cavity walls have gross gouges (>0.5 mm in diameter)	0

Tabla 2. Cuestionario de percepción y satisfacción del estudiante sobre el uso del Simodont®

		1	2	3	4	5
		Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	El Simodont me ayudó a visualizar la anatomía 3D de la pulpa / The Simodont trainer helped me visualize 3D anatomy of the pulp.					
2	La retroalimentación háptica del Simodont fue la misma que la de una pieza de mano real / The Simodont trainer haptic feedback was the same as a real life handpiece.					
3	Disfruté usando el Simodont / I enjoyed using the Simodont trainer.					
4	Prefiero el Simodont al diente artificial / I prefer the Simodont trainer over the artificial tooth.					
5	Recomendaría el Simodont a amigos/compañeros. / I would recommend Simodont trainer to my friends/ colleagues.					
6	Fue fácil adaptarse al uso del Simodont / It was easy to adapt to using the Simodont.					
7	El uso del Simodont ha mejorado mi confianza en procedimientos dentales con pacientes/ Using the Simodont has improved my confidence in dental procedures with patients.					
8	El nivel de realismo del Simodont es suficiente para simular escenarios clínicos reales / The level of realism of the Simodont is sufficient to simulate real clinical scenarios.					
9	¿Cuál de estas opciones de entrenamiento preclínico prefieres? / Which of these preclinical training options do you prefer? a. Solo fantoma / Phantom only b. Solo Simodont / Simodont only c. Una combinación de fantoma y Simodont / A combination of Phantom and Simodont.					
10	Por favor, deja un comentario sobre lo que te ha gustado, no te ha gustado o te gustaría mejorar del Simodont. Gracias / Please leave a comment about what you liked, didn't like, or would like to improve about the Simodont. Thank you.					



- A. DISTANCIA DESDE LA CRESTA MARGINAL HASTA EL CONTORNO DE LA CAVIDAD MESIAL EN EL EJE MENTAL DE LA CORONA.**
- B. DISTANCIA DESDE LA PUNTA DE LA CUSPIDE VESTIBULAR HASTA EL MARGEN DE LA CAVIDAD VESTIBULAR.**
- C. DISTANCIA DESDE LA PUNTA DE LA CUSPIDE PALATINA HASTA EL MARGEN DE LA CAVIDAD PALATINA.**
- D. DISTANCIA DESDE LA CRESTA MARGINAL HASTA EL CONTORNO DE LA CAVIDAD DISTAL EN EL EJE MENTAL DE LA CORONA.**

Figura 1: *Rúbrica de evaluación*

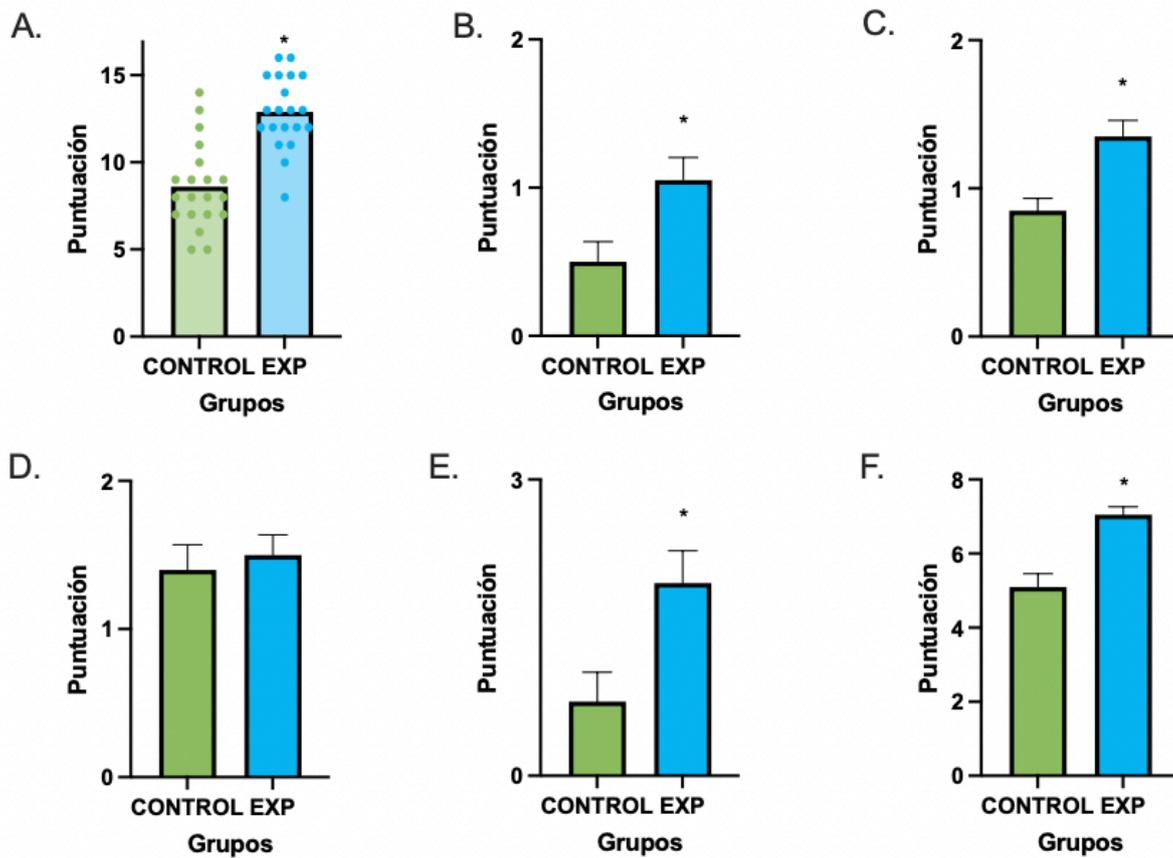


Figura 2. Puntuaciones obtenidas por ambos grupos (control y experimental con simulador) en la evaluación de la apertura cameral de endodencia en dientes montados en modelo de escayola.

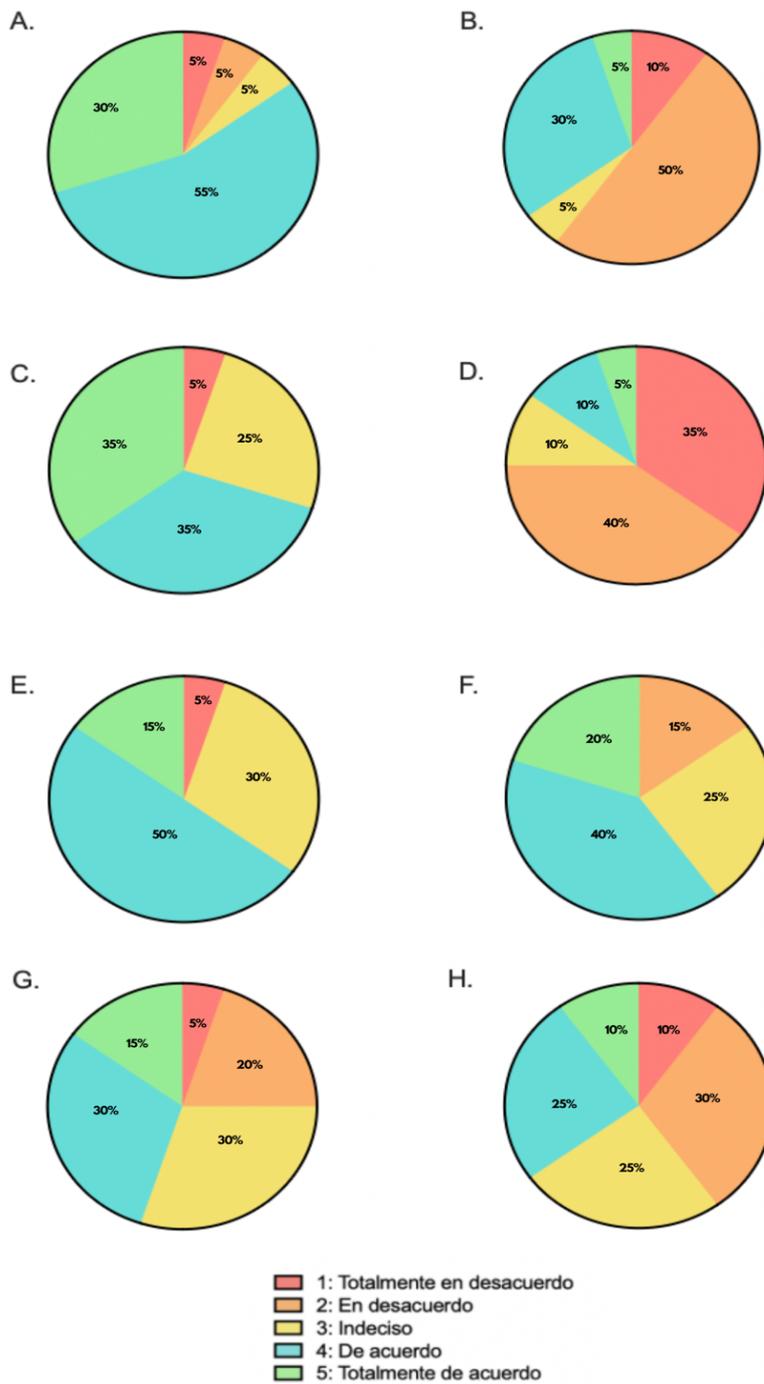


Figura 3. Resultados de la encuesta de satisfacción tras el uso del simulador háptico Simodont®.

Tabla 3. *Tiempo de uso del Simulador.*

	Tiempo total	Tiempo de presión
Media (segundos)	252,7	41
Error estándar de la media (SEM)	33,45	2,98

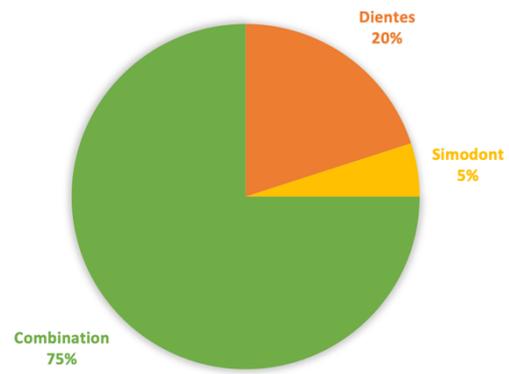


Figura 4. Resultados de la encuesta de satisfacción tras el uso del simulador háptico Simodont a la pregunta.

**IMPACT OF HAPTIC VIRTUAL REALITY SIMULATORS VERSUS TRADITIONAL
SIMULATORS IN ENDODONTIC TRAINING: A COMPARATIVE STUDY**

Short title: Impact of haptic virtual reality simulators in endodontic training: a
comparative study

Authors:

Ola Deeb¹, Germán Sánchez-Herrera²

1. 5th-year Dentistry student at the European University of Valencia, Valencia, Spain.
2. Professor, Department of Clinical Dentistry, Faculty of Health Sciences, European University of Valencia

CORRESPONDENCE:

Germán Sánchez-Herrera

Paseo Alameda 7, 46010 Valencia, Spain

GERMAN.SANCHEZ@universidadeuropea.es

ABSTRACT:

INTRODUCTION: Haptic simulation has transformed dental education by allowing students to safely practice endodontic procedures in a virtual environment. Simodont® enhances training through tactile feedback, honing motor skills and anatomical understanding. However, high costs and maintenance hinder its widespread adoption.

MATERIALS AND METHODS: This comparative study was conducted at the European University of Valencia to evaluate two endodontic training methods: traditional simulators and the haptic virtual reality simulator Simodont®. 40 fourth-year dental students participated, divided into two groups: one group used only artificial teeth (control group n=20) and the other group practiced with Simodont® before working with artificial teeth (experimental group n=20). The students performed premolar openings, assessed using a rubric that considered several technical aspects. In addition, students in the experimental group completed a Simodont® satisfaction questionnaire.

RESULTS: Students trained with Simodont® obtained significantly higher overall scores ($p < 0.05$), particularly in cavity shape, pulp chamber roof removal, and internal morphology. No differences were found in pulp floor damage. The average task time was 252.7 ± 33.45 seconds, with an active instrumentation time of 41 ± 2.98 seconds. Eighty-five percent felt that Simodont® improved their understanding of 3D anatomy; 70% enjoyed the experience; 65% would recommend it; and 75% preferred a combination of virtual simulation and traditional methods.

CONCLUSION: The use of the Simodont® haptic simulator significantly improved the technical skills of dental students during endodontic access cavity preparation. Students trained with Simodont® performed better on key performance metrics compared to traditional methods and expressed high satisfaction with its educational value.

Keywords: Haptic simulation, Simodont®, endodontics, endodontic access, traditional simulators

INTRODUCTION

The teaching of endodontics has evolved significantly with the integration of advanced technologies such as haptic simulation. This technique replicates the sense of touch through force feedback in virtual environments, enabling students to practice clinical procedures without posing any risk to patients (1). In dentistry, its implementation has transformed how students acquire practical skills, particularly in complex areas like endodontics. Among these innovations, Simodont® stands out, a haptic virtual reality dental simulator specifically designed for preclinical training. This device combines advanced haptic technology with three-dimensional visualization to create an immersive and realistic environment (1,2).

Students can experience precise tactile sensations when interacting with virtual dental structures such as dentin or the pulp chamber, which enhances both motor learning and anatomical understanding (1). Simodont® allows for the practice of key procedures such as endodontic access cavity preparation, root canal exploration, and cavity shaping, providing immediate feedback on aspects such as angulation, depth, or instrument usage. Its ability to repeat procedures without consuming physical materials promotes experiential learning, boosts student confidence, and contributes to sustainability in dental education (3,4).

Despite its benefits, the widespread adoption of Simodont® faces challenges such as high acquisition and maintenance costs, as well as the need for faculty training to ensure effective use (2). Nevertheless, recent studies show that students who train with Simodont® feel more prepared to transfer their skills to real clinical settings, demonstrating improved competence and confidence (5).

This study aims to analyze the impact of using Simodont® on the development of endodontic skills among dental students, comparing it with traditional simulators. It seeks to evaluate its effectiveness in practical training and its potential as a key educational tool in modern endodontic teaching.

MATERIALS AND METHODS

- Study Design:

This was a comparative and interventional study conducted in the preclinical and simulation laboratory of the European University of Valencia (UEV). The study was carried out using the haptic simulator “Simodont®” and traditional methods involving endodontic teeth mounted in plaster models. It was conducted by a group of fourth-year dental students. This experimental study was approved by the Research Committee of the Doctoral and Research School at the European University, with approval granted on January 24, 2025, under registration code: 2025-128. The study took place from March 28 to April 4, 2025.

- Sample Selection

The study sample consisted of fourth-year students enrolled in the Dentistry degree program at the European University of Valencia, specifically those registered in the subject “Restorative III.” An invitation was sent via email to a total of 160 students, inviting them to voluntarily participate in the study. The message included a detailed explanation of the study’s purpose and procedures. The first 40 students who expressed interest, based on the order of registration, were selected as the final study sample.

- Procedure description

The study involved 40 fourth-year dental students who attended the simulation lab for training on the endodontic access cavity procedure in premolars. The theoretical component was delivered through a PowerPoint presentation covering the key phases of the procedure, with a focus on removing the roof of the pulp chamber and preventing perforation of the pulp floor. All students completed an initial practice session and were then randomly assigned to two equal groups. The experimental group received specific training in the use of the Simodont® haptic simulator and practiced access openings using the simulator. The control group continued practicing with traditional methods. After this phase, the experimental group performed the access procedure again to evaluate the transfer of skills.

The evaluation of the procedures was conducted using a rubric adapted for premolars, based on the article by Slaczka et al. (Tabel 1) (6). Each case was coded by participant and evaluated according to the criteria established in the rubric (Figure 1), which includes precise measurements from anatomical landmarks on the crown to the margins of the cavity. Additionally, a perception and satisfaction questionnaire regarding the use of the Simodont® simulator was applied, consisting of items from the original study as well as questions developed by the research team.

- **Data Collection:**

Data were collected using three strategies: objective evaluation of the access procedures, satisfaction questionnaire, and measurement of execution time.

Evaluation of the access procedures: Two independent evaluators, one UEV faculty member and one final-year student, assessed the access preparations performed in the final training session of both groups. A rubric adapted from Slaczka et al. was used, focusing on four criteria: contour and positioning, removal of the pulp chamber roof, damage to the pulp floor (including scratches and perforations), and internal shape (6). Each section was scored individually, and a total score was obtained per participant. To ensure blinded evaluation, the prepared teeth were coded, and their identification concealed.

Satisfaction questionnaire: After the practice session, participants in the experimental group completed a questionnaire regarding their perception of the Simodont® simulator (Tabel 2). The questionnaire focused on key aspects of virtual reality simulation, such as three-dimensional anatomical visualization, haptic feedback, perceived usefulness, and willingness to recommend the tool.

Time evaluation: Finally, the time required to correctly perform the endodontic access procedure in the simulator was recorded using the integrated timer in the software. This measurement was conducted by two evaluators.

- **Statistical Data Analysis:**

The data are presented as mean \pm standard deviation (SD) of the results obtained. The normal distribution of each data group was analyzed using the Kolmogorov–Smirnov test.

The statistical analysis of the results was conducted using the student's t-test for comparisons between two groups, or appropriate non-parametric tests depending on the procedure (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA). Results were considered statistically significant (*) when the p-value was < 0.05 .

RESULTS

Figure 2 compares the scores of the control group and the experimental group using Simodont® for the access cavity preparation task. The data are expressed as mean values \pm standard error (SE). Statistically significant differences ($p < 0.05$) are marked with an asterisk (*).

- **Figure 2A** shows the overall score, with the experimental group outperforming the control group ($p < 0.05$).
- **Figure 2B** evaluates the shape of the cavity, with the experimental group again achieving a higher score ($p < 0.05$).
- **Figure 2C** evaluates the removal of the roof of the pulp chamber, with the experimental group showing a statistically significant advantage ($p < 0.05$).
- **Figure 2D** assesses damage to the floor of the pulp chamber, showing no significant differences between the groups.
- **Figure 2E** focuses on the internal shape of the cavity, with the experimental group achieving significantly higher scores ($p < 0.05$).
- **Figure 2F** measures accuracy in identifying anatomical landmarks, with the experimental group obtaining better results ($p < 0.05$).

These results suggest that training with haptic virtual reality simulators improves performance, especially in tasks requiring fine motor skills, spatial awareness, and precision, without increasing the risk of internal damage.

Table 3 presents the simulator usage time for the experimental group. The average total time was 252.7 seconds, while the active pressure time, when the instrument was in contact with the tooth, was only 41 seconds. This difference indicates that a substantial portion of the training was dedicated to observation, planning, and repositioning, which are also essential in acquiring complex clinical skills.

Figure 3 presents the results of the satisfaction survey following the use of Simodont®. Likert scale statements were used to assess various dimensions of the user experience. Regarding anatomical visualization (Question A), 85% of students responded positively, highlighting its usefulness in understanding the 3D anatomy of the pulp. In contrast, haptic feedback (Question B) was rated negatively by 60%, indicating that the simulator did not faithfully replicate the sensation of using a real handpiece.

As for the overall experience (Question C), 70% enjoyed using the simulator. When compared to traditional methods (Question D), 75% expressed a preference for artificial teeth. Nevertheless, 65% said they would recommend *Simodont* to other students (Question E), and 60% found it easy to adapt to its use (Question F). In terms of clinical confidence (Question G), 45% reported a perceived improvement, although 30% remained undecided and 25% did not perceive any benefits. Lastly, concerning the overall realism (Question H), 40% felt it was insufficient for simulating real clinical scenarios, while 35% responded favorably.

Figure 4 shows responses to the final question about preferred teaching approaches. 75% of students expressed a preference for a combined strategy using both artificial teeth and the Simodont® simulator for preclinical training. Only 20% preferred using artificial teeth exclusively, and just 5% favored the simulator alone.

DISCUSSION

The objective of this study was to compare the effectiveness of traditional simulators versus the haptic virtual reality simulator Simodont® in preclinical endodontic education. The results suggest that haptic simulators offer significant advantages in several aspects of learning. However, some limitations were also identified, which should be considered when evaluating their widespread implementation in dental training.

- **Technical performance and anatomical training**

Students trained with Simodont® achieved significantly higher scores in most parameters during access cavity preparation. This finding is consistent with previous studies, such as that of Slaczka et al. (2024), where students using Simodont® demonstrated greater competence in performing endodontic access and better adaptation to the anatomical contours of the tooth (6). Other studies have also supported this result, including Buchanan et al. (2022), who found that students trained with virtual reality simulators developed superior psychomotor control and improved spatial orientation skills compared to those who only used traditional models (7).

In this regard, the results of our study align with these observations, suggesting that haptic simulation enhances the three-dimensional understanding of dental anatomy and the accurate execution of tasks that require fine motor skills.

Additionally, Perry et al. (2023) found that haptic feedback in dental simulation helped reduce the number of technical errors, especially among beginners (8). Our findings also support this, as students trained with Simodont® scored higher in key aspects such as contour, shape, and anatomical fidelity. Similarly, Al-Saud et al. (2017) reported that students using virtual reality simulators showed greater confidence in performing procedures and better appreciation of internal dental anatomy, this was also reflected in our results, with students highlighting Simodont®'s usefulness in visualizing the three-dimensional internal structure of teeth (9).

However, our study also reflected concerns like those raised by Sailer et al. (2021), who warned that although haptic VR simulators enhance preclinical skills, they cannot fully replace the tactile experience gained in real clinical settings. Even though the best technical results were observed in the experimental group, this does not imply that VR simulation can substitute for real clinical practice (10).

- **The superior technical skills**

observed in the experimental group can be attributed to several pedagogical advantages inherent to haptic virtual reality simulation, such as immediate feedback and the ability to repeat procedures without additional cost factors that contribute to an efficient learning environment.

- **Student Satisfaction and User Experience**

Student satisfaction with the use of Simodont® was mostly positive. In our study, 85% of students agreed that the simulator helped them better understand the three-dimensional anatomy of the pulp chamber. These findings are similar to those reported by Koo et al. (2015), who also found that students enjoyed using VR simulators due to their ability to zoom, rotate models, and transparently visualize internal structures (11). However, a significant proportion of students expressed concerns about the quality of the haptic feedback, noting that it did not feel fully realistic compared to conventional dental instruments.

This critique aligns with observations from previous studies, such as Su et al. (2020), who indicated that while VR simulators were effective in promoting dexterity and coordination, students still needed to practice with physical or highly realistic models to refine their tactile sensitivity (12).

A notable proportion of students preferred a combined approach, reinforcing the need to integrate both physical and virtual methods for more comprehensive training. This preference for a hybrid model supports the idea that haptic simulators and traditional models offer complementary strengths. The satisfaction questionnaires also showed that students enjoyed using Simodont® but acknowledged that a combination of virtual simulators and physical models could provide a more balanced educational experience.

- **Learning Efficiency and Time Analysis**

The training time analysis showed that students in the Simodont® group completed procedures more quickly and efficiently during subsequent sessions.

This finding aligns with the work of Buchanan et al. (2022), who observed that virtual reality simulators enabled greater familiarity and efficiency in procedures as students repeated their practice sessions (7). In our study, students completed the procedure in three separate attempts without time constraints, showing progressive improvement in their efficiency. This progression supports the idea that haptic simulators provide a formative learning environment where repetition and objective feedback play a key role in skill development.

- **Cost, Accessibility, and Sustainability**

One of the challenges to the widespread implementation of Simodont® is its high acquisition and maintenance cost, a concern also noted in previous studies such as Philip et al. (2023). The need to train both instructors and students, along with technical infrastructure and space requirements, may limit access to these technologies in dental schools, reducing effective usage time per student (13). Despite these challenges, the ability to practice without the additional cost of physical materials and without patient risk is a significant advantage over traditional methods. Furthermore, the use of simulators like Simodont® aligns with sustainability principles, as it reduces the need for plastic models and disposable materials. This has also been highlighted by various studies supporting simulation technologies to promote more sustainable practices in dental education.

- **Clinical Transfer and Student Perception**

Although this study focused on the preclinical stage, students' perception of their confidence in handling real clinical cases improved after using Simodont®. 45% of students reported feeling more confident in managing real clinical situations. This is consistent with findings by Hattori et al. (2021), who demonstrated that training in virtual environments can reduce anxiety during clinical procedures and improve decision-making (14).

- Limitations

While the results are promising and add value to the use of haptic simulators in dental education, certain factors affecting their applicability must be considered. The study involved 40 participants evenly divided between the groups. Although this sample allowed for an appropriate comparison, future research with larger participant numbers could enhance the generalizability of the findings. Additionally, while Simodont® offers high-quality visual and interactive feedback, its tactile feedback does not yet fully replicate the fidelity required to simulate real clinical conditions. These limitations are in line with previous studies suggesting that haptic simulators should be complemented by training with physical models or in real clinical settings.

CONCLUSION

1. Simodont® improves the development of practical skills in endodontics compared to traditional methods, enabling students to achieve better technical results with greater efficiency.
2. Prior training with Simodont® contributed to improvements in the shape and depth of endodontic access cavities, confirming its effectiveness in skill enhancement.
3. Most students positively evaluated the Simodont® haptic simulator in endodontic training, emphasizing its usefulness in understanding three-dimensional anatomy, though some noted limitations in tactile sensation. A combined approach of haptic simulation and traditional methods was preferred.
4. The difference between the total usage time and the pressing time in Simodont® suggests that students spend time planning and reflecting, indicating an active and conscious learning process during endodontic training.

REFERENCES

1. Simodont Dental Trainer. *Simodont Courseware v4.12 Teacher Manual*. 2023.
2. Zhang L, Wu Y, Zhang X, et al. Application of Simodont virtual simulation system for preclinical teaching of access and coronal cavity preparation. [*ResearchGate preprint*]. 2023.
3. Daud A. Enhancing learning experiences in pre-clinical restorative dentistry: The impact of virtual reality haptic simulators. *J Dent Educ*. 2021;85(5):558–64.

4. Wang W, Li L, Zhang L, et al. Advances in root canal disinfection: A systematic review. *J Endod.* 2023;49(5):399–410.
5. Bakr MM, Massey WL, Alexander H. Evaluation of Simodont® haptic 3D virtual reality dental training simulator. *Int J Dent Clin.* 2013;5(4):1–6.
6. Slaczka DM, Shah R, Liu C, Zou F, Karunanayake GA. Endodontic access cavity training using artificial teeth and Simodont® dental trainer: A comparison of student performance and acceptance. *Int Endod J.* Forthcoming 2024 Nov 18.
7. Buchanan JA, Higginson J, Petrison B. Impact of haptic simulators in preclinical dental education: A systematic review. *J Dent Educ.* 2022;86(5):555–63.
8. Perry S, Bridges SM, Chan JCK. Virtual reality and haptics in dental education: Implementation and student perceptions. *Eur J Dent Educ.* 2023;27(1):155–62.
9. Al-Saud LM, Mushtaq F, Allsop MJ, et al. Feedback and motor skill acquisition using a haptic dental simulator. *Eur J Dent Educ.* 2017;21(4):240–7.
10. Sailer HF, Müller P, Weber HP. Virtual reality dental simulators: Limitations and educational perspectives. *Dent Educ Res.* 2021;25(2):120–7.
11. Koo S, Kim A, Donoff RB, Karimbux NY. An initial assessment of haptics in preclinical operative dentistry training. *J Investig Clin Dent.* 2015;6(1):69–76.
12. Su X, Moussa R, Alghazaly A, et al. Effectiveness of virtual reality and interactive simulators on dental education outcomes: Systematic review. *Eur J Dent.* 2022;16(1):14–31.
13. Philip N, Ali K, Duggal M, Daas H, Nazzal H. Effectiveness and student perceptions of haptic virtual reality simulation training in pre-clinical paediatric dentistry: A pilot pedagogical study. *Int J Paediatr Dent.* 2023.
14. Hattori A, Tonami KI, Tsuruta J, et al. Effect of the haptic 3D virtual reality dental training simulator on assessment of tooth preparation. *J Dent Sci.* 2022;17:514.

Conflict of Interest: None declared

Funding: None declared

Table 1. Opening Evaluation Rubric

Sección A / Section A	Calificación /Grade
Parámetro: longitud de la línea A/ Parameter: length of line A	
A= 2 mm	2
A= 1 mm	1
A= 3mm	1
A > 3mm	0
A < 1mm	0
Parámetro: longitud de la línea B/ Parameter: length of line B	
B= 2mm	2
B= 1mm	1
B= 3mm	1
B > 3mm	0
B< 1mm	0
Parámetro: longitud de la línea C/ Parameter: length of line C	
C= 2mm	2
C= 1mm	1
C= 3mm	1
C > 3mm	0
C< 1mm	0
Parámetro: longitud de la línea D/ Parameter: length of line D	
D= 2mm	2
D= 1mm	1
D= 3mm	1
D > 3mm	0
D< 1mm	0
Parámetro: Forma de la cavidad de acceso/ Parameter: Shape of access cavity	
La cavidad de acceso tiene una forma elíptica con márgenes lisos.	2
La cavidad de acceso tiene una forma elíptica con márgenes irregulares.	1
La forma de la cavidad de acceso no es elíptica.	0

Sección B / Section B	Calificación /Grade
Parámetro: Remoción de la cámara pulpar / Parameter: Pulp chamber root removal	
Remoción completa del techo de la cámara pulpar / Complete removal of the pulp chamber roof	2
Se ha eliminado la mayoría (> 90 %) del techo de la cámara pulpar / Majority (> 90%) of pulp chamber roof removed	1
Se ha eliminado menos del 90 % del techo de la cámara pulpar / Less than 90% of pulp chamber roof removed	0
Sección C / Section C	
Parámetro: Daño del suelo de la cámara pulpar / Parameter: Damage to the pulp chamber floor	
Sin ranuras ni perforaciones en el suelo de la cámara pulpar / No gouging or perforation to the floor of the pulp chamber	2
Ranuras mínimas (1-2 muescas pequeñas; <0,5 mm de profundidad) en el suelo de la cámara pulpar / Minimal gouging (1-2 small notches; <0.5 mm depth) to the floor of the pulp chamber	1
Ranuras significativas (>2 muescas; >0,5 mm de profundidad) y/o perforación en el suelo de la cámara pulpar / Significant gouging (>2 notches; >0.5 mm depth) and/or perforation to the floor of the pulp chamber	0
Sección D / Section D	
Parámetro: Forma interna / Parameter: Internal form	
Las paredes axiales de la cavidad de acceso revelan 2 orificios de conductos con ranuras nulas o leves (<0.5 mm de diámetro) / The access cavity axial walls reveal 3 canal orifices with no or slight gouges (<0.5 mm in diameter)	3
Las paredes axiales de la cavidad de acceso no logran revelar 2 orificios de conductos / The access cavity axial walls fail to reveal 3 canal orifices	0
Las paredes de la cavidad de acceso tienen ranuras gruesas (>0.5 mm de diámetro) / The access cavity walls have gross gouges (>0.5 mm in diameter)	0

Table 2. Student perception and satisfaction questionnaire on the use of Simodont®

		1	2	3	4	5
		Strongly disagree	Disagree	Undecided	Agree	Strongly agree
1	The Simodont trainer helped me visualize 3D anatomy of the pulp.					
2	Simodont trainer haptic feedback was the same as a real life handpiece.					
3	I enjoyed using the Simodont trainer.					
4	I prefer the Simodont trainer over the artificial tooth.					
5	I would recommend Simodont trainer to my friends/ colleagues.					
6	It was easy to adapt to using the Simodont.					
7	Using the Simodont has improved my confidence in dental procedures with patients.					
8	The level of realism of the Simodont is sufficient to simulate real clinical scenarios.					
9	<p>Which of these preclinical training options do you prefer?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Phantom only b. Simodont only c. A combination of Phantom and Simodont. 					
10	<p>Please leave a comment about what you liked, didn't like, or would like to improve about the Simodont. Thank you.</p>					

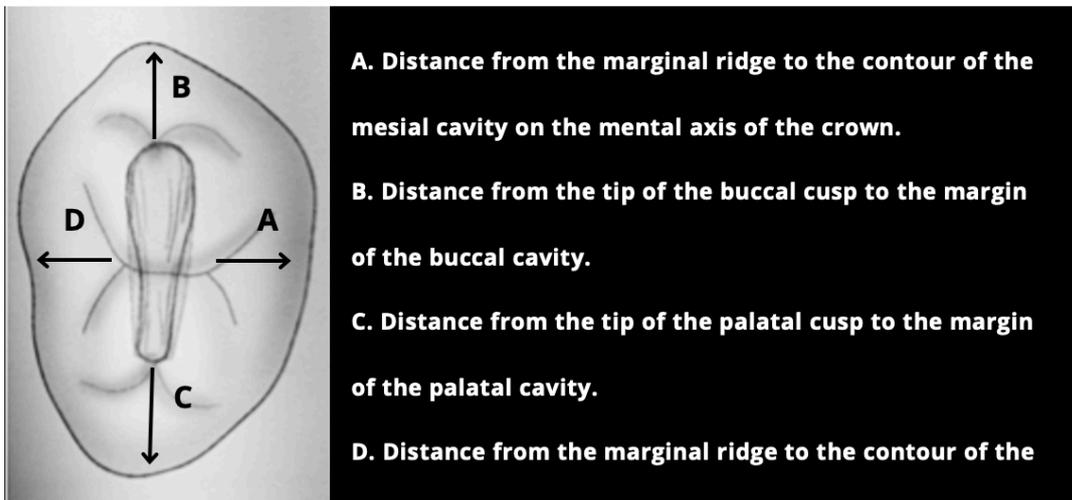


Figure 1. Evaluation Rubric

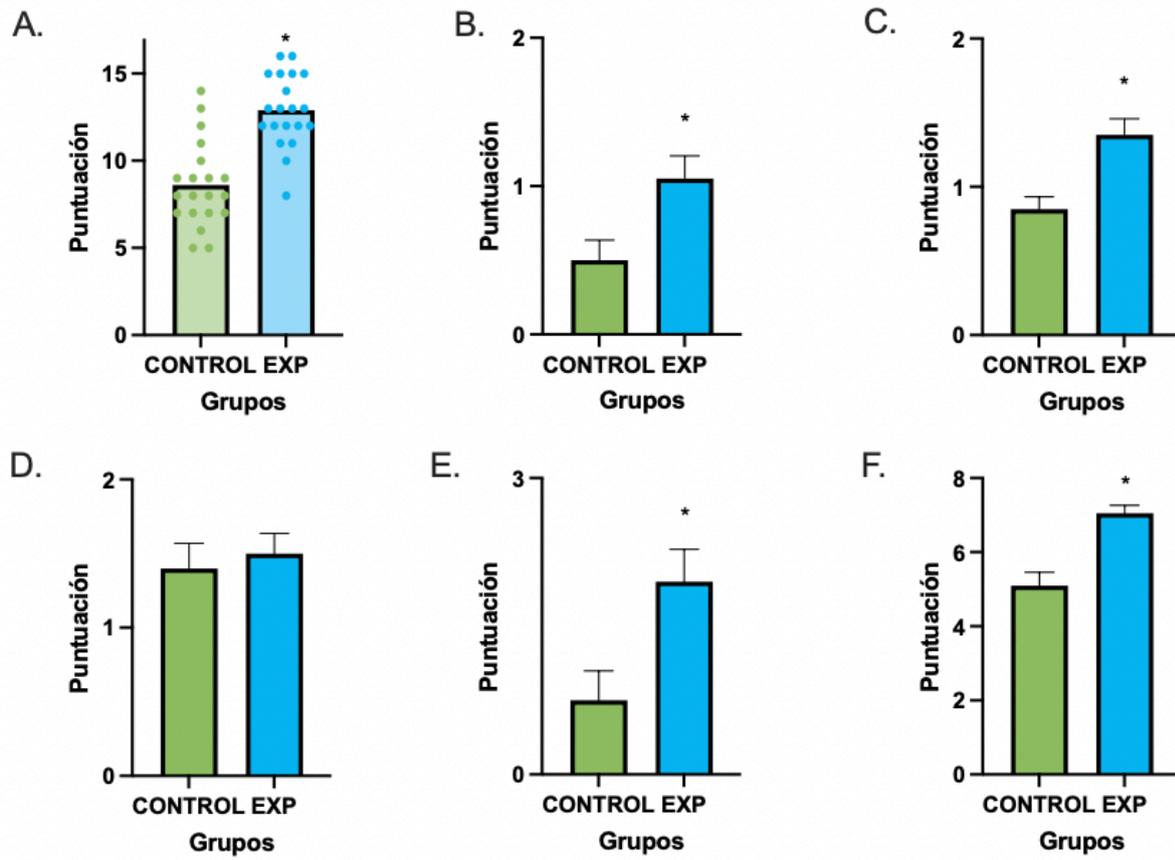


Figure 2. Scores obtained by both groups (control and experimental with simulator) in the evaluation of endodontic access cavity preparation on teeth mounted in a plaster model.

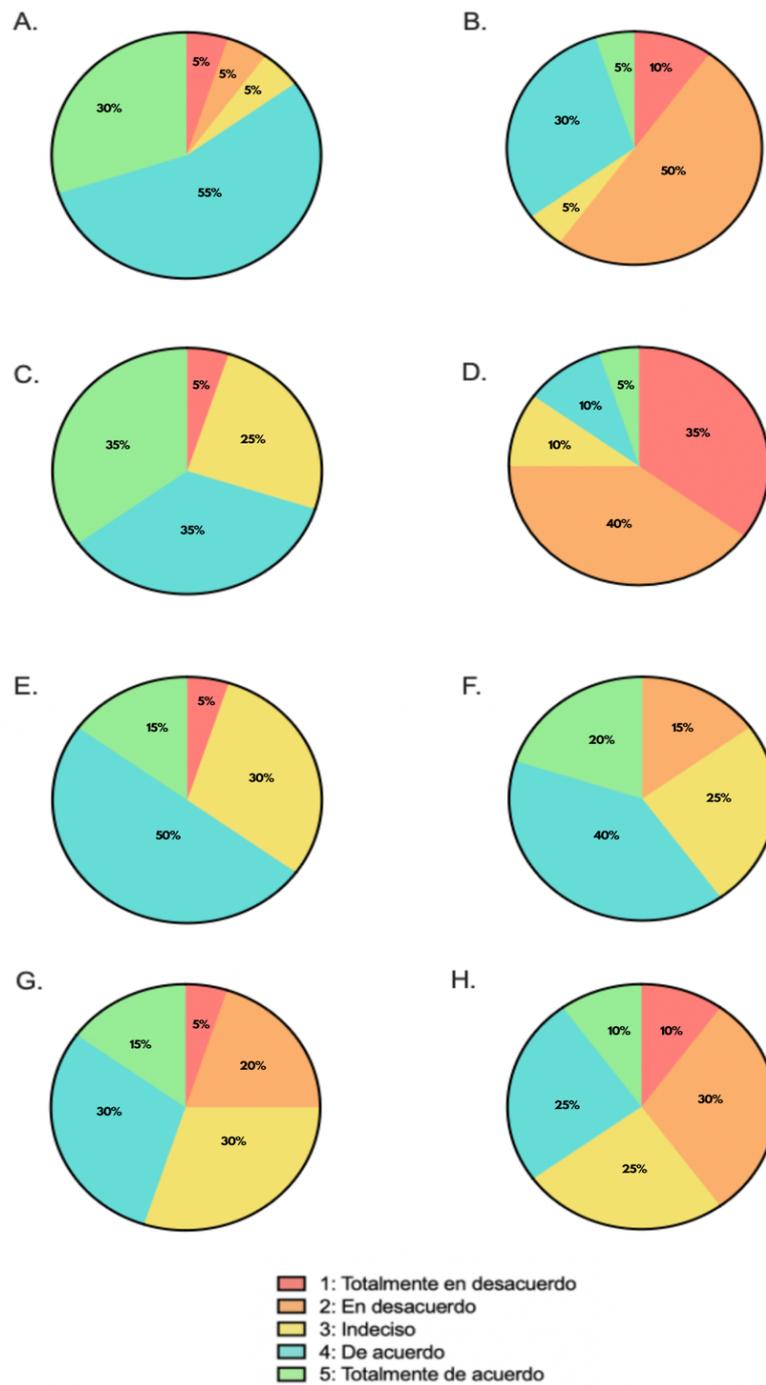


Figure 3. Results of the satisfaction survey following the use of the Simodont® haptic simulator.

Table 3. *Simulator Usage Time.*

	Total Time	Pressure Time
Mean (seconds)	252,7	41
Standard Error of the Mean (SEM)	33,45	2,98

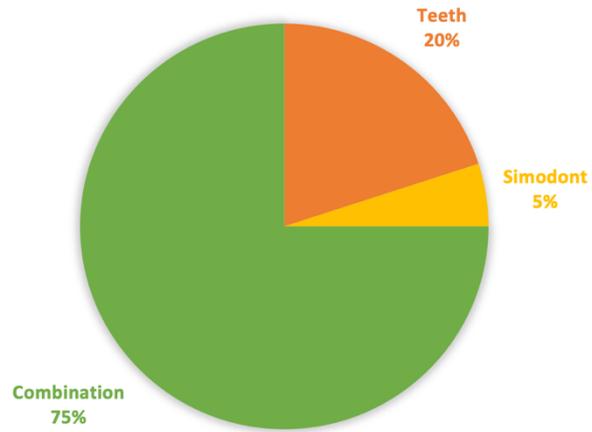


Figure 4. Results of the satisfaction survey following the use of the Simodont haptic simulator in response to the question.