



**Universidad
Europea** VALENCIA

Postgrado en ODONTOPEDIATRÍA

**Simulación Háptica, valoración de su impacto pedagógico.
Una revisión sistemática.**

Trabajo Fin de Máster

Curso 2024-25

Alumna: Covadonga Serra

Tutor: Irene Redondo

Campus de Valencia

Paseo de la Alameda, 7 46010 Valencia [www.
universidadeuropea.com](http://www.universidadeuropea.com)

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	3
3. PALABRAS CLAVES	5
4. INTRODUCCIÓN.....	7
4.1 Revisión de la literatura.....	7
5. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS	16
6. OBJETIVOS	18
7. MATERIAL Y MÉTODO.....	19
7.1 Identificación de la pregunta PICO.....	19
7.2 Criterios de elegibilidad.....	19
7.3 Fuentes de información y estrategia de la búsqueda de datos..	20
7.4 Proceso de selección de estudios.....	21
7.5 Extracción de datos.....	22
7.6 Valoración de la calidad.....	22
7.7 Síntesis de datos.....	23
8. RESULTADOS	24
8.1 Selección de estudios. Flow chart.....	24
8.2 Análisis de las características de los estudios revisados... ..	28
8.3 Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo	35
8.4 Síntesis de los resultados.....	38
9. DISCUSIÓN	51
10. CONCLUSIONES.....	56
11. REFERENCIAS	
BIBLIOGRÁFICAS.....	57
12. ANEXOS.....	
.....	

1. RESUMEN

Introducción: La enseñanza odontológica preclínica requiere desarrollar habilidades motoras finas mediante entrenamiento práctico. En los últimos años, los simuladores hápticos se han incorporado como herramienta innovadora para complementar la formación tradicional con fantomas, permitiendo a los estudiantes practicar en entornos virtuales con retroalimentación táctil.

Material y método: Se realizó una búsqueda electrónica de artículos en tres bases de datos: PubMed, Scopus y Web of Science. La ecuación de búsqueda empleó los términos MeSH: “Dental simulator” y “Student”. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, y la calidad metodológica se evaluó mediante la escala Newcastle-Ottawa y la herramienta JBI Critical Appraisal.

Resultados: Se seleccionaron diez artículos. Siete no hallaron diferencias significativas en la destreza manual entre el entrenamiento con simuladores y métodos tradicionales, dos mostraron resultados favorables a los simuladores hápticos, y uno favoreció los dientes de resina. Respecto a la satisfacción del alumnado, la mayoría valoró positivamente la simulación háptica como complemento, destacando su utilidad para practicar en un entorno seguro y repetible, aunque señalaron limitaciones en el realismo táctil.

Conclusión: La simulación háptica es una herramienta complementaria útil en la formación preclínica en odontología, pero no sustituye al entrenamiento tradicional con fantomas.

2. ABSTRACT

Introduction: Preclinical dental education requires the development of fine motor skills through practical training. In recent years, haptic simulators have emerged as an innovative tool to complement traditional phantom-based training, allowing students to practice in virtual environments with tactile feedback.

Material and Methods: An electronic search of articles was conducted in three databases: Pubmed, Scopus, and Web of Science. The search equation included the MeSH terms: “Dental simulator” and “Student”. Inclusion and exclusion criteria were applied, and the methodological quality was assessed using the Newcastle-Ottawa Scale and the JBI Critical Appraisal Tool.

Results: Ten articles were selected. Seven found no significant differences in manual dexterity between training with haptic simulators and traditional methods, two showed favorable results for haptic simulation, and one favored resin teeth. Regarding student satisfaction, most participants valued haptic simulation as a useful complementary tool, highlighting its safety and repeatability, although some reported limitations in tactile realism.

Conclusion: Haptic simulation is a valuable complementary tool in preclinical dental education, but it does not currently replace traditional training with phantom heads.

3. PALABRAS CLAVES

I. Simulación Háptica

II. Destreza Manual

III. Enseñanza Odontológica

IV. Satisfacción del alumnado

V. Realidad Virtual

4. INTRODUCCIÓN

4.1 Revisión de la literatura

SIMULACIÓN HAPTICA

La simulación háptica es una tecnología que permite a los usuarios interactuar con entornos virtuales a través de dispositivos que proporcionan retroalimentación táctil o de fuerza, mejorando la experiencia inmersiva al permitir sentir y manipular objetos virtuales (Giri et al., 2021; Paris et al., 2020; Rangarajan et al., 2020).

A principios de la década de 2000, las facultades de Odontología de Norteamérica y Europa comenzaron a incorporar simuladores asistidos por ordenador y realidad virtual, abriendo una nueva oportunidad para la formación odontológica.

Anteriormente, a finales de la década de 1970, la simulación de vuelo y los videojuegos comenzaron a adoptar la tecnología de realidad virtual con retroalimentación háptica avanzada, impulsados por la necesidad de lograr una experiencia más realista a través de una mejor respuesta sensorial (Perry, Suzanne et al., 2015).

La construcción de dispositivos hápticos implica la combinación de varios conceptos de diferentes corrientes como la ingeniería, la informática, la percepción humana y la física.(Giri et al., 2021) Asimismo, la tecnología háptica abarca tres áreas distintas: la háptica humana, la háptica de máquinas y la háptica de ordenadores. La háptica humana se basa en la interacción entre el tacto y el cerebro; cuando una persona entra en contacto con un objeto, se generan fuerzas que estimulan la piel, enviando señales al cerebro, que a su vez responde activando los músculos para mover la mano o el brazo. Este proceso, conocido como sistema háptico humano, depende tanto de la información táctil como de la kinestésica. En cuanto a la háptica de máquinas, esta se centra en la utilización de dispositivos que pueden replicar o sustituir el sentido del tacto humano, ya sea de manera automática o mediante interfaces y sistemas de control remoto. Sus principales funciones incluyen registrar posiciones y fuerzas de contacto del cuerpo humano, procesar estos datos y proporcionar retroalimentación visual al usuario. Por último, la háptica de ordenadores ha ido ganando importancia con el tiempo, ya que permite simular la sensación táctil de objetos virtuales a través de algoritmos y software especializado, brindando

experiencias más realistas e interactivas en entornos digitales (*What is Haptics?*; Giri et al., 2021).

Existen diversas marcas y tipos de simuladores hápticos en odontología, cada uno diseñado para mejorar la precisión y destreza de los estudiantes y profesionales mediante tecnologías avanzadas que permiten una experiencia de aprendizaje más realista y efectiva.

En 2006, se introdujo Periosim, el primer simulador dental que utilizó realidad virtual y tecnología háptica para capacitar a los estudiantes en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades periodontales. Este simulador fue desarrollado en la Universidad de Illinois en Chicago (Coro-Montanet et al., 2022; Kolesnikov et al.). Está diseñado para entrenar y evaluar a estudiantes de odontología, higiene dental y profesionales en el sondaje periodontal y la identificación de caries de mancha blanca. Su componente principal es un dispositivo háptico PHANTOM Desktop de SensAble Technologies. Además, se emplea un ordenador compacto con un procesador Intel Xeon 3GHz y una tarjeta gráfica de alto rendimiento. Para visualizar las imágenes en 3D, se utiliza un monitor de alta calidad con gafas estereoscópicas Crystal Eyes y una estación de trabajo Crystal Eyes de Stereo Graphics. Un panel adicional se usa para mostrar las instrucciones y realizar tareas específicas. El simulador incluye varios bloques funcionales, como la selección del modelo, los gráficos y el control háptico, además de funciones para grabar y reproducir. En la pantalla principal, el usuario puede ver un modelo 3D completo de una sección bucal junto con un panel de control que permite navegar entre las opciones para visualizar la encía, los dientes y el hueso, y ajustar su transparencia usando una barra deslizante (Kolesnikov et al.).

El SDT® (Simodont Dental Trainer) es un simulador dental de realidad virtual tridimensional (3D) desarrollado por Moog Industrial Group y el Centro Académico de Odontología de Ámsterdam (ACTA). Este sistema incluye dos ordenadores, uno gráfico y otro de panel, y utiliza dos proyectores para generar imágenes en 3D, visualizadas mediante gafas especializadas. Para simular una experiencia clínica real, cuenta con un cardán para la pieza de mano y el espejo, así como una zona de reposo para los dedos en forma de herradura, mostrando los ejercicios en una pantalla 3D de alta resolución. Además, incorpora un ratón espacial (joystick) para mover los objetos en la pantalla, facilitando la visualización desde diferentes ángulos, y una pantalla táctil para la selección de instrumentos, junto con un pedal de velocidad variable que simula un sillón dental. Desarrollado inicialmente en 2009, el Simodont Dental Trainer se ha

consolidado como una herramienta clave para la formación preclínica de estudiantes de odontología, permitiendo el aprendizaje de técnicas como el reflejo de espejo, eliminación de caries, restauración de cavidades, preparación de coronas y más. Además, el sistema cuenta con un sensor de fuerza para una sensación realista y ofrece la posibilidad de seleccionar perfiles de pacientes virtuales, realizar diagnósticos, planificar tratamientos y evaluar el desempeño del estudiante (Bakr et al., 2024; Coro-Montanet et al., 2022; De Revisión et al., 2021). Una de las características más notables del sistema es que se incluye una radiografía del diente en tratamiento para cada caso, lo que permite a los estudiantes realizar un diagnóstico asistido, considerando tanto la apariencia visual de los dientes como las radiografías (Li et al., 2021).

No obstante, el sistema también presenta algunas limitaciones. Para ver en 3D es necesario usar gafas especiales, y el exceso de entrenamiento en un solo diente no genera una experiencia de manipulación completamente realista. Además, el proceso de formación para la preparación de coronas se enfoca solo en una mandíbula, lo que no reproduce fielmente el espacio restringido de la boca. También es incapaz de enseñar a los estudiantes sobre las posturas correctas, ya que las posiciones durante el entrenamiento son fijas, y para cambiar los ángulos visuales se debe rotar manualmente un botón (Li et al., 2021).

DentSim™ fue uno de los primeros sistemas avanzados de simulación dental informatizada, desarrollado en 1993, que permite realizar diversos procedimientos de restauración mientras se recibe retroalimentación digital. Combina el aprendizaje basado en maniquíes con imágenes 3D, información auditiva y visual en tiempo real, lo que mejora la formación de los estudiantes. Utiliza tecnología de infrarrojos para proyectar la preparación dental del estudiante en una pantalla para su evaluación. Además, proporciona retroalimentación instantánea sobre la postura, la posición de las manos y el rendimiento, mejorando el realismo y facilitando la transferencia de habilidades a otros entornos de aprendizaje (Baechle et al., 2022; De Revisión et al., 2021; Li et al., 2021).

Ejemplos como el SIMROID y el DENTAROID, robots humanoides desarrollados en Japón, permiten entrenar habilidades clínicas y comunicativas, con reacciones realistas como movimiento, expresión facial y sensibilidad al dolor. Estos sistemas, junto con los simuladores anteriormente mencionados mejoran la formación

dental al proporcionar retroalimentación en tiempo real y optimizar el aprendizaje práctico (De Revisión et al., 2021).

ENSEÑANZA PRÁCTICA EN ODONTOLOGÍA

La enseñanza odontológica de pregrado requiere una sólida formación teórica y práctica en la etapa preclínica. Durante este periodo, en la facultad de Odontología, los estudiantes adquieren habilidades motoras finas altamente especializadas a través de un entrenamiento intensivo que utiliza simuladores dentales como herramienta principal de aprendizaje (Al-Saud, 2021).

La primera escuela de cirugía dental se estableció en Baltimore, Estados Unidos, en 1840, y sirvió como referencia para la creación de otras instituciones de odontología en todo el mundo. (De Revisión et al., 2021; Perry, Suzanne et al., 2015) Desde sus inicios, la odontología, como disciplina práctica, ha utilizado la simulación como un componente fundamental en la formación clínica de los estudiantes. En las primeras etapas de la educación odontológica, se trabajaba con dientes reales sobre una mesa antes de que se incorporara el uso de cabezas de maniquí (Perry, Suzanne et al., 2015).

En el siglo XIX, uno de los principales desafíos era la escasez de dientes humanos naturales para la práctica, ya que eran muy demandados para la fabricación de prótesis dentales (Perry, Suzanne et al., 2015). Estas prótesis se elaboraban con piezas extraídas de víctimas de guerra, como los caídos en la batalla de Waterloo (De Revisión et al., 2021). Esta limitación llevó a la introducción de dientes de resina, cuyo uso se hizo más frecuente hacia finales del siglo XX, cuando la educación dental avanzaba rápidamente y la disponibilidad de dientes reales seguía siendo reducida (Perry, Suzanne et al., 2015).

Para mejorar la formación de los estudiantes, en 1894, Oswald Fergus desarrolló el primer simulador tipo fantoma, compuesto por una varilla de metal y dos mandíbulas de bronce. Ese mismo año, comenzaron a implementarse los primeros simuladores de tipo fantoma, lo que representó un avance significativo en la educación dental. Desde entonces, estos dispositivos han evolucionado hasta convertirse en una herramienta fundamental, permitiendo a los estudiantes practicar en un entorno más realista y seguro (De Revisión et al., 2021; Perry, Suzanne et al., 2015). Este tipo de

simulador ofrece diversas ventajas, entre ellas, la mejora en la postura y ergonomía durante la práctica, el desarrollo de habilidades para manejar correctamente la pieza de mano y el espejo, el perfeccionamiento de la motricidad fina y una mayor prevención de infecciones (De Revisión et al., 2021).

En un estudio realizado por *Grandez Gomez* en el 2021, se revisó la historia de los simuladores en la educación odontológica. El desarrollo de los simuladores dentales se dividió en cuatro etapas, la primera corresponde a la aparición de los simuladores tipo fantoma en 1984. La segunda abarca la introducción de los simuladores de realidad virtual en 1990 y los hápticos en el 2000. En la tercera etapa, en 2007, se incorporaron los simuladores junto con la robótica. Finalmente, la cuarta fase se refiere a los simuladores modernos, utilizados desde 2015 hasta la actualidad. Estos últimos incluyen realidad aumentada, inteligencia artificial, mayor precisión háptica y entornos de simulación más realistas. (De Revisión et al., 2021).

Entre los simuladores tipo fantoma actuales destacan CLINSIM y Nissin (Abe et al., 2018; De Revisión et al., 2021). CLINSIM reproduce la parte superior del cuerpo en un sillón dental, permitiendo prácticas similares a la atención real (Abe et al., 2018). Además, cuenta con un articulador para simular los movimientos mandibulares y una unidad dental equipada con lámpara, piezas de mano de distintas velocidades, aspiración y jeringa triple. Por otro lado, los simuladores Nissin, desarrollados por una empresa japonesa desde 1958, ofrecen una experiencia realista, mejoran las habilidades clínicas y promueven la bioseguridad en la formación odontológica (Abe et al., 2018; De Revisión et al., 2021).

EVOLUCIÓN DE LA ENSEÑANZA PRÁCTICA HACIA LOS SIMULADORES

La simulación con realidad virtual está ganando un lugar destacado en los programas de estudio en odontología, ya que ofrece una práctica autónoma, a un ritmo personalizado, así como la oportunidad de repetir tratamientos y casos estandarizados (Al-Saud, 2021; Perry, S. et al., 2017).

En un estudio de *Serrano et al., 2023* (Serrano et al., 2023) se contactó por correo electrónico con 36 facultades de Odontología de Europa, Asia, Australia, Norteamérica y Sudamérica que utilizaban el Simodont Dental Trainer, para identificar

al profesorado encargado de su implementación en el programa de estudios. Los resultados mostraron que su uso principal era en la formación preclínica (92,6%), seguido de la investigación educativa (40,7%) y la formación clínica (33,3%). Los módulos más utilizados fueron odontología conservadora (92,6%) y destreza manual (85,2%), junto con restauración indirecta (70,4%), visión indirecta con espejo (63,0%), procedimientos endodónticos (44,4%) y odontopediatría (33,3%).

En diversas especialidades odontológicas, se ha comprobado que los modelos virtuales mejoran las habilidades de aprendizaje en el diagnóstico y tratamiento periodontal, el acceso endodóntico, la cirugía oral y el entrenamiento en bloqueo del nervio alveolar inferior, este último eficaz en aspectos clínicos como la profundidad, la localización anatómica de la punción y la resistencia a la progresión gracias a la simulación de resistencia tisular virtual.(Moussa et al., 2021)

En odontología conservadora, la simulación háptica resulta especialmente relevante debido a la complejidad táctil de las habilidades motoras necesarias, al permitir experimentar la resistencia de distintos tejidos (esmalte, dentina, pulpa, restauraciones y caries) con variaciones en mineralización y densidad (Rodrigues, Pedro et al., 2022).

La formación odontológica complementada con realidad virtual-háptica presenta una notable diversidad en cuanto a sus objetivos, estructura, procesos y contenido en diferentes regiones del mundo. Para abordar los desafíos que esta tecnología plantea en la enseñanza, la investigación y la práctica dental, es esencial fomentar la colaboración internacional. En noviembre de 2023, tuvo lugar la primera conferencia dedicada al uso de la realidad virtual-háptica en la educación odontológica, el VR-Haptic Thinkers Meetup. El éxito de este evento y las redes generadas dieron lugar, en febrero de 2024, a la creación del Consorcio Internacional de Pensadores en RV-Háptica. Este consorcio, integrado por miembros de organizaciones como la American Dental Education Association (ADEA), la Association of Dental Education in Europe (ADEE) y otras entidades nacionales e internacionales de renombre en educación e investigación en salud dental, se ha enfocado en cinco objetivos clave: impulsar investigaciones educativas innovadoras a nivel global, apoyar el desarrollo de áreas específicas relacionadas con la RV-háptica, promover la integración de esta tecnología en los planes de estudio, compartir datos a través de reuniones híbridas gratuitas, y fomentar el diálogo entre el mundo académico y la industria (Felszeghy et al., 2024).

En comparación con los métodos tradicionales de formación basados en fantasmas, los simuladores dentales presentan numerosas ventajas que mejoran el entorno de aprendizaje de los estudiantes. Los beneficios de la realidad virtual combinada con la tecnología háptica en la educación odontológica son amplios, proporcionando valiosas ventajas tanto a estudiantes como a profesionales, docentes y pacientes. Este tipo de simulación facilita el cierre de la brecha entre el aprendizaje teórico, la formación preclínica y la práctica clínica, ofreciendo una experiencia más completa y realista. Además, los docentes pueden guiar a los estudiantes en la realización de ejercicios en un entorno digital seguro, estandarizado y sin los riesgos asociados a la práctica convencional (Akifusa et al., 2023). Los estudiantes experimentan menos ansiedad al practicar, lo que mejora su confianza y motivación (Baechle et al., 2022; Felszeghy et al., 2024; Hamama et al., 2024). El uso de la simulación háptica parece llevar al estudiante más arriba en la curva de aprendizaje de habilidades motoras cuando se lleva a la realidad, lo que facilita la transición al entorno clínico (Perry, S. et al., 2017).

La tecnología también permite a los estudiantes practicar de manera independiente, a su propio ritmo y fuera del horario lectivo. Más aún, los simuladores pueden diferenciar los niveles de competencia y predecir el desempeño de cada alumno (Baechle et al., 2022). Así, los profesores pueden dedicar más tiempo y atención a los estudiantes que necesitan más apoyo.

Para procedimientos clínicos específicos, la simulación háptica ofrece la posibilidad de entrenar en situaciones clínicas de manera realista. Esto se logra mediante el escaneo y la carga en el sistema de casos de pacientes únicos, lo que permite al estudiante practicar antes de enfrentarse a un caso clínico real (Tricio et al., 2022). A su vez, muchas facultades de odontología de todo el mundo tienen cada vez más dificultades para conseguir pacientes voluntarios para la formación de pregrado. En conjunto, la simulación háptica con RV no solo mejora la calidad del aprendizaje, sino que también optimiza el uso del tiempo y los recursos educativos, fomentando un entorno de formación más inclusivo y eficiente (Felszeghy et al., 2024).

A pesar de las numerosas ventajas que los simuladores hápticos ofrecen en la formación odontológica, también presentan ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta para optimizar su efectividad en el aprendizaje. Una desventaja de los simuladores hápticos es que la visualización en 3D no es lo suficientemente clara y la resolución es baja. Las pantallas 3D actuales de los simuladores dentales son

limitadas, ya que la mayoría requieren el uso de gafas 3D que pueden alterar el color de los tejidos orales y causar efectos negativos como vértigo y náuseas. Para mejorar la inmersión y la exactitud, sería necesario contar con una mayor resolución sin depender de las gafas 3D (Baechle et al., 2022). En los simuladores hápticos la retroalimentación de fuerza y la simulación de la deformación de los tejidos blandos no son lo suficientemente realistas. En una simulación del entorno oral, que incluye la deformación de la lengua y el tejido facial, cuando un instrumento quirúrgico simulado entra en contacto con un objeto deformable, este debería deformarse de manera acorde, pero los simuladores actuales no logran replicar con precisión esta interacción (Baechle et al., 2022).

Aún persisten obstáculos importantes, como las dificultades financieras, la integración en los planes de estudio existentes y el escepticismo de algunos educadores argumentando que la simulación háptica no logra replicar por completo el realismo y los matices táctiles de trabajar con materiales y pacientes reales. En situaciones clínicas complejas o impredecibles. También se plantea el coste y la accesibilidad de los sistemas hápticos, especialmente en instituciones o áreas con menos recursos. A pesar de estos desafíos, es probable que con el tiempo se mejore tanto la precisión táctil como la rentabilidad, lo que podría reducir o incluso superar muchas de estas limitaciones (Felszeghy et al., 2024).

Para promover y consolidar de manera efectiva el uso de la tecnología de realidad virtual-háptica en la educación odontológica, es fundamental que educadores, instituciones e investigadores implementen diversas estrategias clave. Una de las primeras estrategias es el diseño de planes de estudio y la creación de programas piloto. Estos planes de estudio deben integrar la formación en simulación háptica con los métodos tradicionales, asegurando un enfoque que combine las ventajas de ambos. Para que esto se lleve a cabo es primordial la formación y el apoyo al profesorado. Organizar regularmente sesiones de formación para el profesorado sobre la implementación y uso de la tecnología destacando sus beneficios (Felszeghy et al., 2024).

Un enfoque estratégico adicional es lograr la estandarización de los métodos de evaluación. La eficacia de los sistemas de realidad virtual se puede evaluar mediante métodos cualitativos y cuantitativos, utilizando principalmente cuestionarios y estudios comparativos. Los cuestionarios exploran la experiencia subjetiva de los usuarios, identificando áreas de mejora para futuras versiones del simulador. Están dirigidos

tanto a formadores, quienes evalúan el dispositivo como herramienta de enseñanza (su impacto en la eficacia educativa y la reducción de costes), como a estudiantes, que lo valoran en función de su utilidad para el aprendizaje y la creación de un entorno formativo adecuado. El contenido de los cuestionarios suele centrarse en dos aspectos: la evaluación del software y hardware (como la retroalimentación háptica, el modelado 3D, la facilidad de uso, el realismo de la simulación y el diseño) y el impacto educativo percibido por los usuarios (Baechle et al., 2022).

Moussa et al. realizaron una revisión sistemática que tenía como objetivo determinar si las tecnologías virtuales tienen efectos positivos en los resultados de la educación dental y explorar las actitudes de los estudiantes de odontología y los educadores hacia estas tecnologías. Entre los estudios de odontología conservadora en los que los alumnos realizaban cavidades, los criterios más evaluados fueron los siguientes: el % de caries eliminada, tejido sano restante, exposición pulpar, tiempo de fresado, integridad del diente adyacente, contorno de la cavidad, movimiento mano-ojo-dedo, puntuación de precisión, profundidad y anchura de la cavidad preparada y, por último, integridad de la cresta marginal (Moussa et al., 2021).

Wang et al analizaron los métodos de evaluación de los sistemas de formación de realidad virtual integrados con retroalimentación multisensorial y llegaron a la conclusión de que, aunque existen diversos métodos de evaluación aplicados por los desarrolladores de simuladores dentales, aún no hay un estándar universalmente aceptado. Se requieren más investigaciones que comparen la efectividad de estos enfoques, especialmente entre simuladores tradicionales y aquellos basados en realidad virtual (Wang et al., 2015).

5. JUSTIFICACIÓN E HIPÓTESIS

5.1 Justificación

La formación de competencias clínicas en odontología enfrenta desafíos significativos. El uso de simuladores hápticos emerge como una herramienta innovadora que permite mejorar la destreza manual de los estudiantes en entornos controlados y seguros.

Hoy en día, algunas universidades ya disponen de sistemas de realidad virtual 3D háptica, contribuyendo significativamente a la mejora de los sistemas de enseñanza y asegurando una formación de alta calidad en los estudiantes. Las nuevas generaciones parecen demostrar una rápida adaptación y asimilación del uso de estas unidades de simulación, lo que potencia su efectividad en el proceso de aprendizaje.

Sin embargo, dado que el uso de simuladores es una tecnología relativamente nueva y aún queda mucho por desarrollar en este campo, es fundamental estudiar el tema en profundidad. La investigación continua permitirá comprender mejor su impacto en la formación de los estudiantes, optimizar su uso y fomentar mejoras en los diseños pedagógicos y tecnológicos.

Se justifica la realización de este estudio ya que cumple con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (*agenda 2030*). El objetivo número 4, Educación de calidad, el uso de simuladores mejora la calidad del aprendizaje práctico, promoviendo el acceso a métodos de enseñanza innovadores y eficaces. Por otro lado, los simuladores contribuyen a la formación de profesionales de la salud más competentes, mejorando la calidad de la atención odontológica. Más aún, reduce los riesgos de los pacientes ya que los estudiantes practican previamente en estos simuladores y también permite que los profesionales en ejercicio actualicen sus habilidades de manera segura. Estas ideas están relacionadas con el objetivo número 3, salud y bienestar. El objetivo número 9 tiene por título, Industria, Innovación e Infraestructura. Añadiendo el uso de simuladores hápticos a los programas de estudio impulsamos el desarrollo de infraestructuras educativas sostenibles basadas en tecnología y fomentamos la colaboración entre la educación, salud y la industria tecnológica para el desarrollo de soluciones innovadoras. Más aún, el uso de estos dispositivos reduce el uso de materiales desechables y optimiza los recursos educativos, promoviendo la sostenibilidad como hace el objetivo nº12 que tiene por título: Producción y Consumo Responsables.

5.2 Hipótesis

Hipótesis nula (H0-1):

El uso de simuladores hápticos en la formación de estudiantes de odontología no tiene un impacto significativo en la mejora de sus competencias clínicas ni en la calidad del aprendizaje en comparación con los métodos tradicionales.

Hipótesis nula (H0-2):

El nivel de satisfacción de los estudiantes con el uso de simuladores hápticos no difiere significativamente del nivel de satisfacción con los métodos de enseñanza tradicionales.

Hipótesis alternativa (H1-1):

El uso de simuladores hápticos en la formación de estudiantes de odontología tiene un impacto positivo y significativo en la mejora de sus competencias clínicas y en la calidad del aprendizaje en comparación con los métodos tradicionales.

Hipótesis alternativa (H1-2):

El nivel de satisfacción de los estudiantes es significativamente mayor con el uso de simuladores hápticos en comparación con los métodos de enseñanza tradicionales.

6. OBJETIVOS

Objetivo General:

1. Evaluar la destreza manual en alumnos de Odontología tras entrenar procedimientos odontológicos con simulador.

Objetivo Específico:

- 1) Investigar el grado de satisfacción de los alumnos con la inclusión de la simulación en su aprendizaje.

7. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1. Identificación de la pregunta PICO

Esta revisión sistemática se ejecutó de acuerdo con las pautas establecidas en la Guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021)

Se han utilizado las bases de datos Medline-Pubmed (United States National Library of Medicine), Scopus y Web of Science, estableciendo un periodo de búsqueda desde enero de 2015 hasta enero 2025 como fecha de corte para realizar una búsqueda en la literatura científica de artículos que respondan a la siguiente pregunta:

¿Los alumnos de Odontología presentan una mejor destreza manual al entrenar procedimientos odontológicos con simuladores hápticos?

Esta pregunta se ha establecido de acuerdo con la pregunta estructurada PICO, de la siguiente manera:

- P (población): Alumno de Grado en Odontología
- I (intervención): Entrenamiento con simulación Háptica
- C (comparación): Entrenamiento convencional con fantomas dentales
- O (resultados):
 - O₁: Mejores niveles de destreza manual medido utilizando rúbricas estandarizadas o medido con análisis de parámetros.
 - O₂: Grado de satisfacción de los alumnos con la inclusión de la simulación medido mediante cuestionarios.
- S (estudios): estudios experimentales, estudios observacionales de cohortes, transversales y estudios de casos y controles.

7.2. Criterios de elegibilidad

Criterios de inclusión:

- Artículos en inglés, y en español
- Artículos de los últimos 10 años
- Estudiantes de Odontología

- Estudios clínicos en los que se realicen ejercicios de odontología conservadora en simulador
- Estudios que hagan uso de cuestionarios, rubricas estandarizadas o análisis automatizado del simulador para evaluar el proceso y la percepción del aprendizaje, así como el grado de satisfacción de los alumnos. Esto incluye evaluaciones del progreso en habilidades clínicas, análisis comparativos de desempeño, y la autoevaluación de los estudiantes

Criterios de exclusión:

- Revisiones bibliográficas, metaanálisis, estudios de casos clínicos
- Estudios que no utilicen simulador
- Estudios del área de medicina
- Estudios de otras ramas de odontología que no sean odontología conservadora

7.3. Fuente de información y estrategia de la búsqueda de datos

Se realizó la búsqueda en marzo de 2025, los artículos fueron buscados en tres bases de datos diferentes: Pubmed, Scopus, y Web Of Science.

Con respecto a la ecuación de búsqueda, los términos utilizados fueron: “Dental Simulator” y “Student”. Asimismo, el operador booleano utilizado fue AND. Consiguiendo la siguiente ecuación de búsqueda: (Dental simulator) AND (Student [MeSH Terms]) (("dental health services"[MeSH Terms] OR ("dental"[All Fields] AND "health"[All Fields] AND "services"[All Fields]) OR "dental health services"[All Fields] OR "dental"[All Fields] OR "dentally"[All Fields] OR "dentals"[All Fields]) AND ("computer simulation"[MeSH Terms] OR ("computer"[All Fields] AND "simulation"[All Fields]) OR "computer simulation"[All Fields] OR "simulation"[All Fields] OR "simul"[All Fields] OR "simulate composite resin"[Supplementary Concept] OR "simulate composite resin"[All Fields] OR "simulate"[All Fields] OR "simulated"[All Fields] OR "simulating"[All Fields] OR "simulates"[All Fields] OR "simulation s"[All Fields] OR "simulational"[All Fields] OR "simulations"[All Fields] OR "simulative"[All Fields] OR "simulator"[All Fields] OR "simulator s"[All Fields] OR "simulators"[All Fields]) AND ("student s"[All Fields] OR "students"[MeSH Terms] OR "students"[All Fields] OR "student"[All Fields] OR "students s"[All Fields])) AND ((y_10[Filter]) AND (ffrft[Filter]))

Translations

DENTAL: "dental health services"[MeSH Terms] OR ("dental"[All Fields] AND "health"[All Fields] AND "services"[All Fields]) OR "dental health services"[All Fields] OR "dental"[All Fields] OR "dentally"[All Fields] OR "dentals"[All Fields]

SIMULATOR: "computer simulation"[MeSH Terms] OR ("computer"[All Fields] AND "simulation"[All Fields]) OR "computer simulation"[All Fields] OR "simulation"[All Fields] OR "simul"[All Fields] OR "simulate composite resin"[Supplementary Concept] OR "simulate composite resin"[All Fields] OR "simulate"[All Fields] OR "simulated"[All Fields] OR "simulating"[All Fields] OR "simulates"[All Fields] OR "simulation's"[All Fields] OR "simulational"[All Fields] OR "simulations"[All Fields] OR "simulative"[All Fields] OR "simulator"[All Fields] OR "simulator's"[All Fields] OR "simulators"[All Fields]

STUDENT: "student's"[All Fields] OR "students"[MeSH Terms] OR "students"[All Fields] OR "student"[All Fields] OR "students's"[All Fields]

7.4. Proceso de selección de estudios

El proceso de selección de los estudios fue llevado a cabo por dos investigadores (CS, IR). La selección se basó en las estrategias de búsqueda aplicadas en las bases de datos: Pubmed, Scopus y Web Of Science, considerando únicamente aquellos estudios que cumplían con los filtros establecidos.

En la primera fase, se eliminaron los artículos duplicados en las bases de datos. Posteriormente, se realizó una revisión preliminar del título y el resumen donde se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión. Finalmente, se analizaron los textos completos de los estudios que cumplían los criterios establecidos y se recopilaron los datos esenciales para el estudio.

Tras realizar una búsqueda exhaustiva en las tres bases de datos seleccionadas, se identificaron un total de 1,029 registros. Luego de eliminar los duplicados, se obtuvo un total final de 837 artículos.

Seguidamente, se llevó a cabo la revisión de los títulos y resúmenes de todos los artículos. Como resultado de esta etapa, se seleccionaron 25 artículos que cumplían con los criterios previamente establecidos, procediéndose entonces a la lectura completa de los mismos.

Posteriormente, se excluyeron 15 artículos. Finalmente, se incluyeron en el estudio un total de 10 artículos.

7.5 Extracción de datos

Una vez seleccionados los estudios incluidos en el análisis, se procedió a la extracción sistemática de datos con el objetivo de recopilar información relevante. Para ello, se establecieron una serie de variables clave que permitieron estructurar la información de manera homogénea y facilitar su posterior análisis.

Se clasificaron los datos más relevantes de cada estudio: el nombre del autor o autores, el año de publicación, revista de publicación, tipo de estudio, tamaño muestral, la edad de la muestra, procedencia de la muestra, forma de medición de la destreza manual, forma de medición de la curva de aprendizaje, forma de medición de la satisfacción de los alumnos, análisis estadístico, resultados, y conclusiones.

La organización de los datos se realizó utilizando hojas de cálculo de Microsoft Excel.

7.6 Valoración de la calidad

Se realizó el análisis de calidad siguiendo la escala de New Castle-Ottawa para nueve estudios y para el último estudio se utilizó la escala JBI Critical Appraisal Tools.

En cuanto a la escala Newcastle-Ottawa, evalúa tres dominios fundamentales: selección de la muestra, comparabilidad y medición de resultados o exposición. Cada ítem puede obtener una estrella si cumple los criterios de calidad. A mayor número de estrellas, mayor calidad metodológica. Para estudios transversales, se utilizó una adaptación reconocida de esta escala. Se clasificó de bajo riesgo de sesgo aquellos con una puntuación superior a 6 estrellas, y se consideró de alto riesgo de sesgo aquellas publicaciones con 6 o menos estrellas.

Por otro lado, la herramienta JBI Critical Appraisal Tools, está compuesta por listas de verificación específicas según el tipo de estudio. En este caso, utilizamos la correspondiente a estudios quasi-experimentales. Cada lista plantea preguntas que ayudan a identificar posibles sesgos y limitaciones del diseño del estudio. Se plantea si hubo grupo control, si las mediciones fueron confiables o si se utilizó un análisis estadístico adecuado. Las respuestas a cada ítem pueden ser “sí”, “no”, “no claro”, “no aplica”. Aunque no se da una puntuación numérica oficial, se puede interpretar la calidad del estudio según cuántos criterios se cumplan.

7.7 Síntesis de datos

Tras la extracción y evaluación de los datos de los estudios incluidos, se procedió a su síntesis con el objetivo de responder a la pregunta de investigación. Para ello, los datos fueron organizados de manera estructurada, permitiendo una comparación clara entre los diferentes estudios analizados.

Se ha elaborado una tabla comparativa que recoge las principales características de cada estudio analizado. En ella se incluyen el autor, el año de publicación, el título de la revista, el tipo de estudio, el tamaño muestral, la edad y procedencia de la muestra, los métodos utilizados para medir la destreza manual y la satisfacción del alumnado con el uso de la simulación háptica, el análisis estadístico empleado, los resultados obtenidos y las conclusiones.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron presentados de manera clara y estructurada en una tabla, identificando las principales tendencias y discrepancias entre los estudios.

8. RESULTADOS

8.1 Selección de estudios. Flow chart

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda en la base de datos Pubmed, obteniendo 535 artículos utilizando la siguiente fórmula de búsqueda: (Dental simulator) AND (Student [MeSH Terms])

En segundo lugar, en Scopus extrajimos 264 artículos, utilizando la siguiente fórmula de búsqueda: (Dental simulator) AND (Student).

En tercer lugar, en Web Of Science, obtuvimos 230 artículos utilizando la siguiente fórmula de búsqueda: (Dental simulator) AND (Student).

Después de llevar a cabo una búsqueda minuciosa en las tres bases de datos seleccionadas, se identificaron un total de 1029, las cuales se exportaron a RefWorks, se eliminaron los duplicados, obteniendo finalmente un total de 837 artículos.

A continuación, se procedió a la lectura de título y abstract de todos los artículos. Tras su lectura, se seleccionaron 25 artículos que cumplieron con los criterios establecidos, y se procedió a leer el texto completo de dichos artículos.

Posteriormente, fueron eliminados 15 artículos. Los motivos de exclusión de los artículos no seleccionados se recogen en la Tabla 1.

Finalmente, se incluyeron en el estudio 10 artículos.

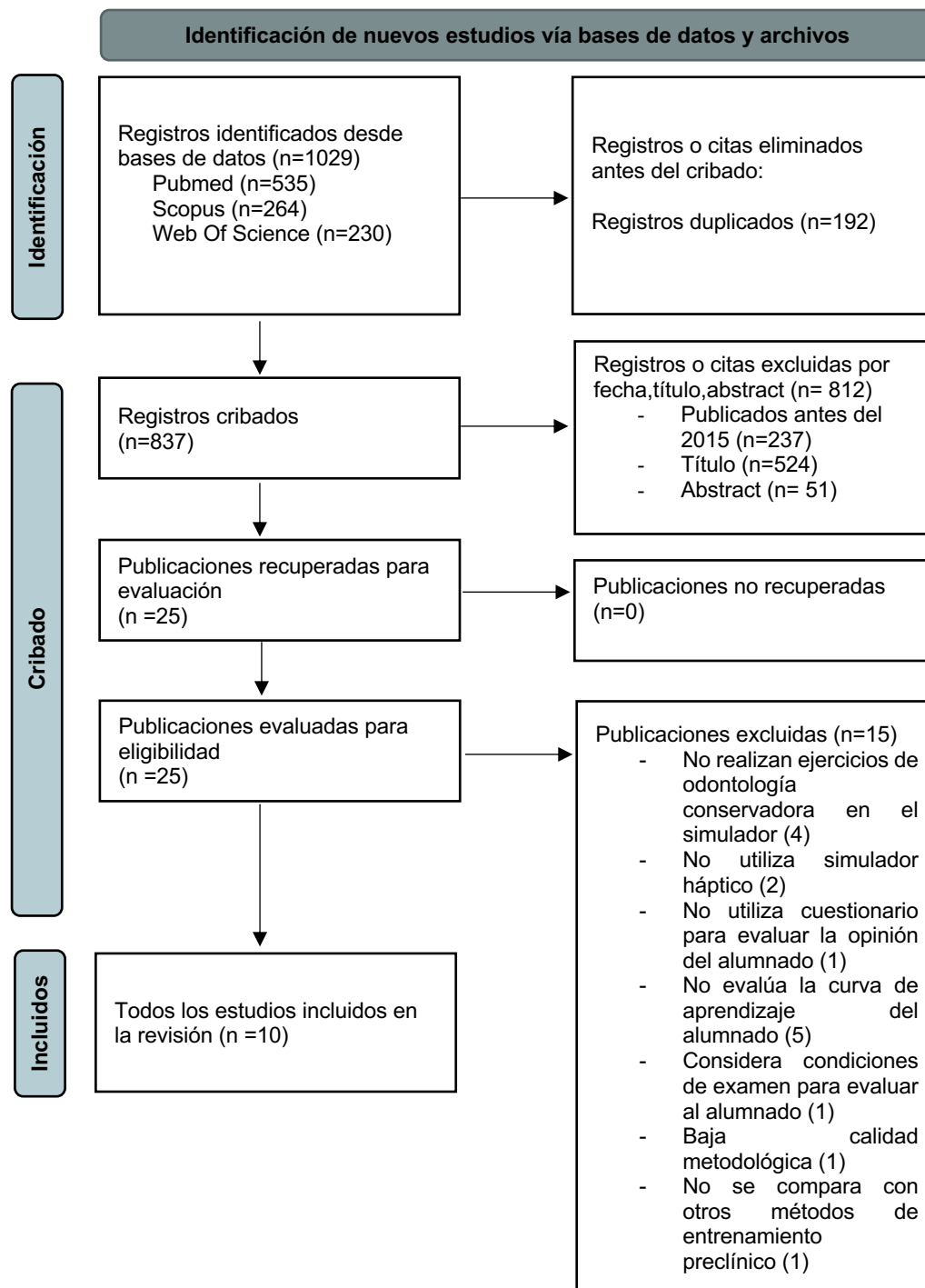


Fig. 1. Diagrama de flujo de la búsqueda y proceso de selección de la presente revisión sistemática.

Tabla 1: Artículos excluidos (y motivo de exclusión) de la revisión sistemática

Autor. Año	Revista	Motivo de exclusión
Baechle MA.2022 (Baechle et al., 2022)	Journal of Dental Education	Considera condiciones de examen para evaluar al alumnado
Aliaga I. 2020 (Aliaga et al., 2020)	European Journal of Dental Education	No realizan ejercicios de odontología conservadora en el simulador
Daud A. 2023(Daud, A. et al., 2023)	BMC Medical Education	No evalúa la curva de aprendizaje del alumnado
Jonathan D. 2021 (Jonathan et al., 2021)	European Journal of Dental Education.	No realizan ejercicios de odontología conservadora en el simulador
Daud A. 2024 (Daud, A. et al., 2024)	BMC Medical Education	No utiliza cuestionario para evaluar la opinión del alumnado
Joseph D. 2023 (Joseph et al., 2023)	European Journal of Dental Education	No realizan ejercicios de odontología conservadora en el simulador
Urbankova A. 2022(Urbankova, A. et al., 2022)	Journal of Dental Education	No realizan ejercicios de odontología conservadora en el simulador
Zafar S. 2020(Zafar et al., 2020b)	European Journal of Dental Education	No evalúa la curva de aprendizaje del alumnado
Hamama H. 2024(Hamama et al., 2024)	BMC Medical Education	No evalúa la curva de aprendizaje del alumnado
Ria S. 2018 (Ria et al., 2018)	Journal of Dental Education	No evalúa la curva de aprendizaje del alumnado
Cox MJ. 2017 (Cox et al., 2017)	IFIP Advances in Information and	No evalúa la curva de aprendizaje del alumnado

	Communication Technology	
Zou H. 2016 (Zou et al., 2016)	Journal of Dental Education	No utiliza simulador háptico
Sevbitov AV 2019 (Sevbitov et al., 2019)	Indo American J Pharm Sci	Baja calidad metodológica
Rodrigues P. 2023 (Rodrigues, P. et al., 2023)	Scientific Reports	No utiliza simulador háptico
Ziane-Casenave S 2022 (Ziane-Casenave et al., 2022)	Eur J Dent Educ	No se compara con otros métodos de entrenamiento preclínico

8.2 Análisis de las características de los estudios revisados

Autor (es)	Año	Revista	Tipo de estudio	Tamaño muestral	Procedencia de la muestra	Objetivos del estudio	Destreza manual en fantasmas de diente de resina	Medición destreza manual en Simulación háptica	Medición satisfacción alumnos con la simulación virtual	Análisis estadístico	Resultados	Conclusiones
(Koo et al., 2015)	2015	J Invest Clin Dent	Estudio de cohortes prospectivo	34	Univesidad de Harvard, Boston.	Evaluar la percepción de los alumnos de pregrado con el uso de la simulación háptica en las prácticas de pregrado.	Rúbrica con 11 criterios de evaluación para cavidad clase II y 6 criterios de evaluación para cavidad clase III.	No se considera	Cuestionario tipo Likert de 12 preguntas, sólo para el grupo que ha realizado el entrenamiento con simulación háptica.	Kolmogorov–Smirnov, t-test	Mejoras no significativas; experiencia valorada como entretenida.	Simulador no superior en resultados, pero motivador.
(Dwisap tarini et al., 2018)	2018	Operative Dentistry	Estudio de cohortes prospectivo	32	Thammasat University (Tailandia)	Comparar en fantasmas, grupos cuyo entrenamiento previo ha sido de remoción de caries selectiva en dientes naturales, el entrenamiento en diente natural extraído y otro grupo en simulación háptica.	Rúbrica con 4 criterios de evaluación y hasta un total de 26 puntos.	Criterio de evaluación aportado por el software de Visuo-Tactile Simulator	No se mide.	Wilcoxon, Mann-Whitney, t-test, TOST	Las puntuaciones en el desempeño de ambos grupos antes y después del entrenamiento, fue similar; ambos grupos mejoraron tras el entrenamiento en la misma proporción.	El entrenamiento con dientes naturales o con simulador de realidad virtual tienen efectos similares en el aprendizaje de la remoción de caries de forma mínimamente invasiva. El simulador tiene potencial para la OMI (Odontología Mínimamente Invasiva).
(Vincent et al., 2020)	2020	J Dent Educ	Estudio cohorte prospectivo	88	Facultad de Odontología de Nancy, Francia	Evaluar la contribución de la realidad virtual a el entrenamiento convencional analógico en estudiantes de	Rúbrica con 5 criterios de evaluación para la Cavidad clase II de un 46 de resina.	Criterios del Software del Simulador Virteasy	No mide la satisfacción	Friedman, Kruskal-Wallis, Dunn	Ambos grupos tuvieron curvas de aprendizaje similares, mejoraron a lo largo de las 3 sesiones; simulador mostró eficiencia.	La realidad virtual complementa la formación tradicional.

(Murbay et al., 2020)	2020	Eur J Dent Educ	Estudio transversal comparativo	32	Universidad de Hong Kong	pregrado de odontología Conocer la valía de incorporar la realidad virtual al currículo de odontología de pregrado.	Evaluación clínica y digital de la cavidad de clase I en fantoma.	No se considera la puntuación del software para el estudio.	No se mide la satisfacción	Chi cuadrado, test exacto de Fisher	El uso previo del simulador mejoró significativamente la calidad de las preparaciones realizadas por los estudiantes.	El simulador Moog mejoró el rendimiento estudiantil y puede ser útil como herramienta complementaria o de refuerzo en la enseñanza preclínica.
(Farag & Hashem , 2022)	2022	Clin. Pract.	Estudio quasi-experimental prospectivo	21	Taibah University, Arabia Saudí	Analizar la influencia de la simulación háptica en la adquisición de habilidades psicomotoras en alumnos de pregrado. Comparativa en calidad de cavidades clase I en dientes de resina antes y después del entrenamiento con simulación háptica.	Rúbrica de características y criterios de evaluación de cavidades clase I para amalgama en molares 47 en fantoma. Hasta 16 puntos, 16 ítems (1 punto/ 0,5 / 0). 2 examinadores externos calibrados entre sí.	No se considera la puntuación del software para el estudio, solo como entrenamiento o de un grupo.	No mide la satisfacción	t-test	Tras el entrenamiento con Simulador háptico el tiempo de ejecución de las cavidades en dientes de resina se redujo de forma estadísticamente significativa. Las calificaciones generales de la cavidad mejoraron tras el entrenamiento de forma estadísticamente significativa.	Tras el entrenamiento con simulación háptica, hubo una mejora en las calificaciones de la preparación cavitaria de clase I, en sus características y en el tiempo para realizarla. HVRS como entrenamiento adyuvante a las metodologías de simulación con fantasmas.

(San Diego et al., 2022)	2022	Dent. J.	Estudio de cohortes prospectivo	264	King's College London (UK)	Evaluar la actuación de los alumnos removiendo caries tanto en un simulador háptico como en un fantoma en maniquí. Los dos grupos fueron entrenados de forma diferente y luego realizaban una prueba práctica en fantoma tradicional.	Evaluación del desempeño en la eliminación de caries en diente de resina, desde 5 a 15 puntos. 4 evaluadores.	No se considera la puntuación del software para el estudio, solo como entrenamiento de un grupo.	Autoevaluación: Los alumnos debían explicar en detalle como practicar con dientes de resina o con simulación háptica les ha ayudado o perjudicado a la hora de ser finalmente evaluados en dientes de resina.	Chi cuadrado, test exacto de Fisher	El desempeño a la hora de realizar remoción de caries en dientes de resina fue el mismo entre grupos. Aunque sin significancia, los mejores resultados se dieron en el grupo que habían entrenado con fantomas. En cuanto al feedback del entrenamiento con simulación hay posiciones encontradas en cuanto su uso, la mayoría del grupo sintió que usar la simulación háptica era más compleja de usar que los fantomas.	Ambos métodos son válidos y se potencian entre sí, pero ambos grupos pensaban que los fantomas es más realista que la perforación del diente con tecnología háptica.

(Philip et al., 2023)	2023	Int. J. Environ. Res. Public Health	Estudio piloto cohortes prospectivo	14	Facultad de Odontología de la Universidad de Qatar	Evaluar el desempeño y percepción de HVRs como herramienta pedagógica en prácticas preclínicas de pregrado.	Pulpotomía de 85. Rúbrica con criterios de evaluación y puntos de 1 a 4, para evaluar el acceso y la eliminación del techo de la cámara pulpar.	No se considera la puntuación del software para el estudio, solo como entrenamiento de un grupo.	Cuestionario con escala Likert de 10 preguntas y 4 preguntas abiertas sobre la experiencia de aprendizaje con HVRs.	t-test, Shapiro-Wilk, F-test	No hubo diferencias significativas entre grupos en cuanto a la remoción de caries, si habían tenido previamente una sesión de simulación háptica como si no. 43% de los alumnos les pareció que las sensaciones táctiles de la simulación háptica eran realistas mientras que un 50% notaban la diferencia entre esmalte y dentina en la realidad virtual (SIMto CARE Dente) .64% de los alumnos creen que sus habilidades psicomotoras y confianza han mejorado con la simulación. 86% creen que la simulación háptica no puede reemplazar a entrenar en fantomas.	El simulador háptico debe complementar y no reemplazar la formación preclínica convencional.

(Wei & Peng, 2024)	2024	PLOS ONE	Estudio cohortes prospectivo	20	Facultad de odontología Guanghua, Sun Yat-sen University, China	Evaluar la calidad, fiabilidad, efectos en la práctica del entrenamiento con Simodont en alumnos de pregrado	Evaluación mediante puntaje (hasta 20) en molar maxilar de resina. Criterios de: acceso y preparación de cavidad coronal. 3 examinadores.	No se considera la puntuación del software para el estudio.	Cuestionario tipo Likert de elaboración propia sobre debilidades, fortalezas y utilidad de Simodont en la enseñanza preclínica.	t-test, ANOVA, Shapiro-Wilk	Entrenamiento previo con Simodont obtuvo mejores resultados en los ítems: movimientos y procedimientos, apertura- forma cavitaria, y posicionamiento de conductos. Entrenamiento directo en diente de resina mejores resultados en remoción del techo pulpar y mantenimiento del suelo pulpar. En general mejores puntuaciones tras entrenar con Simodont. Cuestionario de evaluación de simodont, herramientas innovadoras captan la atención del alumno, pero requiere de actualizaciones de hardware y software.	El método combinado, entrenamiento de fantoma junto con simodont, es más efectivo y mejora la atención a detalles.
--------------------	------	----------	------------------------------	----	---	--	---	---	---	-----------------------------	---	--

(Duan et al., 2024)	2024	BMC Medical Education	Estudio transversal	98	Facultad de Estomatología, Wuhan University (China)	Evaluar la calidad y feedback del alumnado con entrenamientos de preparación cavitaria en dientes de resina de fantasmas, en dientes impresos en 3d y con simulación virtual.	Evaluación mediante rúbrica con criterios de evaluación sobre accesos cavitarios extraída de exámenes para Odontólogos de China. 2 evaluadores para los métodos de dientes de plástico, y dientes impresos en 3D.	Capturas de pantalla proporcionadas por el simulador, basadas en la proporción de eliminación de áreas de validez/invalidas. Simulador Unidraw. Ltd, China, V1.0. Evaluación mediante rúbrica con criterios de evaluación	2 cuestionarios obtenidos de la literatura, uno relacionado con sentimientos subjetivos de los alumnos sobre los 3 tipos de entrenamientos y otro sobre ventajas y desventajas de los modelos impresos en 3d y de la simulación virtual.	Shapiro-Wilk, Wilcoxon Signed Ranks Test	No se encontraron diferencias significativas en la preparación de la cavidad de acceso entre el molar impreso en 3d y el molar de plástico. Los estudiantes valoraron que el entrenamiento indispensable sería los dientes de resina y que la secuencia favorita de entrenamiento sería la de simulador virtual, fantoma y molar impreso en 3d.	Secuencia óptima sugerida: simulador virtual → plástico → 3D; la simulación virtual no reemplaza lo tradicional aún.
---------------------	------	-----------------------	---------------------	----	---	---	---	---	--	--	---	--

(Caleya et al., 2025)	2025	Dent. J.	Estudio transversal	65	Universidad Complutense de Madrid	Comparar calificaciones de prácticas preclínicas de odontopediatría a II en dientes de resina con las calificaciones obtenidas en Simodont. Conocer si los conocimientos previos teóricos influyen en la calidad de las prácticas obtener el feedback del alumno respecto a sus experiencias con los dos métodos de entrenamiento ..	Evaluación mediante rúbrica de preparación de cavidades clases II en 8.4 (5 ítems. Correcto vs Incorrecto) y pulpotomía en 8.5 (5 ítems. Correcto vs Incorrecto). 1 único evaluador.	Evaluación mediante rúbrica de preparación de cavidades clases II en 8.4 (5 ítems. Correcto vs Incorrecto) y pulpotomía en 8.5 (5 ítems. Correcto vs Incorrecto). A través de capturas de pantalla desde diferentes ángulos de las preparaciones cavitarias proporcionadas por el simulador Simodont.	Cuestionario tipo Likert	Kolmogorov–Smirnov, Shapiro–Wilk, Wilcoxon, McNemar, Chi2.	Los conocimientos teóricos previos no afectaban de forma significativa al desempeño práctico. Las calificaciones de la cavidad en clase II y pulpotomía de los dientes acrílicos obtuvieron mejores puntuaciones técnicas que Simodont, aunque éste último fue bien valorado por los estudiantes en términos de experiencia y percepción, sin embargo, un 70% cree que los dientes de resina son más fáciles de utilizar y los prefieren.	Simodont es útil como herramienta complementaria al entrenamiento tradicional pero no sustitutiva, según la opinión de los alumnos.
-----------------------	------	----------	---------------------	----	-----------------------------------	--	--	---	--------------------------	--	---	---

Tabla 2: Variables extraídas de los artículos.

8.3 Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo

La calidad metodológica de los estudios incluidos fue evaluada utilizando dos herramientas estandarizadas: la escala Newcastle-Ottawa y la herramienta JBI Critical Appraisal Tools para el estudio quasi-experimental. A continuación, se detallan los resultados de forma individual.

Escala Newcastle Ottawa:

El estudio de Caleyá AM (2025) (Caleyá et al., 2025) obtuvo una puntuación de 5 estrellas sobre 8 en la escala escala Newcastle-Ottawa. Se trata de un estudio transversal con adecuada medición de la exposición y del resultado. También destaca por el uso de análisis estadísticos apropiados. No obstante, no justifica el tamaño muestral, no reporta la tasa de no respuesta, y no tiene buena representatividad porque se limita a un único centro y curso.

Wei Y., Peng Z. (2024) (Wei & Peng, 2024), obtuvo una puntuación de 6 estrellas sobre 8 en la escala escala Newcastle-Ottawa. Se aplicó aleatorización, examinadores ciegos, seguimiento completo y evaluación objetiva pero no se calculó el tamaño muestral y su muestra no es representativa del colectivo general de estudiantes.

Philip N. (2023) (Philip et al., 2023), presentó una puntuación de 6 estrellas sobre 8 en la escala escala Newcastle-Ottawa. Se implementó una asignación aleatoria de los participantes a los grupos experimental y control. La evaluación del desempeño fue realizada por dos examinadores cegados, utilizando una rúbrica objetiva previamente definida, lo que reduce significativamente el riesgo de sesgo. Por otro lado, carece de una justificación del número de participantes y presenta una representatividad limitada.

Vincent M (2020) (Vincent et al., 2020) obtuvo seis estrellas. Utilizó la aleatorización adecuada, examinadores ciegos, seguimiento completo y evaluación objetiva. En cambio, no aporta cálculo previo del tamaño de la muestra y la representatividad de esta es insuficiente.

Koo S (2015) (Koo et al., 2015) obtuvo una puntuación de 5 estrellas sobre 8 en la escala escala Newcastle-Ottawa. Se implementó adecuadamente la aleatorización, el cegamiento y el análisis estadístico, siendo por tanto una fuente fiable de evidencia. En cambio, no se justificó ni se realizó un cálculo formalmente el tamaño muestral, esta no era representativa y tampoco se informa sobre la tasa de no respuesta.

Murbay S (2020) (Murbay et al., 2020) presentó una puntuación de 5 estrellas sobre 8 en la escala escala Newcastle-Ottawa. Aunque cabe destacar que se aplicó aleatorización y cegamiento del evaluador, pero no se especifica la ocultación de la asignación. Sin embargo, el uso de evaluación objetiva y la ausencia de pérdidas de seguimiento refuerzan la fiabilidad de los resultados. No obstante, no menciona las pérdidas de participantes, la muestra no es representativa del conjunto de estudiantes y no presenta un cálculo estadístico para el tamaño de la muestra.

Duan M (2024)(Duan et al., 2024) Se trata de un estudio con diseño cruzado, control adecuado de variables y evaluación objetiva. Obtuvo 5 estrellas sobre 8 ya que no aporta un cálculo previo del tamaño de la muestra, presenta una representatividad limitada y no informa sobre la tasa de no respuesta.

Dwisaptarini AP (2018) (Dwisaptarini et al., 2018) también obtuvo 5 estrellas sobre 8. Su diseño experimental cuenta con aleatorización, cegamiento y evaluación objetiva, pero carece de información sobre la tasa de no respuesta, no asegura que la muestra sea representativa y carece de una justificación del número de participantes.

San Diego JP (2022) (San Diego et al., 2022) fue calificado con 6 estrellas sobre 8. Se realizó una aleatorización, con cegamiento del evaluador, seguimiento completo y análisis adecuado. Aunque no se justificó el tamaño de la muestra ni esta es representativa.

Escala JBI:

Farag A (2022)(Farag & Hashem, 2022), presenta una buena calidad metodológica según la escala JBI. Aunque no incluyó grupo control ni aleatorización, el estudio sí hizo mediciones antes y después de la intervención mediante evaluadores

calibrados. Se entiende la intervención y el efecto que se quería medir. Más aún, se utilizaron análisis estadísticos adecuados.

Estudio	Representatividad de la muestra	Tamaño muestral	Tasa de no respuesta	Determinación de la exposición	Comparabilidad (factor principal)	Comparabilidad (otra variable)	Evaluación del resultado	Pruebas estadísticas	Total
Caleya AM (2025)				★	★	★	★	★	5
Wei Y., Peng Z. (2024)			★	★	★	★	★	★	6
Philip N. (2023)			★	★	★	★	★	★	6
Vincent M (2019)			★	★	★	★	★	★	6
Koo S (2015)				★	★	★	★	★	5
Murbay S (2019)				★	★	★	★	★	5
Duan M (2024)				★	★	★	★	★	5
Dwisaptarini AP (2018)				★	★	★	★	★	5
San Diego JP et al. (2022)			★	★	★	★	★	★	6

Tabla 3: Medición del riesgo de sesgo según la escala Newcastle-Ottawa.

Autor: Farag A. Hashem D.
Título: Impact of the Haptic Virtual Reality Simulator on Dental Students’ Psychomotor Skills in Preclinical Operative Dentistry
Año: 2022

Criterio	Respuesta	Justificación
¿Está claro cuál es la causa y cuál es el efecto?	Sí	Se establece que el entrenamiento con simulador háptico es la causa y, la mejora en habilidades psicomotoras el efecto.
¿Hubo grupo control?	No	Estudio de brazo único.
¿Participantes comparables?	Sí	Todos eran estudiantes de 3er curso sin experiencia previa.
¿Recibieron los participantes incluidos en alguna comparación un tratamiento/atención similar, distinto de la exposición o intervención de interés?	Sí	Practicaron con simulador háptico durante el estudio.
¿Se realizaron múltiples mediciones del resultado, tanto	Sí	Se evaluaron los resultados antes y después del simulador háptico.

antes como después de la intervención/exposición?		
¿Se midieron del mismo modo los resultados de los participantes incluidos en las comparaciones?	Sí	Mismos criterios y evaluadores para ambas mediciones.
¿Se midieron los resultados de forma fiable?	Sí	Evaluación estandarizada con evaluadores calibrados.
¿El seguimiento fue completo y/o adecuadamente descrito?	Sí	Todos los estudiantes completaron el estudio.
¿Se utilizó análisis estadístico apropiado?	Sí	Se aplicó t-test

Tabla 4: Medición del riesgo de sesgo de los estudios observacionales según la escala JBI.

8.4 Síntesis de los resultados

Entre los diez artículos escogidos para realizar esta revisión sistemática, seis de ellos midieron la satisfacción de los alumnos tras practicar con simulador háptico. Entre ellos se encuentra el estudio de Koo et al (Koo et al., 2015), cuyo propósito fue evaluar la percepción de estudiantes de odontología sobre el uso de la simulación háptica como herramienta de entrenamiento en las prácticas. El número total de participantes fue de 34 estudiantes los cuales fueron distribuidos de forma aleatoria en dos grupos de 17 alumnos cada uno: uno experimental que realizó sesiones con simulador háptico, y un grupo control que no recibió dicho entrenamiento. Inicialmente, todos los alumnos realizaron preparaciones de clase II de amalgama y clase III de resina en dientes de resina. Posteriormente, el grupo experimental llevó a cabo dos sesiones de entrenamiento con un dispositivo háptico. Este entrenamiento consistía en eliminar estructuras geométricas tridimensionales dentro de límites preestablecidos. Tras estas sesiones, ambos grupos repitieron las preparaciones dentales en los tipodontos. Estas fueron replicadas en modelos de yeso para su evaluación. La medición de la destreza manual se basó en la comparación de las puntuaciones obtenidas en las preparaciones dentales antes y después del entrenamiento. Tres evaluadores independientes utilizaron dos rúbricas con criterios

de evaluación distintos según el tipo de cavidad. El análisis estadístico, que incluyó las pruebas de Kolmogorov–Smirnov y t de Student, no evidenció mejores significativas en el rendimiento general del grupo experimental en comparación con el grupo control ($p>0,05$). Salvo en el manejo del diente adyacente donde se observó una diferencia estadísticamente significativa a favor del grupo entrenado con simulación ($p<0,05$). Además, se administró un cuestionario de satisfacción al grupo experimental. Un 65% de los estudiantes expresó que la dinámica del simulador hizo la experiencia más atractiva. Sin embargo, el 76% de los participantes no percibió una mejora clara en su destreza, y el 59% consideró insuficiente el tiempo de exposición para evaluar su efectividad. Aunque los resultados de este estudio no demuestran mejoras concluyentes en la destreza manual tras el uso del simulador háptico a corto plazo, sí ponen de manifiesto su valor y potencial pedagógico como herramienta de aprendizaje.

San Diego et al (San Diego et al., 2022), compararon la eficacia de la simulación háptica frente al entrenamiento tradicional con simuladores de cabeza en la adquisición de habilidades en la remoción de caries. Participaron 264 estudiantes, distribuidos en un grupo experimental que utilizó simuladores hápticos y un grupo control que trabajó con simuladores tradicionales. Los entrenamientos se desarrollaron en tres sesiones repartidos en dos meses. Posteriormente, todos fueron evaluados en una prueba común que consistía en eliminar caries de un diente de plástico, independientemente del tipo de simulador usado durante el entrenamiento. La evaluación consideró cinco criterios: ángulo de entrada a la cavidad, correcta sujeción del instrumental, remoción de caries en las paredes y en el piso cavitario, y prevención de exposición pulpar. Las puntuaciones se asignaron en una escala de 1 a 3 para cada criterio, con una puntuación máxima total de 15. Ambos grupos mostraron mejoría y un buen desempeño en la remoción de caries, sin diferencias significativas. Aunque se observó que, en tareas de mayor dificultad, los estudiantes del grupo que entrenó con simulador tradicional obtuvieron un mayor porcentaje de puntuaciones altas. En relación con la percepción del alumnado, los comentarios recogidos revelaron una actitud positiva hacia el simulador háptico. Aunque percibieron el entorno virtual más difícil de controlar. En conclusión, este estudio demuestra que el entrenamiento con simuladores hápticos es igual de efectivo que el tradicional para desarrollar

habilidades básicas en remoción de caries, aunque pueden surgir diferencias en tareas más complejas o en aspectos técnicos específicos como la ergonomía

Dentro de los estudios que evalúan la opinión de los estudiantes, encontramos dos que se centran en el área de la odontopediatría. El estudio de Philip et al (Philip et al., 2023) evaluó la efectividad y la percepción del alumnado sobre el entrenamiento con simulación háptica, específicamente en la técnica de pulpotomía en molares temporales. La muestra estuvo compuesta por 14 estudiantes de cuarto año. Todos ellos participaron en una sesión inicial de práctica con dientes de plásticos montados en simuladores convencionales y tras esto, fueron divididos aleatoriamente en dos grupos. El grupo experimental complementó su formación con una sesión práctica de 60 minutos con el simulador háptico SIMtoCARE Dente®, mientras que el grupo control continuó su entrenamiento con simuladores convencionales. Posteriormente, ambos grupos fueron evaluados utilizando dientes de plástico. Mediante una Rúbrica con criterios de evaluación y puntos de 1 a 4 se evaluó el acceso y la eliminación del techo de la cámara pulpar. En cuanto a los resultados, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ni en las puntuaciones de ejecución ni en el tiempo ni en la cantidad de asistencia solicitada. La mayoría de los estudiantes (72%) consideró que las imágenes y representaciones gráficas del entorno virtual eran realistas. Sin embargo, las percepciones sobre la fidelidad táctil fueron más diversas: un 50% no logró distinguir entre esmalte y dentina, y el 79% percibió diferencias importantes entre la eliminación del techo cameral virtual y el realizado sobre dientes plásticos. A pesar de esto, un 64% manifestó que el simulador háptico les ayudó a mejorar su destreza motora fina y su confianza para ejecutar la pulpotomía. Un dato especialmente relevante fue que el 86% de los participantes no consideró que el simulador háptico pudiera reemplazar al entrenamiento convencional, aunque sí lo vieron como un complemento útil. De hecho, más de la mitad expresó interés en disponer de más sesiones con esta tecnología para futuros entrenamientos.

En la misma línea, el estudio llevado a cabo por Caley et al (Caley et al., 2025), tuvo como objetivo evaluar la implementación del simulador háptico Simodont en el aprendizaje preclínico de Odontopediatría, comparándolo con el método convencional basado en dientes acrílicos montados en fantomas. Sus objetivos eran

comparar las calificaciones obtenidas con ambos métodos prácticos, analizar si los conocimientos teóricos influían en los resultados prácticos y estudiar la percepción estudiantil sobre el uso de la simulación. El estudio contaba con 65 estudiantes divididos en dos grupos. Ambos grupos de forma alterna realizaron preparaciones de cavidades clase II y pulpotomías tanto en el simulador háptico como en dientes acrílicos. Un examinador evaluó sus trabajos mediante rúbricas específicas y valoraciones ciegas. Además, los alumnos realizaron una encuesta para valorar su experiencia con el simulador. Con respecto a los resultados, se observó que las calificaciones obtenidas fueron significativamente más altas con los dientes acrílicos que con Simodont®, tanto en cavidades clase II como en pulpotomías. Además, se comprobó que el nivel de conocimientos teóricos previos no se correlacionó de manera significativa con el rendimiento práctico en ninguno de los dos entornos de simulación. En relación con la percepción estudiantil, un amplio porcentaje de los alumnos reconoció que el Simodont® ayuda a mejorar la comprensión de los procedimientos clínicos (59,7%) e integra mejor los conocimientos teóricos (64,2%). Sin embargo, también manifestaron una clara preferencia por la práctica en dientes acrílicos. No obstante, la mayoría opinó que Simodont constituye una herramienta complementaria útil, aunque no suficiente como para reemplazar al entrenamiento convencional.

Wei y Peng (Wei & Peng, 2024) en su estudio también utilizaron el simulador háptico Simodont. En este caso, evaluaron la eficacia del simulador en la enseñanza preclínica de la apertura cameral y preparación de cavidades coronales en estudiantes de odontología. Participaron 20 estudiantes, quienes fueron asignados aleatoriamente a dos grupos, uno comenzó el entrenamiento con Simodont y otro inició con un simulador convencional de fantasmas. Posteriormente, ambos grupos intercambiaron los sistemas de entrenamiento para evaluar los efectos del orden de aplicación. Tras el entrenamiento, cada estudiante realizó un acceso coronal y preparación cavitaria en un diente de plástico utilizando un simulador convencional de tipo fantoma. Tres profesores de endodoncia experimentados evaluaron el rendimiento según criterios predeterminados. Se observó que ambos grupos mejoraron significativamente sus puntuaciones tras el entrenamiento, siendo notable que los estudiantes que comenzaron con Simodont y luego continuaron con el sistema convencional alcanzaron mejores resultados que aquellos que siguieron el orden inverso. Además,

se concluyó que la combinación de ambos métodos fue más efectiva que el uso exclusivo de uno solo. Respecto a la percepción del alumnado, el 90% valoró positivamente características como la posibilidad de repetir procedimientos, el enfoque detallado y la seguridad del entorno simulado. Sin embargo, solo un 10% consideró que el sistema Simodont era más fácil de usar que el entrenamiento tradicional, y un 80% expresó que el simulador necesita mejoras para parecerse más a la práctica clínica real.

Dentro de los estudios que valoraron la satisfacción de los alumnos, encontramos por último el estudio de Duan y colaboradores (Duan et al., 2024). Su objetivo era evaluar la efectividad de tres métodos de entrenamiento preclínico en odontología: dientes impresos en 3D, simulación virtual háptica y dientes de plástico. El ejercicio consistía en la preparación de cavidades de acceso en molares inferiores. Se llevó a cabo con una muestra de 98 estudiantes de cuarto curso de odontología de la universidad de Wuhan. Cada uno de ellos realizó el procedimiento en los tres métodos de entrenamiento, con una duración de 20 minutos por ejercicio. La evaluación se realizó mediante criterios clínicos estándar aplicados por dos docentes expertos y, en el caso de simulador virtual, por un sistema automático que midió el porcentaje de remoción válida e inválida de tejido. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en la puntuación total entre los dientes de plástico y los dientes 3D. Por otro lado, el simulador virtual presentó un alto porcentaje de remoción válida. En cuanto a la percepción del alumnado, más del 70% consideró que la simulación virtual debía ser la primera etapa del entrenamiento, y más del 80% apoyó la incorporación tanto del simulador virtual como de los dientes impresos en 3D en su formación habitual. Los estudiantes percibieron los dientes de plástico como los más fáciles de usar y más parecidos a la práctica clínica, aunque reconocieron que los dientes 3D ofrecían una visualización anatómica más realista y que el simulador virtual portaba seguridad, repetibilidad y facilidad de uso. Sin embargo, también destacaron limitaciones como el escaso realismo táctil, la incomodidad visual o el riesgo de mareo en la simulación virtual. El orden de entrenamiento más valorado fue: simulación virtual seguido de dientes de plástico y, por último, dientes en 3D.

Por su parte, los estudios que no midieron la satisfacción de los alumnos son cuatro. En primer lugar, el estudio llevado a cabo por Dwisaptarini y colaboradores (Dwisaptarini et al., 2018) tuvo como propósito evaluar la efectividad de un simulador

de realidad visual y táctil, basado en un modelo multicapa de caries dental profunda, en el entrenamiento de estudiantes de odontología para remoción mínimamente invasiva de caries. Para ello, se contaba con una muestra de 32 estudiantes de sexto año distribuidos equitativamente en un grupo experimental, que entrenó con el simulador, y un grupo control, que utilizó dientes extraídos de humanos. Ambos grupos realizaron una evaluación antes de comenzar el entrenamiento en dientes reales, seguida de tres días de entrenamiento según su grupo, y una evaluación final también en dientes reales. La principal variable medida fue la puntuación en la remoción de caries, analizada en diversas zonas del diente como esmalte, unión amelo-dentinaria, dentina superficial y dentina profunda. También se midieron el tiempo de realización y la masa de tejido removido. Los resultados mostraron que tanto el grupo experimental como el grupo control mejoraron significativamente sus puntuaciones tras el entrenamiento. No hubo diferencias significativas en el tiempo de trabajo ni en la cantidad de tejido eliminado entre ambos grupos. Sin embargo, el grupo que entrenó con simulación obtuvo mejores puntuaciones en la remoción de caries en dentina superficial y profunda, lo cual sugiere una mayor precisión. Ambos métodos fueron igual de eficaces en términos generales.

En segundo lugar, el estudio desarrollado por Vincent y colaboradores (Vincent et al., 2020) tuvo como objetivo evaluar el uso de la simulación con realidad virtual háptica para el entrenamiento de la preparación cavitaria en odontología restauradora. Para ello, se compararon los resultados de dos grupos de estudiantes de primer año de la facultad de odontología de la universidad de Lorraine. Un grupo formado por 45 estudiantes entrenó con simulador háptico Virteasy, y otro grupo formado por 43 estudiantes, realizó prácticas tradicionales sobre dientes de plástico. Ambos grupos realizaron tres sesiones de entrenamiento. El grupo que utilizó el simulador virtual fue evaluado posteriormente en un ejercicio sobre dientes de plástico, igual que el grupo tradicional. Los evaluadores se basaron en parámetros objetivos extraídos automáticamente por el simulador, como el porcentaje de tejido removido dentro y fuera de los límites definidos, tiempo de perforación, y parámetros subjetivos valorados por docentes como la forma de contorno cavitario, la profundidad, la regularidad del piso cavitario y la presencia de daño iatrogénico en dientes adyacentes. Los resultados mostraron que ambos métodos condujeron a mejores significativas en la destreza técnica de los estudiantes. En el grupo háptico, se observó

una curva de aprendizaje positiva, con reducciones en el tiempo de trabajo y mejoras en precisión. El grupo tradicional también mostró avances, aunque con resultados más variables. Al comparar los resultados finales en dientes de plástico entre ambos grupos, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas. Los autores destacaron ventajas del simulador como la posibilidad de repetir ejercicios sin límite, la evaluación objetiva automática, y el ahorro de materiales. Señalaron que el entorno virtual ayudó a reducir el riesgo de daño iatrogénico y permitió a los estudiantes mejorar la coordinación visual y motora.

En tercer lugar, Murbay y colaboradores (Murbay et al., 2020) evaluaron el impacto del uso del simulador de realidad virtual Moog Simodont en el rendimiento de estudiantes de odontología, específicamente en preparaciones cavitarias de clase I. Participaron 32 estudiantes divididos en dos grupos: uno expuesto al simulador virtual y otro sin dicha exposición. Tras una fase de formación teórica común, los estudiantes del grupo experimental practicaron con el Simodont, mientras que el grupo control no tuvo acceso al simulador. Posteriormente, todos realizaron una preparación cavitaria de clase I sobre dientes de plástico montados en fantoma. Las evaluaciones de los trabajos se realizaron mediante dos métodos: una valoración manual tradicional por tres evaluadores ciegos y un análisis digital a través de escaneado intraoral y un software de evaluación tridimensional. Los resultados indicaron que el grupo que utilizó el simulador obtuvo un porcentaje significativamente mayor de preparaciones satisfactorias, tanto en la evaluación manual como en la digital, con diferencias estadísticamente significativas. Los autores concluyeron que el entrenamiento con simulador háptico mejora la precisión técnica en procedimientos operatorios básicos y permite una transición más fluida del entorno preclínico al clínico.

Por último, al igual que el estudio anterior, el realizado por Farag y Hashem (Farag & Hashem, 2022) tuvo como objetivo evaluar el impacto del simulador de realidad virtual háptica Simodont en la adquisición de habilidades psicomotoras por parte de estudiantes de odontología durante la formación preclínica en odontología restauradora. Se trató de un estudio de brazo único, en el que participaron 21 estudiantes de tercer año, todos ellos noveles en procedimientos operatorios. Primeramente, se incluyó una evaluación de los estudiantes mediante la realización de una preparación cavitaria de clase I sobre dientes de plástico, tras una clase

teórico-práctica tradicional. Posteriormente, durante un mes, los estudiantes practicaron de forma autónoma ejercicios de destreza manual en el simulador háptico Simodont, durante 20 minutos diarios, sin supervisión docente directa. Al finalizar este periodo, se repitió el ejercicio inicial sobre dientes de plástico para valorar el progreso. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en el rendimiento técnico de los estudiantes tras el uso del simulador. El tiempo medio de ejecución de la cavidad se redujo de 46 a 33 minutos, y la puntuación media en la rúbrica de evaluación aumentó de 9,1 a 12,1 puntos sobre 16. Los resultados sugieren que el uso temprano del simulador Simodont como complemento al entrenamiento convencional puede optimizar el desarrollo de habilidades motoras finas en estudiantes sin experiencia previa.

Uno de los aspectos clave en la formación preclínica en odontología es el desarrollo de la destreza manual. En los estudios analizados, este componente ha sido evaluado de forma variada, aunque se observa una similitud en los criterios clínicos valorados. La mayoría de los trabajos coincide en centrarse en variables como la calidad de la cavidad de acceso, la remoción eficiente y selectiva del tejido, el respeto del diente adyacente realizando una cavidad mínimamente invasiva y el control instrumental.

En cuanto a los instrumentos de evaluación, se emplearon tanto rúbricas clínicas tradicionales como sistemas digitales automatizados. Por ejemplo, (Caleya et al., 2025; Koo et al., 2015) utilizaron rúbricas específicas para evaluar preparaciones clase II, clase III y pulpotomías, valorando aspectos como contorno, profundidad, orientación de la cavidad y precisión en la remoción del techo cameral. De forma similar, (Philip et al., 2023) evaluó la apertura cameral mediante una rúbrica de 1 a 4 puntos, mientras que (San Diego et al., 2022) empleó una escala de 1 a 3 para valorar cinco criterios clínicos relacionados con la remoción de caries. En todos estos casos, la evaluación se realizó por examinadores expertos, en formato ciego.

Otros estudios como los de (Duan et al., 2024; Murbay et al., 2020; Vincent et al., 2020; Wei & Peng, 2024) incorporaron además herramientas digitales y sistemas automáticos de análisis. Estos permitieron cuantificar parámetros como la proporción

de tejido removido válido, el volumen total de eliminación, o la presencia de daño en zonas críticas.

Una cuestión central abordada por los estudios revisados es si el uso del simulador háptico contribuye a mejorar la destreza manual de los estudiantes, y si dichas mejoras son estadísticamente significativas. En este sentido, los resultados muestran una cierta variedad, tanto en los efectos observados como en las conclusiones extraídas. En cuanto a los trabajos que concluyen que el uso del simulador háptico no genera diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento encontramos el artículo de (Koo et al., 2015). En él, no hallaron diferencias significativas salvo en el manejo del diente adyacente, donde el grupo experimental mostró mejor control al causar un menor daño en la superficie proximal del diente adyacente al realizar la cavidad de clase II. (Philip et al., 2023) tampoco identificó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en cuanto a la calidad de la apertura cameral ni en el tiempo requerido para realizarla. Aun así, el 64% de los estudiantes percibió mejoras subjetivas en su motricidad fina, lo cual indica una diferencia entre percepción y medición objetiva. (San Diego et al., 2022) encontró rendimientos similares entre los grupos entrenados con simuladores hápticos y tradicionales. No hubo diferencias significativas en la puntuación global, aunque los estudiantes del grupo convencional destacaron en tareas más complejas.

En contraste, otros autores sí reportan diferencias o mejoras relevantes en el rendimiento tras el uso del simulador. (Farag & Hashem, 2022) observaron una mejora significativa en la puntuación media (de 9,1 a 12,1 sobre 16) y una reducción del tiempo operatorio (de 46 a 33 minutos) tras un mes de práctica con Simodont. (Murbay et al., 2020) encontró que el grupo que entrenó con Simodont obtuvo un porcentaje significativamente mayor de preparaciones satisfactorias, tanto en evaluación manual como digital. (Vincent et al., 2020) no halló diferencias estadísticamente significativas al final del proceso, pero sí detectó una curva de aprendizaje positiva y un mejor control del instrumento en los estudiantes que usaron el simulador, con menor riesgo de daño iatrogénico.

En otra línea, un par de artículos aportan evidencia interesante sobre la secuencia óptima en la enseñanza de habilidades clínicas. Destacando que el

rendimiento no sólo depende del método utilizado, sino también de cuándo y cómo se introduce en el proceso formativo. (Wei & Peng, 2024) afirmaron que los estudiantes que usaron primero el simulador y luego el entrenamiento convencional obtuvieron mejores resultados que aquellos que siguieron el orden inverso. (Duan et al., 2024) reveló preferencias claras por parte del alumnado respecto al orden de uso. Un 71,42% de los estudiantes consideró que la simulación virtual debía ser la primera etapa del entrenamiento, seguida del trabajo sobre dientes de plástico, y, por último, el uso de dientes impresos en 3D.

Un aspecto que destacar es que varios autores concluyen que el uso combinado de simuladores hápticos y métodos tradicionales potencia la adquisición de habilidades técnicas. Esto se evidencia en estudios como los de (Duan et al., 2024; Wei & Peng, 2024), donde los estudiantes que realizaron entrenamientos combinados, virtual y físico, obtuvieron mejores resultados que aquellos expuestos a un solo sistema.

En cuanto a la percepción del alumnado en el uso de la simulación háptica, en la tabla 5, se aprecia que cada estudio ha empleado metodologías distintas para recoger dichas opiniones de los estudiantes. Se observa cierta coincidencia en los formatos de respuesta, destacando la frecuencia de escalas tipo Likert o categorías como “de acuerdo”, “neutral” y “en desacuerdo”. Además de las coincidencias en los formatos de respuesta, cabe destacar que varios de los estudios incluyeron preguntas abiertas, lo que permitió recoger matices importantes sobre la experiencia. (Caleya et al., 2025) aplicó un cuestionario de doce frases con foco en utilidad y comparación con métodos tradicionales. Se abordaron aspectos como realismo, confianza y facilidad de uso. (Duan et al., 2024) combinó cuestionarios comparativos y de valoración subjetiva, incluyendo efectos físicos. (San Diego et al., 2022) se centró en preguntas abiertas, analizando cómo cada modalidad ayudó o dificultó la tarea.

Los artículos revisados muestran una tendencia por parte del alumnado hacia métodos convencionales de entrenamiento. (Caleya et al., 2025) señala que, si bien el 59,7% de los estudiantes reconoció que el simulador Simodont facilita la integración de conocimientos, más del 70% prefirió dientes acrílicos por su facilidad de uso y mayor similitud con la práctica clínica. De manera similar, (Philip et al., 2023) concluye que la mayoría de los estudiantes no considera que los simuladores hápticos puedan

reemplazar los métodos tradicionales, dando más valor al realismo táctil ofrecido por los modelos físicos. Por su parte, (Duan et al., 2024) indica que el 71% de los encuestados opina que la formación con simuladores virtuales debe preceder al entrenamiento físico, pero sólo un tercio cree que podría llegar a sustituirlo. Como podemos observar, existe consenso al pensar que los simuladores hápticos son herramientas útiles como complemento al aprendizaje tradicional. (Wei & Peng, 2024) refuerza esta idea al indicar que el 90% de los estudiantes considera el sistema seguro, el 60% lo valora por su precisión, y el 60% cree que su uso combinado con otros métodos clásicos puede mejorar la formación. Cabe señalar que (San Diego et al., 2022), al trabajar exclusivamente con respuestas abiertas, aportó una perspectiva más narrativa. Mientras que el entrenamiento con fantoma fue visto como más realista y útil, el uso del simulador háptico generó opiniones divididas, con algunos estudiantes destacando que la dificultad inicial les ayudó luego a manejar mejor el instrumental en situaciones reales.

Entre las limitaciones más destacadas, (Duan et al., 2024) informa que un 33% de los estudiantes experimentó mareos durante el uso del simulador, una situación no reportada por otros autores. Tanto (Philip et al., 2023) como (Caleya et al., 2025) señalan la falta de realismo táctil como una barrera importante.

En lo que respecta a la evaluación de calidad, la evaluación metodológica mediante la escala Newcatle-Ottawa fue la escogida para 9 estudios. La mayoría de estos obtuvo entre 5 y 6 estrellas sobre 8. Los trabajos de (Philip et al., 2023; San Diego et al., 2022; Wei & Peng, 2024) destacaron por la aleatorización, el cegamiento de evaluadores y el seguimiento completo, aunque ninguno justificó el tamaño muestral ni presentó muestras representativas. Otros estudios como (Caleya et al., 2025; Koo et al., 2015; Murbay et al., 2020) obtuvieron 5 estrellas debido a limitaciones similares, además de no informar sobre la tasa de no respuesta. Por su parte, el estudio de (Farag & Hashem, 2022), evaluado con la escala JBI, mostró buena calidad metodológica pese a no incluir grupo control ni aleatorización.

Artículo	Instrumento de medición	Variables observadas	Resultados
Caleya et al. (2025)	Cuestionario de 12 frases. Opciones de respuesta: de acuerdo/neutral/en desacuerdo.	Percepción de utilidad, integración teórica, dificultad, comparación con método tradicional.	- Simodont mejora las habilidades preclínicas (41,8%) - Simodont es útil para la formación (52,2%) - Simodont facilita la comprensión de los procedimientos clínicos (59,7%) - Tareas como pulpotomías y preparación de cavidades son más fáciles en dientes acrílicos (70%)
Philip et al. (2023)	Cuestionario de 10 preguntas de escala Likert. Opciones de respuesta: Totalmente de acuerdo/de acuerdo/neutral/en desacuerdo/totalmente en desacuerdo. Cuatro preguntas abiertas.	Realismo táctil, confianza, utilidad, preferencia vs métodos tradicionales.	- El simulador háptico ayudó a mejorar sus habilidades motoras finas (64,2%) - El simulador háptico ayudó a aumentar su confianza en la realización de una pulpotomía (64,2%) - No encontraron similitud al retirar el techo cameral entre el simulador y los dientes plásticos (78,6%) - El simulador háptico no puede reemplazar el entrenamiento convencional (85%) - El simulador háptico es un complemento útil (78,6%) Respuestas preguntas abiertas: - Principales ventajas del simulador háptico: la posibilidad de repetir procedimientos y la mejor visualización anatómica. - Limitaciones: falta de apoyos para los dedos y la lentitud en la navegación. - La mayoría prefirió usar el simulador háptico después de la formación convencional y sugirió incluir más sesiones preclínicas.
Wei et al. (2024)	Cuestionario de 10 preguntas. Opciones de respuesta: Totalmente de acuerdo/de acuerdo/neutral/en desacuerdo/totalmente en desacuerdo. Cuatro preguntas abiertas.	Repetibilidad, precisión, realismo, facilidad de uso, intención de uso futuro.	- Simodont es seguro y libre de contaminación (90%) - Valoraron su precisión y mostraron disposición a utilizarlo (60%) - Más accesible que el simulador convencional (10%) - Más cercano a la práctica clínica (10%) - Es más fácil dominar Simodont después de aprender con el simulador tradicional (70%) - Destacaron sus posibilidades de práctica repetitiva y detallada (90%) - El simulador requiere mejoras (80%) - El simulador podría complementar o sustituir al sistema tradicional si se optimiza (60%) - Es una tendencia futura en la enseñanza en laboratorios dentales (70%)
Duan et al. (2024)	Dos cuestionarios: 1. Comparativo entre los tres métodos de entrenamiento 2. Ventajas y desventajas percibidas.	Facilidad, similitud con clínica, orden preferido de uso, efectos físicos.	- El entrenamiento con dientes de plástico fue el más fácil y el más parecido a la práctica clínica (71,43%) - Con los dientes de plástico existe una mejor sensación de fresado (81,82%) y mayor claridad para entender el procedimiento (70,13%) - El simulador virtual superó a los dientes impresos en 3D en aspectos como el fresado (63,64%) - Dientes en 3D superiores al simulador en realismo clínico (84,42%)

			- La formación ideal debe incluir los tres métodos (36,6%) aunque el entrenamiento con dientes de plástico es el más indispensable (41,81%) - Prefieren comenzar con simulación virtual, seguido de dientes de plástico y luego impresos en 3D (51,94%) El simulador háptico debe ser el primer paso (71,42%). Críticas al simulador: - Pobre sensación al fresado (72,73%) - Malestar físico que genera (33,76%) - Sistema de puntuación impreciso (79,22%) Ventajas del simulador: - Seguridad (98,7%) - Repetibilidad (92,2%) - Fácil uso (72,72%)
San Diego et al. (2022)	Preguntas abiertas	Para cada condición: entrenamiento con fantoma o con simulador háptico, explicar detalladamente cómo les ha ayudado o dificultado la realización de la tarea.	Estudiantes que practicaron con fantoma valoraron positivamente la experiencia, destacando su realismo tridimensional y la utilidad para familiarizarse con el manejo de la turbina sin riesgo para pacientes. Estudiantes que practicaron con simulador háptico tuvieron opiniones mixtas. Aunque reconocieron que era más difícil de manejar, varios consideraron que esa dificultad les ayudó a controlar mejor la turbina en el modelo físico. Algunos señalaron que el entorno virtual les resultó poco intuitivo o incómodo, y que la falta de realismo en la respuesta del instrumento dificultó su aprendizaje.

Tabla 5: Cuestionarios empleados para conocer la opinión del alumnado.

9. DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática ha analizado la efectividad de los simuladores hápticos en el desarrollo de la destreza manual del estudiante de odontología, así como su impacto en la percepción y satisfacción del alumnado.

Con respecto a la destreza manual, los 10 artículos midieron, a través de diferentes metodologías en dientes de resina, cómo se había confeccionado el acceso de la cavidad atendiendo a: tipo, forma, regularidad de paredes y suelo, principios de mínima invasión, control del instrumental rotatorio. Aunque cada autor utilizó rúbricas metodológicas diferentes, todos evaluaron estos aspectos de las preparaciones dentales. Los artículos realizaron una comparativa entre el aprendizaje tradicional en dientes de resina y el aprendizaje con simulador háptico en la destreza manual, sin embargo, únicamente 4 trabajos consideraron las calificaciones del software del simulador en cuanto a: remoción de caries correctamente realizada y zonas correcta o incorrectamente invadidas; los otros 6 lo emplearon como entrenamiento, pero los evaluadores median la calidad de las preparaciones en dientes de resina.

En 7 de los 10 artículos incluidos, se obtuvieron desempeños similares en entrenamientos directos en dientes de resina y tras el entrenamiento con simulación háptica. 2 artículos se posicionaron a favor del entrenamiento con simulación háptica, uno de ellos afirmando una mejora significativa en la calidad de las preparaciones tras el entrenamiento con simodont y otro hacía referencia al tiempo empleado en realizar cavidades en fantasmas que se reducía significativamente tras utilizar la simulación háptica. Un artículo, el de (Caleya et al., 2025), observaron que las cavidades de clase II y pulpotomías obtuvieron mejores resultados en dientes de resina que Simodont. También otro autor (San Diego et al., 2022), aunque concluyó que los resultados de desempeño entre ambas metodologías fueron similares, si recalcó que fueron mejores, aunque no significativos, en el grupo que entrenó con fantasmas.

Estos resultados controvertidos podrían cuestionar la utilidad del uso de la simulación háptica para progresar en la destreza manual entre el alumnado universitario de pregrado, coincidiendo así con otros autores consultados en la literatura como (Daud, Alaa et al., 2023) y (Matoug-Elwerfelli et al., 2025). En el primero no se encontraron diferencias significativas en la calidad de las preparaciones entre el entrenamiento con simuladores hápticos y el uso de dientes de resina, mientras que en (Matoug-Elwerfelli et al., 2025) tanto estudiantes como docentes

consideraron que la simulación no sustituye al método convencional por su menor realismo. Sin embargo, esta postura es cuestionada por diversos autores como (Bandiaky et al., 2023) y (Patil et al., 2023), en sus estudios reportaron mejoras significativas en la precisión, calidad de las cavidades y reducción del tiempo de trabajo tras el uso de simuladores hápticos, lo que respalda su eficacia para potenciar la destreza manual.

La secuencia en el uso de recursos simulados también ha sido objeto de análisis en varios estudios, que coinciden en señalar su influencia directa en la adquisición de competencias clínicas. En la presente revisión, (Duan et al., 2024) proponen comenzar con la simulación virtual, continuar con la práctica en dientes acrílicos y culminar con el uso de modelos impresos en 3D. (Wei & Peng, 2024) también subrayan que iniciar con la simulación háptica resulta más efectivo para el aprendizaje. No obstante, en la literatura, acorde al estudio de (Daud, Alaa et al., 2023) los estudiantes expresaron una preferencia por comenzar la formación con dientes de resina así ajustaban su posición de trabajo y se acostumbraban al uso de instrumentos reales. Trabajar primero en el modelo físico les ayudaba a comprender la resistencia y textura de los tejidos dentales reales, algo que consideraban menos intuitivo en el entorno virtual. Por último, el manejo de la cabeza y la mandíbula del fantoma les parecía más realista y con un rango de maniobra más amplio que el del simulador háptico. Todo esto sentían que facilitaba la transición al simulador háptico.

Con respecto a la percepción del uso de simuladores hápticos por parte del alumnado, 5 de los 10 estudios incluidos en este trabajo consideraron este aspecto. Los cuestionarios que debían cumplimentar los estudiantes atendían a cuestiones como: utilidad, realismo, comparativa con fantomas de resina, y facilidad de uso. En todos los artículos los alumnos se mostraron satisfechos con el entrenamiento háptico ya que facilita la comprensión de los procedimientos, sin embargo, sigue habiendo una preferencia por el entrenamiento con fantomas, consideran que da un mayor realismo de lo que serán futuros procedimientos clínicos con pacientes.

Estos resultados coincidirían con autores como (Zafar et al., 2020a) y (Matoug-Elwerfelli et al., 2025). En el primer estudio, el 88% de los estudiantes expresó que el simulador háptico Simodont no debería sustituir al entrenamiento convencional, aunque el 56% reconoció que el simulador facilitaba la comprensión de los procedimientos clínicos. De forma similar, en el estudio de (Matoug-Elwerfelli et al.,

2025) se reconocieron los beneficios del uso de la tecnología háptica, aunque se subrayó que la falta de realismo y el elevado coste del equipo limitaban su aceptación como sustituto del entrenamiento tradicional. Como se ha recalcado anteriormente, esta tendencia sugiere que, aunque la tecnología háptica es bien valorada como herramienta complementaria, aún no logra superar la aceptación de los modelos convencionales entre los estudiantes de odontología.

El uso de cuestionarios permite conocer qué aspectos positivos y qué limitaciones relacionan los estudiantes con el uso del simulador háptico en su formación. En la presente revisión, dos de los cinco estudios, incluyeron preguntas abiertas a sus alumnos. Este tipo de preguntas aportan información diferente a las cerradas, ya que los alumnos pueden explicar con sus propias palabras qué aspectos valoran y qué limitaciones encuentran. Entre las principales ventajas de la formación con dispositivos hápticos destacan la posibilidad de repetición, el incremento en la confianza y coordinación percibida y una mejor visualización del campo operatorio coincidiendo con otros autores como (Rodrigues, Pedro et al., 2023) y (Daud, Alaa et al., 2023) quienes destacaron ventajas similares por parte del alumnado.

En los estudios revisados destacan como limitaciones: la falta de apoyo para los dedos, el retraso a la hora de navegar por las imágenes, y la sensación de presión a la hora de realizar los movimientos. En algunos simuladores, cuando el estudiante mueve la herramienta virtual o cambia la vista del diente hay un retraso entre la acción del alumno y la respuesta en la pantalla. Esto dificulta la fluidez del trabajo porque el alumno no ve de forma inmediata el resultado de sus movimientos. Por otro lado, los estudiantes comentan que la resistencia o la fuerza háptica que transmite el simulador al instrumento no es equivalente a la que percibirían en un diente real. De nuevo, estudios como (Daud, Alaa et al., 2023; Rodrigues, Pedro et al., 2023; Zafar et al., 2020a) han documentado limitaciones equivalentes.

Con respecto a las perspectivas de futuro de la simulación háptica, la experiencia directa de los estudiantes con el simulador permite que tanto los equipos docentes como las casas comerciales dispongan de información valiosa para optimizar la integración de esta tecnología en los programas de formación, así como para introducir mejoras técnicas en el diseño y funcionalidad de los dispositivos. Algunas de las mejoras propuestas por el alumnado de (Daud, Alaa et al., 2023) incluyen un aumento en el número de sesiones de simulación háptica, mejora del

agarre de la pieza de mano y producir un spray de agua simulado, la posibilidad de restaurar dientes y, por último, el permiso de acceso abierto/ilimitado al uso de los simuladores hápticos.

El uso de simuladores hápticos en odontología se focaliza en su aplicación en el entrenamiento preclínico. Los diferentes trabajos analizados coinciden en resaltar su valor pedagógico coadyuvante. El estudio de (Urbankova, Alice et al., 2022) propone que el simulador pudiera entrenar habilidades, y detectar precozmente a los estudiantes con mayores dificultades psicomotoras, permitiendo una intervención educativa más personalizada. En trabajos como los de (Farag & Hashem, 2022; Vincent et al., 2020) el simulador se utiliza para perfeccionar técnicas específicas una vez iniciados los estudios de grado, (Urbankova, Alice et al., 2022) y plantea su aplicación antes del ingreso.

Hay varias limitaciones que han condicionado la siguiente revisión sistemática, existe una variación metodológica entre los estudios incluidos, cada artículo ha utilizado una rúbrica diferente independientemente de que se estuvieran evaluando los mismos aspectos de la preparación cavitaria. Los estudios variaban en cuanto a los procedimientos evaluados, cavidades de clase I, cavidades de clase II y accesos para pulpotomías. Asimismo, se observó una ausencia de rúbricas y cuestionarios validados y estandarizados para medir tanto la destreza manual como la percepción de los estudiantes. Cada estudio empleó sus propios instrumentos de evaluación, lo que dificultó la comparativa.

Otra limitación relevante fue el escaso número de estudios publicados con calidad metodológica. Aunque la tecnología de simulación háptica está en expansión, la literatura científica aún es incipiente, muchos de los trabajos disponibles presentan limitaciones metodológicas como muestras reducidas, ausencia de grupos control o falta de seguimiento longitudinal. Además, cabe destacar que el desempeño en la destreza manual es un proceso difícil de medir, lo que supone una limitación importante en la presente-revisión.

Todos los artículos incluidos en la presente revisión sistemática concluyen que la simulación háptica es un tipo de metodología activa que refuerza, coadyuva y se combina con el aprendizaje preclínico de fantasmas, en ningún caso lo sustituye en la actualidad. Incluso en los dos artículos en los que se obtuvieron mejores desempeños

a favor de la simulación háptica, no afirman que sea posible reemplazar un tipo de aprendizaje por otro. El uso de simuladores hápticos en la enseñanza odontológica preclínica presenta un amplio potencial de desarrollo. Es previsible que los avances tecnológicos permitan superar muchas de las limitaciones actuales. Asimismo, la combinación de simulación háptica con tecnologías emergentes permitirá crear entornos de aprendizaje más inmersivos y próximos a la práctica clínica real. Estos sistemas desempeñarán un papel cada vez más relevante en la evaluación de las competencias manuales. No obstante, es fundamental seguir investigando estas herramientas a largo plazo.

10. CONCLUSIONES

1. El uso de simuladores hápticos contribuye al desarrollo de la destreza manual en estudiantes de Odontología, aunque los resultados no muestran una superioridad clara frente a los métodos tradicionales.
2. Los estudiantes valoran positivamente la simulación háptica como un recurso complementario en su aprendizaje didáctico.
3. La combinación de métodos tradicionales y simuladores hápticos parece ser la estrategia más eficaz para optimizar el aprendizaje práctico.
4. Se requieren investigaciones adicionales que utilicen metodologías estandarizadas para valorar el impacto de la simulación háptica sobre el aprendizaje práctico.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

References

- Abe, S., Noguchi, N., Matsuka, Y., Shinohara, C., Kimura, T., Oka, K., Okura, K., Rodis, O. M. M., & Kawano, F. (2018). Educational effects using a robot patient simulation system for development of clinical attitude. *European Journal of Dental Education : Official Journal of the Association for Dental Education in Europe*, 22(3), e327–e336. 10.1111/eje.12298
- Akifusa, S., Tchounwou, P. B., Philip, N., Ali, K., Duggal, M., Daas, H., & Nazzal, H. (2023). *Effectiveness and Student Perceptions of Haptic Virtual Reality Simulation Training as an Instructional Tool in Pre-Clinical Paediatric Dentistry: A Pilot Pedagogical Study*
- Aliaga, I., Pedrera-Canal, M., Vera, V., Rico Martín, S., Garcia Barbero, E., Leal-Hernández, O., & Moran, J. M. (2020). Preclinical assessment methodology using a dental simulator during dental students' first and third years. *Journal of Oral Science*, 62(1), 119–121. 10.2334/josnugd.18-0424
- Al-Saud, L. M. (2021). The utility of haptic simulation in early restorative dental training: A scoping review. *Journal of Dental Education*, 85(5), 704–721. 10.1002/jdd.12518
- Baechle, M. A., Gottlieb, R., Carrico, C. K., & Brody, E. R. (2022). Practice makes perfect? Association between students' performance measures in an advanced dental simulation course. *Journal of Dental Education*, 86(11), 1535. 10.1002/jdd.13017

- Bakr, M. M., Idris, G., & Al Ankily, M. (2024). The potential integration of Simodont® Dental Trainer in different stages of the dental curriculum. *The Saudi Dental Journal*, 36(11), 1449. 10.1016/j.sdentj.2024.09.002
- Bandiaky, O. N., Lopez, S., Hamon, L., Clouet, R., Soueidan, A., & Le Guehenne, L. (2023). *Impact of haptic simulators in preclinical dental education: A systematic review*. Wiley. 10.1002/jdd.13426
- Caleya, A. M., Martín-Vacas, A., Mourelle-Martínez, M. R., de Nova-Garcia, M. J., & Gallardo-López, N. E. (2025). Implementation of Virtual Reality in Preclinical Pediatric Dentistry Learning: A Comparison Between Simodont® and Conventional Methods. *Dentistry Journal*, 13(2)10.3390/dj13020051
- Coro-Montanet, G., Pardo Monedero, M. J., Sánchez Ituarte, J., & de la Hoz Calvo, A. (2022). Train Strategies for Haptic and 3D Simulators to Improve the Learning Process in Dentistry Students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 4081. doi: 10.3390/ijerph19074081. 10.3390/ijerph19074081
- Cox, M. J., Quinn, B. F., San Diego, J. P., Patel, J., Gawali, K., & Woolford, M. (2017). Innovations in teaching and learning strategies to improve the effectiveness of using haptic simulators in higher education for dental students and other health care disciplines. Paper presented at the , 515 387–397. 10.1007/978-3-319-74310-3_40 https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041509898&doi=10.1007%2f978-3-319-74310-3_40&partnerID=40&md5=aca58119c8ba7fd6bf482c467c7f1c2d

Daud, A., Matoug-Elwerfelli, M., Daas, H., Zahra, D., & Ali, K. (2023). Enhancing learning experiences in pre-clinical restorative dentistry: the impact of virtual reality haptic simulators. *BMC Medical Education*, 23(1)10.1186/s12909-023-04904-y

Daud, A., Matoug-Elwerfelli, M., Khalid, A., & Ali, K. (2024). The impact of virtual reality haptic simulators in pre-clinical restorative dentistry: a qualitative enquiry into dental students' perceptions. *BMC Oral Health*, 24(1)10.1186/s12903-024-04704-w

Daud, A., Matoug-Elwerfelli, M., Daas, H., Zahra, D., & Ali, K. (2023). Enhancing learning experiences in pre-clinical restorative dentistry: the impact of virtual reality haptic simulators. *BMC Medical Education*, 23(1)10.1186/s12909-023-04904-y

De Revisión, A., Estefany Grandez Gomez, K., Estefany, K., Gomez, G., Rosse, M., & Falcón-Antenucci. (2021). Simuladores en odontología y la formación de habilidades clínicas. *Odontología Sanmarquina*, 24(3), 261. 10.15381/os.v24i3.20717

Duan, M., Lv, S., Fan, B., & Fan, W. (2024). Effect of 3D printed teeth and virtual simulation system on the pre-clinical access cavity preparation training of senior dental undergraduates. *BMC Medical Education*, 24(1)10.1186/s12909-024-05869-2

Dwisaptarini, A. P., Suebnukarn, S., Rhienmora, P., Haddawy, P., & Koontongkaew, S. (2018). Effectiveness of the Multilayered Caries Model and Visuo-tactile

Virtual Reality Simulator for Minimally Invasive Caries Removal: A Randomized Controlled Trial. *Operative Dentistry*, 43(3), E110–E118. 10.2341/17-083-C

Farag, A., & Hashem, D. (2022). Impact of the Haptic Virtual Reality Simulator on Dental Students' Psychomotor Skills in Preclinical Operative Dentistry. *Clinics and Practice*, 12(1), 17–26. 10.3390/clinpract12010003

Felszeghy, S., Mutluay, M., Liukkonen, M., Flacco, N., Bakr, M. M., Rampf, S., Schick, S., Mushtaq, F., Sittoni-Pino, M. F., Ackerman, K., Arias-Herrera, S., Audsley, B., Bágyi, K., Bell, S., Bistey, T., Byrne, S., Carpegna, G., Carramolino-Cuéllar, E., da Costa, J. B., . . . Quinn, B. (2024). Benefits and challenges of the integration of haptics-enhanced virtual reality training within dental curricula. *Journal of Dental Education*, 10.1002/jdd.13800

Giri, G. S., Maddahi, Y., & Zareinia, K. (2021). An Application-Based Review of Haptics Technology. *Robotics*, 10(1)10.3390/robotics10010029

Hamama, H., Harrison, K. Y., & Murbay, S. (2024). *Benefits of using virtual reality in cariology teaching*. Springer Science and Business Media LLC. 10.1186/s12909-024-05980-4

Jonathan, D., Ashley, T., Nicolas, M., & James, F. (2021). Re-defining the virtual reality dental simulator: Demonstrating concurrent validity of clinically relevant assessment and feedback. *European Journal of Dental Education*, 25(1), 108–116. 10.1111/eje.12581

- Joseph, D., Davril, J., Mortier, E., Martrette, J., Tran, N., Corne, P., & Vincent, M. (2023). Distinguishing skill levels with haptic simulation in restorative dentistry: Myth or reality? *European Journal of Dental Education*, 10.1111/eje.12939
- Kolesnikov, M., Žefran, M., Steinberg, A. D., & Bashook, P. G. *PerioSim: Haptic Virtual Reality Simulator for Sensorimotor Skill Acquisition in Dentistry*
- Koo, S., Kim, A., Donoff, R. B., & Karimbux, N. Y. (2015). An initial assessment of haptics in preclinical operative dentistry training. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 6(1), 69–76. 10.1111/jicd.12065
- Li, Y., Ye, H., Ye, F., Liu, Y., Lv, L., Zhang, P., Zhang, X., & Zhou, Y. (2021). The Current Situation and Future Prospects of Simulators in Dental Education. *Journal of Medical Internet Research*, 23(4), e23635. 10.2196/23635
- Matoug-Elwerfelli, M., Al-Khabuli, J., Alhobeira, H., Dass, H., Abdou, A., & Ali, K. (2025). Integration of haptic virtual reality simulators in undergraduate dental curricula: A survey-based study in Gulf Cooperation Council countries. *PLOS One*, 20(5)10.1371/journal.pone.0322810
- Moussa, R., Alghazaly, A., Althagafi, N., Eshky, R., & Borzangy, S. (2021). *Effectiveness of Virtual Reality and Interactive Simulators on Dental Education Outcomes: Systematic Review*. Georg Thieme Verlag KG. 10.1055/s-0041-1731837
- Murbay, S., Neelakantan, P., Chang, J. W. W., & Yeung, S. (2020). ‘Evaluation of the introduction of a dental virtual simulator on the performance of undergraduate

dental students in the pre-clinical operative dentistry course'. *European Journal of Dental Education*, 24(1), 5–16. 10.1111/eje.12453

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 10.1136/bmj.n71

Paris, J. N., Archut, J., Hüsing, M., & Corves, B. (2020). Haptic simulation and synthesis of mechanisms. *Mechanism and Machine Theory*, 144, 103674. 10.1016/j.mechmachtheory.2019.103674

Patil, S., Bhandi, S., Awan, K. H., Licari, F. W., Di Blasio, M., Ronsivalle, V., Cicciù, M., & Minervini, G. (2023). Effectiveness of haptic feedback devices in preclinical training of dental students—a systematic review. *BMC Oral Health*, 23(1)10.1186/s12903-023-03410-3

Perry, S., Burrow, M. F., Leung, W. K., & Bridges, S. M. (2017). Simulation and curriculum design: a global survey in dental education. *Australian Dental Journal*, 62(4), 453–463. 10.1111/adj.12522

Perry, S., Bridges, S. M., & Burrow, M. F. (2015). A review of the use of simulation in dental education. *Simulation in Healthcare : Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 10(1), 31–37. 10.1097/SIH.0000000000000059

- Philip, N., Ali, K., Duggal, M., Daas, H., & Nazzal, H. (2023). Effectiveness and Student Perceptions of Haptic Virtual Reality Simulation Training as an Instructional Tool in Pre-Clinical Paediatric Dentistry: A Pilot Pedagogical Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5)10.3390/ijerph20054226
- Rangarajan, K., Davis, H., & Pucher, P. H. (2020). Systematic Review of Virtual Haptics in Surgical Simulation: A Valid Educational Tool? *Journal of Surgical Education*, 77(2), 337–347. 10.1016/j.jsurg.2019.09.006
- Ria, S., Cox, M. J., Quinn, B. F., San Diego, J. P., Bakir, A., & Woolford, M. J. (2018). A scoring system for assessing learning progression of dental students' clinical skills using haptic virtual workstations. *Journal of Dental Education*, 82(3), 277–285. 10.21815/JDE.018.028
- Rodrigues, P., Nicolau, F., Norte, M., Zorzal, E., Botelho, J., Machado, V., Proença, L., Alves, R., Zagalo, C., Lopes, D. S., & Mendes, J. J. (2023). Preclinical dental students self-assessment of an improved operative dentistry virtual reality simulator with haptic feedback. *Scientific Reports*, 13(1)10.1038/s41598-023-29537-5
- Rodrigues, P., Esteves, A., Botelho, J., Machado, V., Zagalo, C., Zorzal, E. R., Mendes, J. J., & Lopes, D. S. (2022). Usability, acceptance, and educational usefulness study of a new haptic operative dentistry virtual reality simulator. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 221, 106831. 10.1016/j.cmpb.2022.106831

- Rodrigues, P., Nicolau, F., Norte, M., Zorzal, E., Botelho, J., Machado, V., Proença, L., Alves, R., Zagalo, C., Lopes, D. S., & Mendes, J. J. (2023). Preclinical dental students self-assessment of an improved operative dentistry virtual reality simulator with haptic feedback. *Scientific Reports*, 13(1)10.1038/s41598-023-29537-5
- San Diego, J. P., Newton, T. J., Sagoo, A. K., Aston, T. -, Banerjee, A., Quinn, B. F. A., & Cox, M. J. (2022). Learning Clinical Skills Using Haptic vs. Phantom Head Dental Chair Simulators in Removal of Artificial Caries: Cluster-Randomized Trials with Two Cohorts' Cavity Preparation. *Dentistry Journal*, 10(11)10.3390/dj10110198
- Serrano, C. M., Bakker, D. R., Zamani, M., de Boer, I. R., Koopman, P., Wesselink, P. R., Berkhout, E., & Vervorn, J. M. (2023). Virtual reality and haptics in dental education: Implementation progress and lessons learned after a decade. *European Journal of Dental Education*, 27(4), 833–840. 10.1111/eje.12873
- Sevbitov, A. V., Kuznetsova, M. Y., Davidiants, A. A., Borisov, V. V., Dorofeev, A. E., & Timoshin, A. V. (2019). The training manual skills of students of stomatologist on simulators of a different level of realism. *Espacios*, 40(8), 1–5.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85063453549&partnerID=40&md5=dbb3b55ea155e3ac2a63c914bad2bab1>
- Srinivasan, M. A. (1995). *What is Haptics?*
- Tricio, J. A., Kleiman, S. E., Eiriksson, V. I., Vicuña, D. P., Cacciuttolo, F. R., Jorquera, G. A., Córdova, C. G., Gualda, J. I., Gutiérrez, M. F., Villalón, P. A., & Orsini, C. A. (2022). *Students' and tutors' perceptions of a deliberate simulated*

practice using patient-specific virtual and three-dimensional printed teeth models: A pilot study. Wiley. 10.1002/jdd.12909

Urbankova, A., Palomo, L., & Engebretson, S. P. (2022). A complex haptic exercise to predict pre-clinic operative dentistry performance: A prospective study. *Journal of Dental Education*, 86(12), 1628–1633. 10.1002/jdd.13082

Urbankova, A., Palomo, L., & Engebretson, S. P. (2022). A complex haptic exercise to predict pre-clinic operative dentistry performance: A prospective study. *Journal of Dental Education*, 86(12), 1628. 10.1002/jdd.13082

Vincent, M., Joseph, D., Amory, C., Paoli, N., Ambrosini, P., Mortier, É, & Tran, N. (2020). Contribution of Haptic Simulation to Analogic Training Environment in Restorative Dentistry. *Journal of Dental Education*, 84(3), 367–376. 10.21815/JDE.019.187

Wang, D., Li, T., Zhang, Y., & Hou, J. (2015). Survey on multisensory feedback virtual reality dental training systems. *European Journal of Dental Education*, 20(4), 248. 10.1111/eje.12173

Wei, Y., & Peng, Z. (2024). Application of Simodont virtual simulation system for preclinical teaching of access and coronal cavity preparation. *PloS One*, 19(12), e0315732. 10.1371/journal.pone.0315732

Zafar, S., Lai, Y., Sexton, C., & Siddiqi, A. (2020a). Virtual Reality as a novel educational tool in pre-clinical paediatric dentistry training: Students' perceptions. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 30(6), 791. 10.1111/ipd.12648

- Zafar, S., Lai, Y., Sexton, C., & Siddiqi, A. (2020b). Virtual Reality as a novel educational tool in pre-clinical paediatric dentistry training: Students' perceptions. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 30(6), 791–797. 10.1111/ipd.12648
- Ziane-Casenave, S., Mauroux, M., Devillard, R., & Kérourédan, O. (2022). Influence of practical and clinical experience on dexterity performance measured using haptic virtual reality simulator. *European Journal of Dental Education*, 26(4), 838–848. 10.1111/eje.12767
- Zou, H., Jin, S., Sun, J., & Dai, Y. (2016). A Cavity Preparation Evaluation System in the Skill Assessment of Dental Students. *Journal of Dental Education*, 80(8), 930–937.