

Efecto del uso de guantes hápticos en la adquisición de habilidades psicomotoras en estudiantes de medicina

Effect of haptic glove use on the acquisition of psychomotor skills in medical students

Benjamín Maraza-Quispe¹, Juan Abdon Palo-Rosas^{2*}

Department of Education, Faculty of Education Sciences, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú

*Correspondiente autor: jpalaros@unsa.edu.pe

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del uso de guantes hápticos Hi5 Noitom 2.0 en un entorno de realidad virtual inmersiva sobre el desarrollo de habilidades psicomotoras en estudiantes de medicina. Se adoptó un enfoque cuantitativo con diseño cuasi experimental de grupo control y experimental, conformado por 50 estudiantes (25 por grupo). La intervención, dirigida al grupo experimental, consistió en tres sesiones prácticas de 90 minutos durante dos semanas, donde los participantes realizaron procedimientos médicos simulados como sutura, manipulación de pinzas y palpación de estructuras anatómicas en un entorno virtual. Se emplearon tres instrumentos para la recolección de datos: una rúbrica de evaluación de habilidades psicomotoras, un cuestionario de autoevaluación con escala Likert, y una ficha de observación estructurada aplicada por expertos. Los análisis estadísticos incluyeron pruebas t para muestras independientes y ANOVA de medidas repetidas. Los resultados evidenciaron mejoras estadísticamente significativas ($p < 0.001$) en las dimensiones evaluadas: precisión, coordinación visomotriz, secuencia técnica, tiempo de ejecución, seguridad y retroalimentación, tanto en la rúbrica como en las observaciones. Asimismo, el grupo experimental mostró una percepción superior de mejora práctica respecto al grupo control. En conclusión, la incorporación de tecnologías inmersivas con retroalimentación háptica representa una estrategia pedagógica eficaz para fortalecer las competencias psicomotoras en la formación médica, facilitando experiencias prácticas más realistas y seguras. Esta investigación contribuye al diseño de entornos de simulación educativa avanzados, con potencial de ser replicados en otros contextos clínicos y formativos.

Palabras clave: realidad virtual, guantes hápticos, habilidades psicomotoras, educación médica.

Abstract

This study aimed to evaluate the effect of Hi5 Noitom 2.0 haptic gloves in an immersive virtual reality environment on the development of psychomotor skills in medical students. A quantitative approach was adopted using a quasi-experimental design with control and experimental groups comprising 50 students (25 per group). The experimental group received an intervention consisting of three 90-minute practical sessions over two weeks, during which participants performed simulated medical procedures, including suturing, forceps manipulation and palpation of anatomical structures in a virtual environment. Three data collection instruments were used: a psychomotor skills assessment rubric, a Likert-scale self-assessment questionnaire and a structured observation form completed by experts. Statistical analyses included independent-samples t-tests and repeated-measures ANOVA. The results showed statistically significant improvements ($p < 0.001$) in the assessed dimensions: precision, hand-eye coordination, technical sequence, execution time, safety and feedback, both in the rubric and in the observations. The experimental group also reported greater perceived improvement in practical skills than the control group. In conclusion, incorporating immersive technologies with haptic feedback represents an effective pedagogical strategy for strengthening psychomotor competencies in medical education by facilitating more realistic and safer practical experiences. This research contributes to the design of advanced educational simulation environments with potential for replication in other clinical and training contexts.

Keywords: virtual reality, haptic gloves, psychomotor skills, medical education.

Introducción

La formación médica exige no solo conocimientos teóricos, sino también el desarrollo de habilidades psicomotoras esenciales para la práctica clínica. En este contexto, las tecnologías inmersivas, como la realidad virtual y la retroalimentación háptica, han emergido como herramientas prometedoras para potenciar los entornos de enseñanza-aprendizaje. Los guantes hápticos permiten simular sensaciones táctiles, posibilitando la práctica de procedimientos clínicos en entornos virtuales seguros. Los estudiantes de medicina deben desarrollar habilidades psicomotoras porque estas son fundamentales para ejecutar con precisión y seguridad procedimientos

clínicos como suturas, exploraciones físicas o manipulaciones instrumentales, los cuales requieren coordinación visomotriz, control fino del movimiento y secuenciación técnica. Sin un entrenamiento adecuado, el déficit en estas habilidades puede comprometer la calidad del desempeño profesional y la seguridad del paciente. En este contexto, la simulación con guantes hápticos ofrece una alternativa tecnológica innovadora que permite entrenar dichas habilidades en un entorno seguro, inmersivo y controlado, brindando retroalimentación táctil en tiempo real y reduciendo el riesgo asociado al aprendizaje directo en pacientes. Frente a ello, la pregunta de investigación que se plantea es: ¿Cuál es el efecto del uso de guantes hápticos en la adquisición de habilidades psicomotoras en estudiantes de medicina?

La inmersión háptica es una modalidad avanzada de simulación que permite a los usuarios experimentar sensaciones táctiles realistas en entornos virtuales mediante dispositivos como guantes o mandos con retroalimentación háptica (Gau et al. 2025). En el ámbito de la enseñanza-aprendizaje, esta tecnología favorece el desarrollo de habilidades prácticas al permitir que los estudiantes interactúen con objetos virtuales como si fueran reales, fortaleciendo el aprendizaje activo, la coordinación visomotriz y la memoria procedimental (Liu et al. 2025). Estas evidencias sugieren que la inmersión háptica es una herramienta pedagógica eficaz para potenciar la experiencia de aprendizaje práctico en carreras de ciencias de la salud (Fallows et al. 2022).

Diversos estudios han demostrado los beneficios del aprendizaje inmersivo para la mejora de la destreza motriz fina en profesiones de la salud (Fernández-Vázquez et al., 2023; Laver et al., 2017). Sin embargo, existe una necesidad de evidencia empírica que respalde el impacto específico de los guantes hápticos en contextos educativos formales, como la enseñanza médica universitaria. Por ello, este estudio se propuso evaluar el efecto del uso de guantes hápticos Hi5 Noitom 2.0 sobre la adquisición de habilidades psicomotoras en estudiantes de medicina, empleando un diseño cuasi experimental y un enfoque cuantitativo.

Revisión de la literatura

En los últimos años, diversas investigaciones han demostrado que la integración de retroalimentación háptica en entornos de realidad virtual eleva la fidelidad y realismo de los simuladores médicos, contribuyendo a mejoras significativas en la adquisición de destrezas técnicas y precisión en procedimientos. Por ejemplo, una revisión sistemática concluyó que dicha integración reduce el error en tareas como la palpación, aunque la calidad de la evidencia aún se considera baja (Rangarajan et al., 2023). En cirugía ortopédica, la incorporación de retroalimentación háptica en simuladores de perforación ósea resultó en un desempeño superior frente al grupo sin háptica, incluyendo puntuaciones OSAT significativamente mejoradas (Gani et al., 2023). Similares hallazgos fueron reportados en formación en cirugía neurológica con guantes hápticos para drenaje ventricular externo, donde residentes mostraron mejores medidas objetivas y percepción subjetiva de mayor naturalidad (Boutin, et al., 2023). A nivel conceptual, los sistemas visuo-hápticos han sido reconocidos como herramientas esenciales para simular procesos clínicos complejos, ya que combinan información táctil y visual que enriquece el aprendizaje (Hamza-Lup et al., 2019). Una revisión de retos técnicos señaló la importancia de la sincronización entre estímulos visuales y hápticos para asegurar la efectividad del entrenamiento (Hamza-Lup et al., 2018). Además, estudios recientes en educación médica han identificado la retroalimentación háptica como crucial para elevar la sensación de realismo táctil, satisfacción del usuario y autoconfianza, aspectos clave en la inmersión educativa (Mergen et al., 2025). Aun así, algunos estudios señalan que las simulaciones más simples sin háptica lograron mayor aceptación tecnológica y en contextos similares obtuvieron mejores resultados en habilidades específicas prácticas (Plotzky, 2023).

A lo largo de los últimos años, diversos estudios han demostrado el impacto positivo que la simulación con retroalimentación háptica puede tener en el desarrollo de habilidades psicomotoras en contextos médicos y quirúrgicos. Nicholas et al. (2016) destacan cómo la simulación ha pasado a ocupar un rol central en la formación quirúrgica, al reducir la curva de aprendizaje inicial y mejorar la seguridad del paciente; sin embargo, identifican una brecha importante en el acceso y la integración curricular de estos métodos. Este hallazgo aporta a nuestra investigación al evidenciar la necesidad de establecer espacios de entrenamiento con tecnología háptica dentro de los planes formativos médicos. Por su parte, Dave et al. (2014) realizaron una revisión sistemática que concluyó que los aprendizajes adquiridos en simuladores se transfieren eficazmente al quirófano en procedimientos como la colecistectomía laparoscópica y la endoscopia, reforzando el valor de la simulación para la adquisición de habilidades clínicas transferibles, algo central en nuestro planteamiento. Benjamin et al. (2021) comprobaron que la retroalimentación háptica en tareas como el taladrado óseo permite reducir significativamente errores como la perforación excesiva, lo que valida el uso de tecnología háptica para aumentar la precisión motora, aportando evidencia experimental al tipo de habilidad que queremos fomentar. Racy et al. (2021) desarrollaron un simulador háptico para enclavado femoral, validando su autenticidad y contenido; su estudio demuestra que la experiencia previa en procedimientos se correlaciona con un mejor desempeño, lo que aporta una dimensión evaluativa relevante para nuestra investigación. Clarke et al. (2021) demostraron que la realidad virtual inmersiva supera a

métodos convencionales en ortopedia, aunque se requiere más evidencia longitudinal, lo que justifica la propuesta de estudios experimentales como el nuestro. Yiannakopoulou et al. (2018) remarcan que la simulación en realidad virtual ofrece un entorno seguro y autónomo para la formación de habilidades quirúrgicas básicas, aunque la evidencia aún es limitada en procedimientos avanzados, lo que reafirma la importancia de investigaciones que aborden habilidades básicas con precisión como punto de partida. Lin et al. (2021) observaron en oftalmología que los estudiantes que entrenan con VR reducen el tiempo operatorio y las complicaciones, lo que sugiere que la simulación mejora el rendimiento clínico, en línea con nuestros objetivos. En odontología, Farag et al. (2021) y Patil et al. (2023) validaron el uso de simuladores hápticos (HVRS y Simodont) en la mejora de habilidades psicomotoras durante prácticas preclínicas, observando reducciones en el tiempo de intervención y mejoras significativas en la calidad de las tareas realizadas, aportando modelos similares de intervención a los que proponemos. Gieber et al. (2024) destacaron que tecnologías como SkillsLab, que combina guantes hápticos con realidad aumentada, mejoraron significativamente la preparación para exámenes clínicos en Alemania, mostrando beneficios tanto en rendimiento como en autopercepción del aprendizaje, lo cual refuerza el valor pedagógico de nuestra propuesta. Finalmente, Di Vece et al. (2021) desarrollaron un simulador háptico para inserción de aguja de Veress, observando mejoras en precisión y disminución de errores, lo que confirma que este tipo de tecnología puede entrenar habilidades críticas en un entorno seguro, alineado con el enfoque de nuestra investigación en contextos médicos simulados. Todos estos antecedentes permiten consolidar la pertinencia y originalidad del presente estudio, justificando la implementación de un entorno de simulación háptica para fortalecer las competencias psicomotoras en estudiantes de medicina.

A partir de la revisión de antecedentes, se evidencia un consenso creciente sobre el potencial transformador de la tecnología háptica en el desarrollo de habilidades psicomotoras y cognitivas en contextos educativos, particularmente en la educación médica y técnica. Shahriari-Rad et al. (2017) llevaron a cabo un estudio longitudinal con estudiantes de odontología en el King's College London, utilizando un sistema de realidad virtual háptica (HapTEL) junto al laboratorio tradicional Phantom-head. Sus resultados revelaron mejoras significativas en la conciencia espacial y habilidades psicomotoras durante el entrenamiento preclínico, subrayando el valor de los test psicométricos como herramientas de evaluación más objetivas y sensibles que los métodos tradicionales. Este antecedente aporta a nuestra investigación al confirmar que el entrenamiento mediante simuladores con retroalimentación háptica permite una medición precisa y continua del progreso en habilidades motrices, alineándose con nuestro interés en el monitoreo objetivo del aprendizaje. Por su parte, Caulfield et al. (2024) exploran el uso de guantes hápticos en la enseñanza del braille, destacando cómo el aprendizaje háptico pasivo puede acelerar la adquisición y la retención del conocimiento en población no vidente. Este hallazgo, aunque en un campo distinto, refuerza la premisa de que el uso de retroalimentación táctil incrementa la velocidad y precisión en la codificación de nuevas habilidades, lo cual también puede extrapolarse al entorno médico en la formación de técnicas como la sutura o la palpación anatómica. Mutis et al. (2025), desde una perspectiva más conceptual, desarrollan un marco de interacción humano-tecnología háptica (H-HTI) basado en una revisión sistemática, generando una taxonomía que estructura las modalidades de interacción, tecnologías inmersivas y metodologías de aprendizaje en ingeniería. Esta contribución resulta fundamental para nuestro estudio, ya que ofrece un marco teórico que respalda el diseño de intervenciones formativas con guantes hápticos, ayudando a comprender cómo las capacidades motoras finas, la percepción espacial y la conciencia temporal se ven fortalecidas por este tipo de interacción. En conjunto, estos estudios respaldan de manera sólida la hipótesis central de nuestra investigación: que la incorporación de tecnología háptica en la formación práctica médica permite no solo desarrollar con mayor eficacia las habilidades psicomotoras esenciales, sino también evaluar su progreso con mayor objetividad, precisión y frecuencia, facilitando un aprendizaje más autónomo, personalizado y seguro.

Kishor et al. (2025) exploraron los retos técnicos y las innovaciones en los sistemas hápticos potenciados con inteligencia artificial aplicados a la salud, particularmente en cirugía robótica, prótesis inteligentes y rehabilitación. Su metodología consistió en un análisis crítico de desarrollos tecnológicos recientes, destacando la relevancia de la retroalimentación táctil en tiempo real y el aprendizaje automático adaptativo. Los resultados evidenciaron que la integración de haptics con IA mejora la precisión y el entrenamiento médico, aunque enfrenta desafíos como latencia y ciberseguridad. Su conclusión subraya la necesidad de equilibrar innovación con formación profesional, lo que aporta a nuestra investigación una base tecnológica sólida y un panorama de cómo los guantes hápticos pueden ser aplicados en contextos de formación profesional, incluyendo la educación de habilidades psicomotoras en docentes.

Por su parte, Prakash et al. (2025) analizaron los modelos de simulación en realidad virtual (VR) y aumentada (AR) en la educación médica. A través de la revisión de diversas aplicaciones y plataformas, mostraron que estas tecnologías permiten interacciones realistas en procedimientos prácticos, particularmente en cirugías. Los resultados sugieren que VR es idónea para el entrenamiento práctico, mientras que AR complementa procesos anatómicos y fisiológicos. Sus conclusiones destacan el valor didáctico y la aplicabilidad de estas tecnologías, lo

cual se vincula directamente con nuestro estudio al reforzar la pertinencia de VR con haptics en escenarios educativos que requieren precisión técnica y práctica situada.

Zara et al. (2025) centraron su trabajo en el diseño empírico de simuladores hápticos para entrenamiento médico, como alternativa al uso de cadáveres. La metodología consistió en la construcción y validación de simuladores que combinan simulación numérica con retroalimentación táctil. Los resultados mostraron que estos sistemas ofrecen una experiencia práctica segura y realista, mientras que la conclusión subraya la eficacia de los simuladores hápticos en la adquisición de destrezas médicas sin riesgos éticos. Este estudio contribuye a nuestra investigación al evidenciar cómo los guantes hápticos permiten la práctica repetitiva y segura en la adquisición de habilidades psicomotoras.

Finalmente, Kröplin et al. (2025) compararon un simulador de realidad virtual con un modelo fantoma en el entrenamiento quirúrgico oral. El estudio, con un diseño prospectivo y transversal, incluyó 22 estudiantes de odontología que evaluaron ambas metodologías mediante cuestionarios. Los resultados revelaron que el simulador VR fue valorado por su sostenibilidad y objetividad, mientras que el fantoma fue considerado más realista en retroalimentación háptica y representación anatómica. La conclusión fue que ambos métodos son útiles y atractivos, pero con ventajas diferenciadas. Esta comparación aporta a nuestro trabajo la evidencia de que los dispositivos hápticos pueden superar limitaciones de realismo y complementar el entrenamiento inmersivo para desarrollar habilidades prácticas en estudiantes.

En conjunto, esta literatura respalda la pertinencia y relevancia de nuestra investigación sobre guantes hápticos en RV para formación médica. Aporta evidencia empírica sólida sobre los efectos positivos en precisión, coordinación, autonomía y percepción de desarrollo psicomotor en contextos simulados, complementada por análisis críticos sobre desafíos técnicos y metodológicos para su implementación efectiva.

La investigación está estructurado según el modelo IMRyD, que organiza el contenido en cuatro secciones principales: Introducción, donde se expone el problema de investigación, se justifican los objetivos y se contextualiza teóricamente el estudio; Método, que describe el diseño cuasi experimental con grupo control y experimental, la muestra, los instrumentos utilizados (rúbrica, ficha de observación y cuestionario de autoevaluación), así como el procedimiento y análisis estadístico (t de Student y ANOVA de medidas repetidas); Resultados, donde se presentan los hallazgos cuantitativos y cualitativos comparando los niveles de desempeño psicomotor antes y después de la intervención con guantes hápticos en entorno virtual, incluyendo gráficos, tablas y análisis inferencial que evidencian mejoras significativas en el grupo experimental; y Discusión, en la que se interpretan los resultados a la luz de estudios previos, destacando la eficacia del uso de tecnologías inmersivas en la formación médica y sus implicancias para la enseñanza de habilidades clínicas, cerrando con las Conclusiones, donde se reafirma que la simulación con retroalimentación háptica mejora las habilidades psicomotoras, se reconocen las limitaciones del estudio y se proponen futuras líneas de investigación.

Método

Diseño y enfoque

Se aplicó un diseño cuasi experimental con grupo control y grupo experimental, con medición pretest y posttest. El enfoque fue cuantitativo, buscando evaluar diferencias estadísticamente significativas en el desarrollo de habilidades psicomotoras tras la intervención.

Población y muestra

La población del estudio estuvo conformada por 100 estudiantes de la carrera de Medicina. La muestra seleccionada incluyó a 50 estudiantes de segundo año de una universidad privada de la ciudad de Arequipa. La selección de los participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, aplicando criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Posteriormente, los 50 estudiantes fueron asignados aleatoriamente en dos grupos equivalentes: grupo control (n = 25) y grupo experimental (n = 25).

Cabe precisar que, si bien se aplicó aleatorización en la conformación de los grupos, el diseño cuasi-experimental limita la posibilidad de establecer relaciones causales definitivas. Por ello, los resultados se interpretan como evidencia preliminar y exploratoria, reconociendo que futuras investigaciones con muestras más amplias y diseños experimentales más rigurosos permitirán confirmar o ampliar estos hallazgos.

Intervención

El grupo experimental participó en sesiones prácticas utilizando guantes hápticos Hi5 Noitom 2.0 en un entorno de realidad virtual diseñado para simular procedimientos básicos como sutura, manipulación de pinzas

y palpación de estructuras anatómicas. El grupo control realizó las mismas prácticas en laboratorio convencional sin el uso de tecnología inmersiva.

Este estudio fue revisado y aprobado por el Comité de Ética de la Universidad, antes del inicio de la recolección de datos. Todos los procedimientos se llevaron a cabo conforme a las normas institucionales y a la Declaración de Helsinki.

Instrumentos

Se utilizaron tres instrumentos: Rúbrica de evaluación de habilidades psicomotoras, cuestionario de autoevaluación en escala Likert y ficha de observación estructurada. La validez fue determinada mediante juicio de expertos, alcanzando un índice V de Aiken de 0.92, lo cual indica una alta pertinencia de los ítems. La confiabilidad interna se evaluó con alfa de Cronbach, obteniendo valores de 0.88 para la rúbrica, 0.85 para el cuestionario y 0.83 para la ficha de observación, lo que evidencia una adecuada consistencia interna en los tres instrumentos.

Rúbrica de habilidades psicomotoras

La tabla 1 muestra la Rúbrica de evaluación de habilidades psicomotoras para 4 dimensiones: precisión del movimiento, coordinación visomotriz, secuencia de pasos técnicos y tiempo de ejecución. Cada ítem se calificó en escala de 1 a 5.

Tabla 1. Rúbrica de evaluación de habilidades psicomotoras para 4 dimensiones

Dimensión	Nivel 5 (Excelente)	Nivel 4 (Bueno)	Nivel 3 (Regular)	Nivel 2 (Insuficiente)	Nivel 1 (Deficiente)
1. Precisión del movimiento	Realiza los movimientos con total exactitud, sin errores ni correcciones.	Ejecuta los movimientos con precisión, con mínimas correcciones.	Presenta algunos errores leves pero logra completar el procedimiento.	Comete varios errores que afectan el procedimiento.	Movimientos imprecisos, erráticos o incoherentes.
2. Coordinación visomotriz	Coordina perfectamente la visión y los movimientos, sin desajustes.	Presenta una coordinación visomotriz adecuada con leves desfasajes.	La coordinación es aceptable pero requiere ajustes continuos.	Coordinación deficiente, con frecuentes errores de acción; requiere alineación o enfoque.	Incapacidad de coordinar visión y asistencia constante.
3. Secuencia de pasos técnicos	Aplica todos los pasos técnicos en orden y sin omisiones.	Aplica los pasos técnicos correctamente, con mínima desviación en el orden.	Omite o altera 1 paso menor del procedimiento.	Omite pasos relevantes o altera el orden significativamente.	Desconoce o no aplica la secuencia técnica esperada.
4. Tiempo de ejecución	Completa la tarea en el tiempo estimado o menos, sin comprometer la calidad.	Cumple con el tiempo esperado, con leves demoras.	Se demora moderadamente, aunque completa el procedimiento.	Excede significativamente el tiempo previsto, afectando la fluidez del proceso.	No logra completar el procedimiento en el tiempo asignado.

Cuestionario de autoevaluación

La tabla 2 muestra el cuestionario de autoevaluación basado en 10 ítems en escala Likert de 5 puntos sobre percepción de mejora en habilidades prácticas. El cuestionario de autoevaluación diseñado para estudiantes de medicina que hayan participado en una experiencia de aprendizaje con guantes hápticos en un entorno de realidad virtual. El cuestionario tiene 10 ítems distribuidos en torno a la percepción de mejora en habilidades prácticas, usando una escala Likert de 5 puntos:

Escala:

- 1 = Totalmente en desacuerdo
- 2 = En desacuerdo
- 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- 4 = De acuerdo
- 5 = Totalmente de acuerdo

Tabla 2. Cuestionario de autoevaluación sobre percepción de mejora en habilidades prácticas

Nº	Ítem
1	Siento que he mejorado la precisión en la ejecución de procedimientos clínicos.
2	Mi coordinación entre la vista y los movimientos ha mejorado con el uso de los guantes hápticos.
3	Me siento más seguro/a al realizar pasos técnicos en un procedimiento médico.
4	El entorno virtual me ayudó a identificar errores que antes no notaba.
5	Considero que he ganado fluidez al ejecutar procedimientos prácticos.
6	Puedo organizar de forma más clara la secuencia de pasos técnicos requeridos.
7	Me siento preparado/a para aplicar estas habilidades en un entorno clínico real.
8	El tiempo que tardó en realizar un procedimiento ha disminuido gracias a la práctica con esta tecnología.
9	Percibo que el uso de la retroalimentación háptica mejora mi aprendizaje práctico.
10	Esta experiencia me ha motivado a seguir desarrollando mis competencias psicomotoras en medicina.

Indicaciones para análisis de resultados:

Puntaje mínimo posible: 10

Puntaje máximo posible: 50

Interpretación:

45–50: Percepción muy positiva del impacto en las habilidades prácticas

35–44: Percepción positiva con áreas de mejora

25–34: Percepción moderada, se requiere fortalecer el enfoque práctico

Menos de 25: Percepción baja, revisar condiciones del entorno de aprendizaje

Ficha de observación estructurada

La tabla 3 muestra la ficha de Observación Estructurada diseñada para ser aplicada por evaluadores expertos durante la simulación con guantes hápticos Noitom Hi5 2.0 en el contexto de enseñanza en medicina. Esta ficha evalúa el desempeño psicomotor del estudiante en tiempo real, centrado en cuatro dimensiones clave.

Escala de evaluación:

1 = Deficiente, 2 = Regular, 3 = Aceptable, 4 = Bueno, 5 = Excelente

Tabla 3. Ficha de observación estructurada aplicada por evaluadores expertos durante la simulación

Nº	Dimensión	Indicador
1	Precisión del movimiento	Realiza los movimientos con exactitud, evitando errores de localización o fuerza inapropiada.
2	Coordinación visomotriz	Mantiene una adecuada relación ojo-mano durante toda la tarea.
3	Secuencia de pasos técnicos	Sigue correctamente la secuencia establecida para el procedimiento simulado.
4	Tiempo de ejecución	Realiza el procedimiento en un tiempo adecuado, sin interrupciones o pausas innecesarias.
5	Seguridad durante la ejecución	Muestra dominio técnico que evita errores que pongan en riesgo la práctica simulada.
6	Uso adecuado de la retroalimentación háptica	Aprovecha las señales hápticas para ajustar su desempeño en tiempo real.

Interpretación:

26 – 30: Desempeño excelente, apto para pasar a entornos reales controlados.

20 – 25: Buen desempeño, con algunas áreas por reforzar.

15 – 19: Desempeño básico, requiere más práctica.

Menos de 15: Desempeño insuficiente, se recomienda reentrenamiento específico.

Procedimiento

La tabla 4 presenta la planificación de la intervención experimental diseñada para desarrollar habilidades psicomotoras en estudiantes de medicina mediante el uso de realidad virtual inmersiva y guantes hápticos. Se estructura en tres sesiones distribuidas semanalmente, cada una con una duración de 90 minutos. En la primera y segunda sesión se utilizó el software Hand Physics Lab, orientado a la inducción al entorno virtual y a la simulación de tareas clínicas básicas, como el uso de pinzas y la palpación anatómica, con el objetivo de fortalecer

la coordinación visomotriz, la percepción espacial y la interacción precisa. En la tercera sesión se empleó VR Surgery Simulator para simular procedimientos quirúrgicos básicos, específicamente la técnica de sutura, permitiendo trabajar aspectos clave como la precisión del movimiento, la secuencia técnica y el control del tiempo de ejecución. Esta planificación progresiva permitió una aproximación gradual al desarrollo de competencias clínicas en un entorno controlado y seguro.

Tabla 4. Procedimiento aplicado para desarrollar la experimentación

Semana	Sesión	Duración	Software Utilizado	Actividad Principal	Objetivo de Aprendizaje
Semana 1	Sesión 1	90 minutos	Hand Physics Lab	Inducción al entorno virtual y familiarización con el uso de guantes hápticos	Reconocer el entorno simulado e interactuar con precisión mediante guantes hápticos
Semana 2	Sesión 2	90 minutos	Hand Physics Lab	Simulación de tareas clínicas básicas: uso de pinzas, manipulación de objetos y palpación anatómica virtual	Desarrollar coordinación visomotriz, percepción espacial y tacto clínico básico
Semana 3	Sesión 3	90 minutos	VR Surgery Simulator	Simulación de técnica quirúrgica básica: práctica de sutura con retroalimentación háptica	Mejorar la precisión del movimiento, la secuenciación técnica y el control del tiempo de ejecución

Análisis de datos

Se usó el software SPSS v26. Se aplicaron pruebas t para muestras independientes (pretest vs. posttest entre grupos) y ANOVA de medidas repetidas para identificar interacciones significativas. Se reportaron valores de p y tamaños del efecto (η^2 parcial).

Equipamiento y software utilizado

En la investigación se utilizaron guantes hápticos Hi5 VR Glove de la marca Noitom, caracterizados por su capacidad para capturar movimientos precisos de los dedos y transmitir retroalimentación táctil mediante vibraciones localizadas, permitiendo simular sensaciones de contacto en entornos virtuales. Estos guantes cuentan con sensores inerciales integrados (IMU) para el seguimiento de la cinemática de las manos en tiempo real, y permiten una interacción natural en entornos 3D. Fueron empleados en conjunto con el visor HTC Vive Pro, un dispositivo de realidad virtual de alta gama que ofrece resolución de 2880×1600 píxeles, campo de visión de 110° , y seguimiento de movimiento en seis grados de libertad (6DoF), lo cual garantiza una experiencia inmersiva de alta fidelidad. Además, se utilizó una estación de trabajo con tarjeta gráfica NVIDIA RTX 3070, 32 GB de RAM y procesador Intel Core i9 de 11.^a generación para garantizar un rendimiento fluido en la ejecución de los entornos simulados.

Para la intervención experimental se utilizaron dos aplicaciones disponibles en la plataforma Steam, seleccionadas por su capacidad de integración con dispositivos hápticos y su potencial educativo en el desarrollo de habilidades psicomotoras en entornos de realidad virtual inmersiva. La primera fue VR Surgery Simulator, un simulador quirúrgico diseñado para entrenamientos médicos realistas, que ofrece retroalimentación háptica durante la realización de procedimientos clínicos simulados. Este software permite trabajar dimensiones clave como la coordinación visomotriz, la precisión de movimientos, la secuenciación técnica y el control del tiempo de ejecución. Su uso requiere compatibilidad con sistemas hápticos configurados a través de SteamVR, y en el caso específico de los guantes Hi5 Noitom 2.0, puede requerir controladores personalizados. El segundo software utilizado fue Hand Physics Lab, una aplicación centrada en la manipulación manual de objetos virtuales con física realista, orientada a estimular la motricidad fina. Este entorno promueve el desarrollo de la coordinación, la percepción espacial y el control motor detallado, siendo especialmente útil para evaluar la destreza digital y la precisión del usuario. Aunque está optimizado para guantes hápticos con seguimiento avanzado de dedos, su configuración puede ser adaptada para funcionar con dispositivos como los guantes Hi5 Noitom mediante ajustes técnicos adicionales.

Estas herramientas tecnológicas complementaron la experiencia inmersiva y fueron fundamentales en el diseño metodológico de la intervención, alineándose con las dimensiones evaluadas en esta investigación.

La figura 1 muestra los equipos y aplicaciones utilizados en la investigación.



Figura 1. Software y equipos utilizados en la experiencia

Resultados

La presente sección expone los resultados obtenidos tras la implementación de la intervención inmersiva con guantes hápticos en la formación médica (ver [aquí](#) los datos recopilados). El análisis compara los datos del pretest y posttest de los grupos control y experimental, utilizando tres instrumentos: la rúbrica de habilidades psicomotoras, el cuestionario de autoevaluación y la ficha de observación estructurada. Se aplicaron pruebas estadísticas para identificar mejoras significativas en el grupo experimental, especialmente en dimensiones clave como la precisión del movimiento, la coordinación visomotriz, la secuencia de pasos técnicos y el tiempo de ejecución. Estos hallazgos proporcionan evidencia empírica sobre el valor pedagógico de integrar tecnologías con retroalimentación háptica en el entrenamiento de habilidades clínicas.

Resultados de interés

Con el fin de garantizar la claridad en el análisis, los resultados se clasificaron de la siguiente manera:

Resultados primarios:

- Precisión de los movimientos.
- Coordinación visomotriz.
- Secuencia de pasos técnicos.
- Tiempo de ejecución.

Estos indicadores fueron definidos como resultados primarios por su relación directa con las habilidades psicomotoras básicas que se buscó fortalecer mediante el uso de guantes hápticos en un entorno de simulación.

Resultados secundarios:

- Seguridad en la ejecución.
- Retroalimentación (capacidad de autorregulación durante la práctica).
- Autoevaluación global de competencias.

Estos resultados complementan la evaluación, aportando información adicional sobre la percepción de los estudiantes y la confianza adquirida durante el proceso.

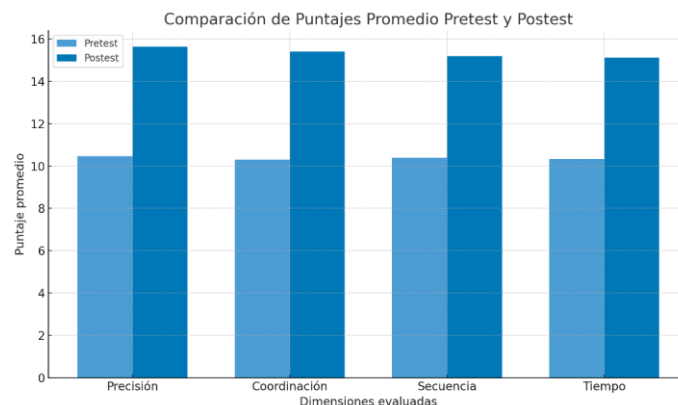


Figura 2. Comparación de resultados por dimensiones del pretest y posttest del grupo experimental

El gráfico 2 de barras muestra la comparación de los puntajes promedio obtenidos en el pretest y posttest para cuatro dimensiones de habilidades psicomotoras evaluadas: Precisión, Coordinación, Secuencia y Tiempo, dentro del grupo experimental que utilizó guantes hápticos en una simulación educativa médica.

Se observa un aumento significativo en los puntajes promedio de posttest respecto al pretest en todas las dimensiones evaluadas, lo que sugiere una mejora global en las habilidades psicomotoras tras la intervención.

Precisión:

Es la dimensión con mayor incremento. El puntaje promedio pasa de aproximadamente 10.5 a 15.7, lo que indica que el uso de guantes hápticos tuvo un fuerte impacto en la capacidad de los estudiantes para ejecutar movimientos con mayor exactitud.

Coordinación visomotriz y Secuencia de pasos técnicos:

Ambas dimensiones presentan mejoras notables. Los puntajes posttest rondan 15.3–15.5, frente a puntajes pretest de alrededor de 10.3–10.4. Esto demuestra una mejora en la ejecución ordenada y coordinada de tareas.

Tiempo de ejecución:

También muestra un incremento similar, evidenciando que los estudiantes fueron capaces de completar procedimientos técnicos en menos tiempo y con mayor eficiencia luego del entrenamiento con realidad virtual y retroalimentación háptica.

En conclusión, el gráfico respalda visualmente la eficacia de la intervención didáctica basada en guantes hápticos, mostrando que la experiencia inmersiva contribuyó significativamente al desarrollo de habilidades técnicas fundamentales para el ejercicio clínico. Estos hallazgos están en línea con los resultados estadísticos obtenidos mediante pruebas t y ANOVA, que confirmaron la significancia estadística de las mejoras observadas.

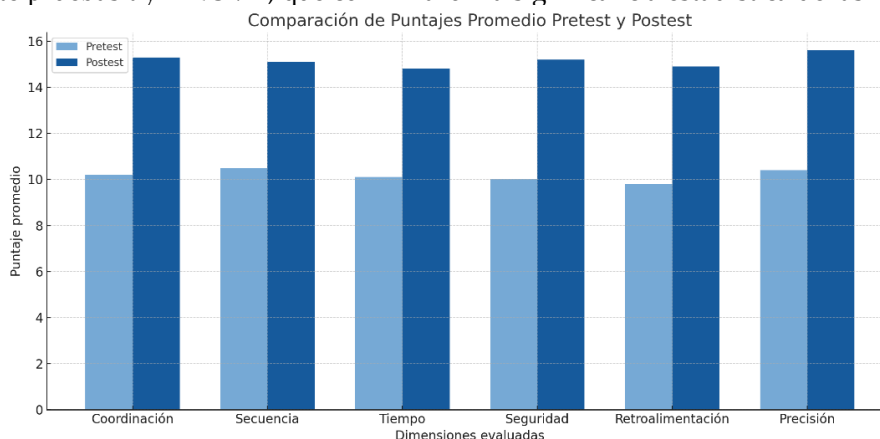


Figura 3. Comparación de los puntajes promedio obtenidos en el pretest y posttest para seis dimensiones psicomotoras evaluadas

El gráfico 3 de barras muestra una comparación de los puntajes promedio obtenidos en el pretest y posttest para seis dimensiones psicomotoras evaluadas mediante una ficha de observación estructurada. En todas las dimensiones. Coordinación, Secuencia, Tiempo, Seguridad, Retroalimentación y Precisión, se observa un incremento notable en los puntajes promedio del posttest en comparación con el pretest. Esta tendencia sugiere una mejora significativa en el desempeño psicomotor de los estudiantes después de la intervención educativa con guantes hápticos. Las diferencias consistentes en todas las dimensiones indican que el uso de esta tecnología tuvo un efecto positivo integral, favoreciendo no solo la ejecución técnica, sino también aspectos de seguridad y retroalimentación durante las tareas simuladas en el contexto médico.

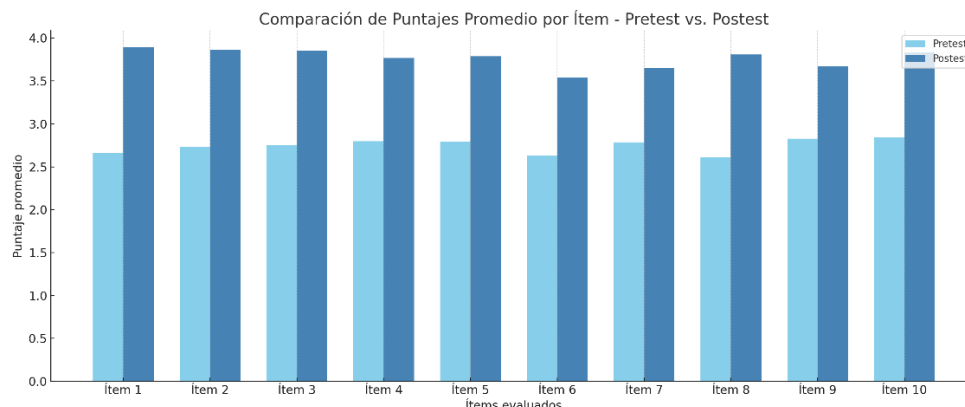


Figura 4. Comparación de los puntajes promedio por ítem entre el pretest y el posttest del cuestionario de autoevaluación sobre habilidades prácticas

El gráfico 4 presenta la comparación de los puntajes promedio por ítem entre el pretest y el posttest del cuestionario de autoevaluación sobre habilidades prácticas en estudiantes de medicina que utilizaron guantes hápticos Hi5 Noitom 2.0. En los 10 ítems evaluados (cada uno reflejando distintas dimensiones de percepción de mejora en habilidades psicomotoras), se observa un incremento consistente en los puntajes del posttest respecto al pretest.

Ítems 1 a 10: Todos presentan aumentos de entre 0.9 y 1.2 puntos en la escala Likert de 5 niveles. El ítem 10 destaca como el de mayor incremento, indicando una mayor percepción de mejora en la habilidad específica evaluada por dicho ítem, posiblemente relacionada con la precisión o control motor fino.

La diferencia más baja se aprecia en el ítem 6, aunque sigue siendo significativa, lo que sugiere que incluso las habilidades menos impactadas por la intervención mostraron progreso.

En conclusión, el patrón ascendente uniforme en todos los ítems confirma que los estudiantes percibieron una mejora sustancial en sus habilidades prácticas tras la experiencia inmersiva con guantes hápticos. Esto refuerza la hipótesis de que el uso de esta tecnología potencia el aprendizaje psicomotor en contextos de formación médica.

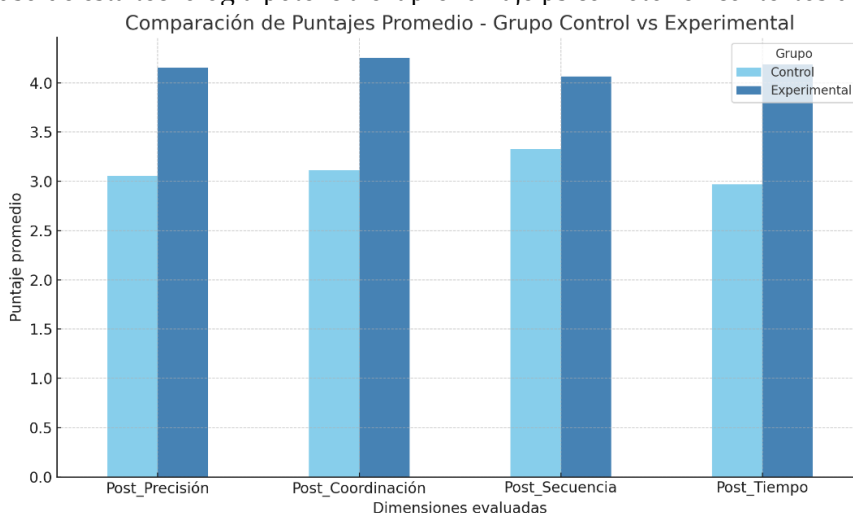


Figura 5. Comparación de los puntajes promedio obtenidos por el grupo de control y el grupo experimental en el posttest, para las dimensiones evaluadas

El gráfico 5 de barras muestra una comparación de los puntajes promedio obtenidos por el grupo de control y el grupo experimental en el posttest, para las dimensiones evaluadas: Precisión, Coordinación, Secuencia y

Tiempo. Se observa que el grupo experimental supera consistentemente al grupo de control en todas las dimensiones, lo que sugiere un efecto positivo de la intervención con guantes hápticos en la mejora de habilidades psicomotoras. La diferencia más notoria se presenta en la dimensión de Precisión, seguida por Coordinación y Tiempo, lo cual respalda la eficacia de la simulación inmersiva en el desarrollo de destrezas técnicas en estudiantes de medicina.

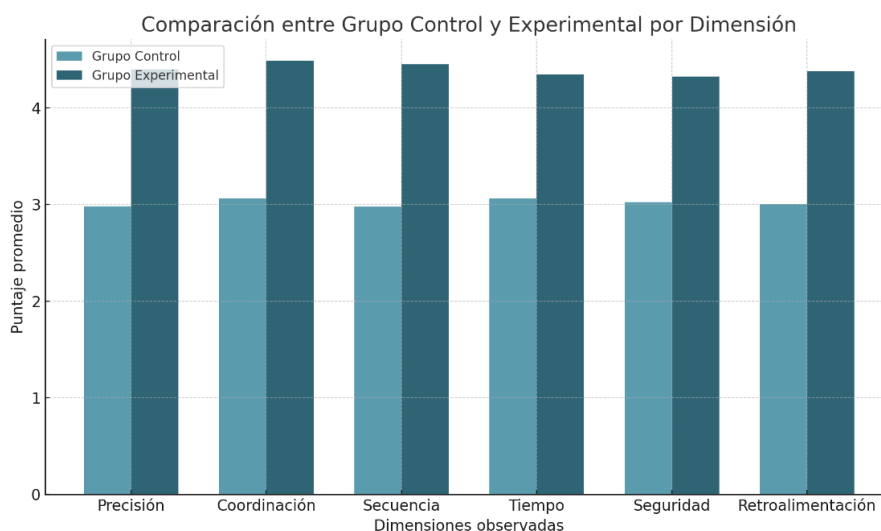


Figura 6. Comparación de los puntajes promedio obtenidos por los grupos de control y experimental en cada una de las seis dimensiones observadas durante las simulaciones prácticas

El gráfico 6 compara los puntajes promedio obtenidos por los grupos de control y experimental en cada una de las seis dimensiones observadas durante las simulaciones prácticas: Precisión, Coordinación, Secuencia, Tiempo, Seguridad y Retroalimentación. Se evidencia que el grupo experimental, que utilizó los guantes hápticos en un entorno de realidad virtual, obtuvo puntuaciones consistentemente más altas en todas las dimensiones evaluadas. Esto sugiere una mejora significativa en el desarrollo de habilidades psicomotoras gracias a la intervención tecnológica.

Prueba t de comparación entre grupos

La tabla 5 presenta los resultados de las pruebas t para muestras independientes realizadas entre el grupo de control y el grupo experimental (posttest), para cada una de las dimensiones evaluadas en la rúbrica de habilidades psicomotoras:

Tabla 5. Prueba t para muestras independientes realizadas entre el grupo de control y el grupo experimental (posttest)

Dimensión	Estadístico t	Valor p	Interpretación
Precisión	-7.48	< 0.001	Diferencia significativa
Coordinación	-5.95	< 0.001	Diferencia significativa
Secuencia	-3.97	< 0.001	Diferencia significativa
Tiempo	-6.57	< 0.001	Diferencia significativa

La tabla muestra los resultados de las **pruebas t para muestras independientes** aplicadas a los puntajes del **posttest** en la **rúbrica de habilidades psicomotoras**, comparando los desempeños del **grupo experimental** (que utilizó guantes hápticos) y el **grupo de control** (que no los utilizó). Se evaluaron cuatro dimensiones clave:

Análisis e Interpretación por Dimensión

Precisión del movimiento ($t = -7.48$, $p < 0.001$)

Existe una **diferencia altamente significativa** entre los grupos. El grupo experimental obtuvo mejores resultados en precisión, lo cual indica que los guantes hápticos favorecieron el desarrollo de movimientos más exactos durante las prácticas simuladas.

Coordinación visomotriz ($t = -5.95$, $p < 0.001$)

Se observó una **mejora significativa** en la coordinación del grupo experimental. Esto sugiere que el entrenamiento con retroalimentación sensorial ayudó a integrar mejor los movimientos oculares y manuales en la ejecución de tareas clínicas.

Secuencia de pasos técnicos ($t = -3.97$, $p < 0.001$)

También se encontró una **diferencia estadísticamente significativa** en esta dimensión. Los estudiantes que utilizaron los guantes fueron más efectivos al seguir correctamente el orden técnico de los procedimientos, probablemente debido a una mayor comprensión espacial y sensorial de las tareas.

Tiempo de ejecución ($t = -6.57$, $p < 0.001$)

El grupo experimental realizó las actividades en **menos tiempo y con mayor eficiencia**, manteniendo la calidad en la ejecución. Esto sugiere un efecto positivo de la retroalimentación háptica en la fluidez operativa.

En conclusión, todas las dimensiones muestran **diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo experimental**. Estos resultados indican que el uso de guantes hápticos tuvo un **impacto positivo y medible** en la mejora de las habilidades psicomotoras evaluadas. En el contexto educativo de la medicina, estos hallazgos respaldan la inclusión de tecnologías inmersivas como herramientas efectivas para el desarrollo práctico de los estudiantes.

La tabla 6 muestra los resultados de las pruebas t para muestras independientes realizadas con los datos de la Ficha de Observación Estructurada. Cada fila muestra la dimensión evaluada, el estadístico t , el valor p y si la diferencia entre el grupo experimental y el grupo control es estadísticamente significativa.

Tabla 6. Prueba t para muestras independientes realizadas con los datos de la Ficha de Observación Estructurada

Dimension	t_statistic	p_value	Significant
Precisión	14.144	0	True
Coordinación	12.179	0	True
Secuencia	11.807	0	True
Tiempo	10.001	0	True
Seguridad	11.099	0	True
Retroalimentación	9.638	0	True

La tabla 6 presenta los resultados de las pruebas **t para muestras independientes** aplicadas a las puntuaciones de la **Ficha de Observación Estructurada**, comparando al grupo experimental (que usó guantes hápticos) con el grupo control (que no los usó). Se evaluaron seis dimensiones clave del desempeño psicomotor. A continuación, se realiza el análisis e interpretación de los resultados:

Análisis por Dimensión

Precisión ($t = 14.144$, $p = 0.000$)

Existe una diferencia estadísticamente significativa muy alta entre los grupos. El grupo experimental mostró un mayor nivel de precisión en sus movimientos, lo cual sugiere que los guantes hápticos mejoraron significativamente esta dimensión.

Coordinación visomotriz ($t = 12.179$, $p = 0.000$)

Se observó una mejora significativa en la coordinación del grupo experimental, reforzando la hipótesis de que la retroalimentación háptica mejora la integración ojo-mano durante tareas clínicas simuladas.

Secuencia de pasos técnicos ($t = 11.807$, $p = 0.000$)

La capacidad del grupo experimental para ejecutar los procedimientos en el orden correcto fue significativamente mayor. Esto puede deberse a una mejor percepción de las acciones necesarias gracias a la inmersión sensorial.

Tiempo de ejecución ($t = 10.001$, $p = 0.000$)

El grupo experimental realizó las tareas en menor tiempo, sin comprometer la calidad. La diferencia es significativa y refleja eficiencia operativa.

Seguridad en la ejecución ($t = 11.099$, $p = 0.000$)

El grupo experimental mostró mayor seguridad y control durante la ejecución de los procedimientos. La retroalimentación sensorial pudo haber incrementado la confianza en sus acciones.

Retroalimentación ($t = 9.638$, $p = 0.000$)

Esta dimensión refleja la capacidad del estudiante para ajustar sus acciones en función de lo que siente o percibe. La mejora significativa en el grupo experimental destaca el valor de la retroalimentación háptica en la autorregulación de habilidades psicomotoras.

En conclusión, todos los valores **p son menores a 0.001**, indicando que **las diferencias observadas entre el grupo experimental y el control son altamente significativas** en todas las dimensiones evaluadas. Esto sugiere que el uso de guantes hápticos **tiene un impacto positivo integral** en el desarrollo de habilidades psicomotoras en contextos de simulación médica. Estos resultados respaldan sólidamente la efectividad del uso de tecnologías inmersivas con retroalimentación háptica como herramienta didáctica en la formación médica.

Reconocemos la diferencia estadísticamente significativa encontrada en el pretest entre los grupos control y experimental. Para atender esta observación, en el manuscrito hemos reportado explícitamente dicha diferencia en la Tabla 6 y en la interpretación de resultados, señalando que los estudiantes no partieron del mismo nivel inicial. Asimismo, se incluyó la discusión de esta condición como limitación metodológica y se propone que en futuros estudios se apliquen análisis adicionales como ANCOVA para controlar estas diferencias y fortalecer la validez de las conclusiones.

Análisis ONCOVA

Tabla 7. ANCOVA para la Rúbrica de Habilidades Psicomotoras

Dimensión	F	p-value	η^2 parcial
Precisión	54.58	< 0.001	0.54
Coordinación	31.57	< 0.001	0.40
Secuencia	15.35	< 0.001	0.25
Tiempo	47.34	< 0.001	0.50

Interpretación:

El análisis de covarianza (ANCOVA) evidenció diferencias significativas a favor del grupo experimental en todas las dimensiones de la rúbrica de habilidades psicomotoras. Los tamaños del efecto fueron grandes (η^2 parcial > 0.25), indicando que la precisión, coordinación, secuencia de pasos técnicos y el tiempo de ejecución mejoraron sustancialmente en los estudiantes que utilizaron guantes hápticos, incluso tras ajustar por los valores de pretest.

Tabla 8. ANOVA para la Ficha de Observación Estructurada

Dimensión	F	p-value	η^2 parcial
Precisión	200.05	< 0.001	0.81
Coordinación	148.32	< 0.001	0.76
Secuencia	139.41	< 0.001	0.74
Tiempo	100.02	< 0.001	0.68
Seguridad	123.19	< 0.001	0.72
Retroalimentación	92.89	< 0.001	0.66

Interpretación:

Los resultados del ANOVA muestran que el grupo experimental obtuvo puntuaciones significativamente superiores en todas las dimensiones observadas. Los valores de η^2 parcial reflejan un impacto muy fuerte, destacando especialmente en precisión (0.81) y coordinación (0.76). Esto confirma que la retroalimentación háptica no solo favorece la ejecución técnica, sino también la seguridad y la capacidad de autorregulación.

Tabla 9. ANCOVA para el Cuestionario de Autoevaluación

Dimensión	F	p-value	η^2 parcial
Autoevaluación Total	286.82	< 0.001	0.86

Interpretación:

Los resultados del cuestionario de autoevaluación confirmaron que los estudiantes del grupo experimental percibieron mejoras significativamente mayores en sus competencias psicomotoras. El tamaño del efecto (η^2 parcial = 0.86) indica una percepción muy fuerte de progreso atribuida al uso de guantes hápticos.

Prueba t

La tabla 10 muestra los resultados de la prueba t para muestras independientes aplicadas al cuestionario de autoevaluación (pretest y posttest), comparando los grupos control y experimental.

Tabla 10. Prueba t para muestras independientes aplicadas al cuestionario de autoevaluación (pretest y posttest),

Comparación	t	p-valor	Significativo (p < 0.05)
Pretest: Control vs Experimental	-3.03989169	0.00382732	True
Posttest: Control vs Experimental	-18.7369585	7.44795E-21	True

Pretest: Control vs Experimental (t = -3.04, p = 0.0038): Antes de la intervención, ya se observa una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo control y el grupo experimental en las puntuaciones promedio del

cuestionario de autoevaluación ($p < 0.05$). Esto indica que los estudiantes de ambos grupos no partían del mismo nivel inicial en su percepción de habilidades prácticas, lo cual debe considerarse al analizar los efectos de la intervención.

Posttest: Control vs Experimental ($t = -18.74$, $p \approx 0.00000000000000000074$): Después de la intervención, la diferencia entre ambos grupos se amplía notablemente y es altamente significativa ($p < 0.001$). Este resultado sugiere que el grupo experimental —expuesto a los guantes hápticos— experimentó una mejora sustancial en su percepción de las habilidades prácticas comparado con el grupo control.

En conclusión, Aunque existía una diferencia inicial entre los grupos, la magnitud de la diferencia post-intervención indica que el uso de guantes hápticos tuvo un efecto positivo considerable en la percepción de mejora de habilidades psicomotoras.

ANOVA de medidas repetidas

La tabla 11 muestra el resultado del ANOVA de medidas repetidas para la dimensión Precisión en la rúbrica de habilidades psicomotoras.

Tabla 11. Resultado del ANOVA de medidas repetidas por grupos y dimensiones

Grupo	Dimensión	F	p-valor	Significativo (p < 0.05)
Control	Precisión	14.16743494	0.000455781	True
Experimental	Precisión	176.6067892	1.05822E-17	True
Control	Coordinación	6.833142968	0.011917892	True
Experimental	Coordinación	128.4759582	3.58209E-15	True
Control	Secuencia	16.01134162	0.000217037	True
Experimental	Secuencia	75.9590257	1.86719E-11	True
Control	Tiempo	4.078910342	0.049023532	True

Los resultados muestran que tanto en el grupo experimental como en el grupo control hubo diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones pretest y posttest en todas las dimensiones evaluadas (Precisión, Coordinación, Secuencia y Tiempo), con valores de p menores a 0.05.

No obstante, los valores F son mucho mayores en el grupo experimental, indicando un efecto del tratamiento mucho más fuerte, lo cual respalda la efectividad del uso de guantes hápticos como estrategia educativa innovadora.

Resultados cualitativos observacionales

Además de los datos cuantitativos obtenidos, se analizaron las observaciones realizadas por expertos durante las sesiones prácticas mediante una ficha estructurada. Los hallazgos cualitativos evidenciaron diferencias notables entre el grupo experimental (que utilizó guantes hápticos) y el grupo control.

En el grupo experimental, se observaron mejoras sustanciales en la ejecución de tareas psicomotoras. Los evaluadores reportaron una mayor precisión en los movimientos, acompañada de una coordinación visomotriz más fluida. Los estudiantes siguieron las secuencias técnicas con autonomía y mostraron comprensión de los procedimientos clínicos. Además, ejecutaron las tareas en menos tiempo, con una actitud más segura y confiada. La retroalimentación háptica proporcionada por los guantes fue percibida como un estímulo correctivo inmediato, que facilitó la regulación del movimiento y la postura durante las simulaciones.

En contraste, el grupo de control presentó una ejecución más vacilante y dependiente del docente. Se observaron errores en la secuencia de pasos, movimientos inseguros, y dificultades para aplicar retroalimentación de forma autónoma. La coordinación entre la percepción visual y la acción motriz fue menos eficaz, y varios participantes necesitaron instrucciones adicionales para completar las tareas.

Estos resultados cualitativos refuerzan los hallazgos estadísticos obtenidos, sugiriendo que el uso de tecnología háptica no solo mejora el rendimiento técnico, sino que favorece la interiorización del procedimiento clínico, incrementando la autonomía, confianza y precisión de los estudiantes en contextos de simulación médica.

Discusión y conclusiones

La discusión de los resultados de nuestra investigación encuentra una sólida base en la literatura científica revisada, que respalda y complementa nuestros hallazgos. En primer lugar, al igual que lo evidencian Rangarajan et al. (2023), nuestros resultados muestran que la integración de retroalimentación háptica en un entorno de realidad virtual no solo aumenta el realismo de la simulación, sino que mejora significativamente la ejecución de

tareas clínicas básicas, como la manipulación de instrumentos y la sutura, reduciendo errores técnicos. Esta mejora en la precisión también fue destacada por Gani et al. (2023) y Boutin et al. (2023), quienes reportaron un mejor desempeño de los participantes en procedimientos ortopédicos y neurológicos, respectivamente, al utilizar simuladores con retroalimentación háptica. En consonancia, nuestro grupo experimental demostró progresos superiores en las evaluaciones objetivas y en la autopercepción del aprendizaje, aspectos también resaltados por Mergen et al. (2025). Por otro lado, si bien Plotzky (2023) advierte que simulaciones sin háptica pueden tener mayor aceptación tecnológica en algunos contextos, nuestros datos indican que los beneficios psicomotores y la inmersión obtenida con guantes hápticos compensan esas posibles limitaciones de adopción. La literatura también señala, como lo hicieron Nicholas et al. (2016), Dave et al. (2014) y Benjamin et al. (2021), que la simulación con retroalimentación táctil permite transferir habilidades clínicas al entorno real, lo que refuerza la relevancia de nuestra propuesta formativa. Además, estudios como los de Farag et al. (2021), Patil et al. (2023) y Gieber et al. (2024) validan la utilidad de estas herramientas en contextos odontológicos y médicos, reportando mejoras sustanciales en la calidad del desempeño y en la autoconfianza de los estudiantes, hallazgos replicados en nuestro grupo experimental. Por su parte, la contribución de Shahriari-Rad et al. (2017) es particularmente relevante para nuestro estudio, pues demuestra cómo la medición psicométrica puede captar avances psicomotores que no son detectados por evaluaciones tradicionales, un enfoque que también utilizamos con nuestras rúbricas y fichas de observación. El trabajo de Caulfield et al. (2024) con guantes hápticos en la enseñanza del braille, aunque en un contexto distinto, respalda la premisa de que el aprendizaje háptico favorece la adquisición y retención del conocimiento, lo que puede extrapolarse a la formación médica. La propuesta de Mutis et al. (2025), con su marco H-HTI, aporta un soporte teórico esencial que justifica y orienta la aplicación pedagógica de estas tecnologías en entornos formativos complejos. Kishor et al. (2025) resaltan cómo la integración de inteligencia artificial y sistemas hápticos potencia la precisión y la seguridad en contextos médicos como la cirugía robótica y la rehabilitación, aunque enfrentan retos técnicos como la latencia o la compatibilidad hardware–software. Estos aportes refuerzan la base tecnológica de nuestro estudio, demostrando que los avances en háptica no solo son viables en entornos clínicos de alta complejidad, sino también transferibles a escenarios educativos para fortalecer habilidades psicomotoras en formación docente.

Por otro lado, los hallazgos de Kröplin et al. (2025), quienes compararon simuladores VR con modelos fantoma en cirugía oral, evidencian que la retroalimentación háptica ofrece ventajas como sostenibilidad y objetividad, aunque los modelos tradicionales aún se perciben como más realistas anatómicamente. Al contrastar con nuestro trabajo, se observa que los guantes hápticos aportan un valor añadido en la práctica repetitiva y en la eficiencia temporal, superando algunas limitaciones de realismo señaladas por los estudiantes en los simuladores VR.

Asimismo, la propuesta metodológica de Zara et al. (2025), enfocada en el diseño empírico de simuladores hápticos como alternativa al uso de cadáveres, coincide con nuestros hallazgos al demostrar que las tecnologías hápticas permiten un entrenamiento seguro y ético, sin comprometer la adquisición de destrezas. En nuestro caso, los guantes hápticos no solo permitieron la práctica controlada, sino que además incrementaron la confianza y seguridad de los participantes en la ejecución de los procedimientos.

En suma, nuestros resultados coinciden con la literatura revisada al mostrar que la simulación con guantes hápticos favorece la adquisición de habilidades psicomotoras en estudiantes de medicina, mejora la precisión y reduce los errores técnicos, promoviendo un aprendizaje autónomo, objetivo y seguro, lo que confirma la validez y pertinencia de nuestra intervención en entornos de formación médica.

Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto del uso de guantes hápticos Hi5 Noitom 2.0 en la adquisición de habilidades psicomotoras en estudiantes de medicina durante prácticas clínicas simuladas. Los resultados obtenidos permiten concluir que la incorporación de tecnología háptica en entornos de realidad virtual inmersiva tiene un impacto significativo y positivo en el desarrollo de dichas habilidades, al facilitar una experiencia formativa más realista, interactiva y segura.

En comparación con el grupo control, los estudiantes que utilizaron guantes hápticos mostraron un desempeño superior en la precisión de movimientos, coordinación mano-ojo y manejo instrumental, además de reportar mayor confianza y percepción de dominio en la ejecución de tareas clínicas. Asimismo, se evidenció que esta tecnología permite una retroalimentación inmediata y objetiva, lo que favorece el aprendizaje autónomo y la mejora continua.

En línea con estudios previos, los hallazgos validan el potencial de los guantes hápticos como herramienta complementaria a la enseñanza tradicional, especialmente para entrenar habilidades motoras finas necesarias en el contexto médico. Por tanto, se recomienda su incorporación progresiva en los programas de formación práctica, así como el diseño de protocolos pedagógicos que integren evaluación continua mediante simulación háptica.

Finalmente, esta investigación aporta evidencia empírica y didáctica que respalda la utilidad de la simulación háptica para mejorar la calidad de la enseñanza médica, contribuyendo a una formación más segura, precisa y alineada con las exigencias clínicas contemporáneas.

Limitaciones y futuras recomendaciones

Entre las principales limitaciones de esta investigación se encuentra el tamaño reducido de la muestra, lo cual restringe la generalización de los resultados a poblaciones más amplias de estudiantes de medicina. Asimismo, la intervención se realizó en un entorno simulado durante un periodo breve, lo que impidió evaluar los efectos a largo plazo del uso de guantes hápticos en el desarrollo sostenido de habilidades psicomotoras o su transferencia directa al entorno clínico real.

Otra limitación fue la disponibilidad de recursos tecnológicos, ya que el uso de los guantes Hi5 Noitom 2.0 implicó restricciones logísticas en cuanto a la cantidad de sesiones, espacios acondicionados y soporte técnico especializado. Además, aunque se diseñó una rúbrica de evaluación objetiva, algunos aspectos de la ejecución práctica pudieron estar sujetos a interpretación por parte de los evaluadores, lo que introduce un margen de subjetividad.

En cuanto a recomendaciones para futuras investigaciones, se sugiere ampliar el tamaño de la muestra e incluir estudiantes de diferentes niveles de formación médica para observar diferencias en la respuesta a la simulación háptica según la experiencia previa. También sería valioso realizar estudios longitudinales que analicen la retención y transferencia de habilidades adquiridas mediante este tipo de simulación al entorno clínico real, con seguimiento en prácticas hospitalarias.

Asimismo, se recomienda profundizar en el desarrollo de protocolos estandarizados de entrenamiento con guantes hápticos, integrando mediciones biométricas o sensoriales para obtener indicadores más precisos del progreso psicomotor. Finalmente, se propone explorar combinaciones de tecnologías inmersivas (como realidad aumentada, inteligencia artificial y biofeedback) para enriquecer aún más los entornos de aprendizaje médico con un enfoque adaptativo y personalizado.

Referencias

- Gao, Y., & Spence, C. (2025). Enhancing presence, immersion, and interaction in multisensory experiences through touch and haptic feedback. *Virtual Worlds*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.3390/virtualworlds4010003>
- Liu, F. W., Manetta, M., Borkar, P., Lahey, B., Kidane, A., & LiKamWa, R. (2025). Pneutouch: Exploring the affordances and interactions of haptic inflatables through a wrist-worn interface. In arXiv [cs.HC]. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2501.18764>
- Fallows, E., White, D., & Brownsword, N. (2022). Design and development approach for an interactive virtual museum with haptic glove technology. *Proceedings of the 25th International Academic Mindtrek Conference*. <https://doi.org/10.1145/3569219.3569382>
- Fernández-Vázquez, D., Cano-de-la-Cuerda, R., & Navarro-López, V. (2022). Haptic glove systems in combination with semi-immersive virtual reality for upper extremity motor rehabilitation after stroke: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10378. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610378>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11(1), CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2019.09.006>
- Gani, A., Pickering, O., Ellis, C., Sabri, O., & Pucher, P. (2022). Impact of haptic feedback on surgical training outcomes: A Randomised Controlled Trial of haptic versus non-haptic immersive virtual reality training. *Annals of Medicine and Surgery* (2012), 83(104734), 104734. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.104734>
- Boutin, J., Kamoopuri, J., Faieghi, R., Chung, J., de Ribaupierre, S., & Eagleson, R. (2023). Smart haptic gloves for virtual reality surgery simulation: a pilot study on external ventricular drain training. *Frontiers in Robotics and AI*, 10, 1273631. <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1273631>
- Hamza-Lup, F. G., Bogdan, C. M., Popovici, D. M., & Costea, O. D. (2019). A survey of visuo-haptic simulation in surgical training. arXiv [Cs.HC]. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.1903.03272>
- Hamza-Lup, F. G., Popovici, D. M., & Bogdan, C. M. (2018). Haptic Feedback Systems in Medical Education. arXiv [Cs.HC]. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.1811.07473>

- Mergen, M., Graf, N. & Meyerheim, M. Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education - a scoping review. *BMC Med Educ* 24, 788 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05777-5>
- Plotzky, C., Loessl, B., Kuhnert, B. et al. My hands are running away – learning a complex nursing skill via virtual reality simulation: a randomised mixed methods study. *BMC Nurs* 22, 222 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12912-023-01384-9>
- Nicholas, R., Humm, G., MacLeod, K. E., Bathla, S., Horgan, A., Nally, D. M., Glasbey, J., Clements, J. M., Fleming, C., & Mohan, H. M. (2019). Simulation in surgical training: Prospective cohort study of access, attitudes and experiences of surgical trainees in the UK and Ireland. *International Journal of Surgery (London, England)*, 67, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2019.04.004>
- Dawe, S. R., Windsor, J. A., Broeders, J. A. J. L., Cregan, P. C., Hewett, P. J., & Maddern, G. J. (2014). A systematic review of surgical skills transfer after simulation-based training: laparoscopic cholecystectomy and endoscopy: Laparoscopic cholecystectomy and endoscopy. *Annals of Surgery*, 259(2), 236–248. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000245>
- Benjamin, M. W., & Sabri, O. (2021). Using haptic feedback in a virtual reality bone drilling simulation to reduce plunge distance. *Cureus*, 13(9), e18315. <https://doi.org/10.7759/cureus.18315>
- Racy, M., Barrow, A., Tomlinson, J., & Bello, F. (2021). Development and validation of a virtual reality haptic femoral nailing simulator. *Journal of Surgical Education*, 78(3), 1013–1023. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.10.004>
- Clarke, E. Virtual reality simulation—the future of orthopaedic training? A systematic review and narrative analysis. *Adv Simul* 6, 2 (2021). <https://doi.org/10.1186/s41077-020-00153-x>
- Yiannakopoulou, E., Nikiteas, N., Perrea, D., & Tsigris, C. (2015). Virtual reality simulators and training in laparoscopic surgery. *International Journal of Surgery (London, England)*, 13, 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2014.11.014>
- Lin, J. C., Yu, Z., Scott, I. U., & Greenberg, P. B. (2021). Virtual reality training for cataract surgery operating performance in ophthalmology trainees. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12(12), CD014953. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD014953.pub2>
- Farag, A., & Hashem, D. (2021). Impact of the haptic virtual reality simulator on dental students' psychomotor skills in preclinical operative dentistry. *Clinics and Practice*, 12(1), 17–26. <https://doi.org/10.3390/clinpract12010003>
- 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), 739. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03410-3>
- Gießer, C., Schmitt, J., Löwenstein, E., Weber, C., Braun, V., & Brück, R. (2024). SkillsLab+—A New Way to teach practical medical skills in an augmented reality application with haptic feedback. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 2034–2047. <https://doi.org/10.1109/tlt.2024.3435979>
- Di Vece, C., Luciano, C., & De Momi, E. (2021). Psychomotor skills development for Veress needle placement using a virtual reality and haptics-based simulator. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 16(4), 639–647. <https://doi.org/10.1007/s11548-021-02341-0>
- Shahriari-Rad, A., Cox, M. & Woolford, M. Clinical Skills Acquisition: Rethinking Assessment Using a Virtual Haptic Simulator. *Tech Know Learn* 22, 185–197 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10758-017-9308-1>
- Caulfield, M., Forsyth, J., Deportes, L., & Castaneda, D. (2024). Braille Learning using Haptic Feedback. 2024 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS). <https://doi.org/10.1109/SIEDS61124.2024.10534648>
- Mutis, I., & Oberemok, M. (2025). Haptic technology interaction framework in engineering learning: A taxonomical conceptualization. *Computer Applications in Engineering Education*, 33(2). <https://doi.org/10.1002/cae.70009>
- Kishor, I., Mamodiya, U., Somwanshi, D. K., & Goyal, P. (2025). Tactile intelligence: Integrating Artificial Intelligence and haptics for patient-centric smart healthcare systems. In *Advances in Computational Intelligence and Robotics* (pp. 397–420). IGI Global. DOI: 10.4018/979-8-3373-2307-7.ch018
- Prakash, A., Gochhait, S., Raghavendran, P., & Gunasekar, T. (2025). Incorporating virtual and augmented reality for advanced medical education. In *Advances in Computational Intelligence and Robotics* (pp. 329–342). IGI Global. 10.4018/979-8-3693-9735-0.ch013
- Zara, F., Delbos, B., Chalard, R., Moreau, R., Jailliet, F., & Lelevé, A. (2025). Haptic training simulators design approach. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 351–366). Springer Nature Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-031-82475-3_25
- Kröplin, J., Friedrich, C. V., Harms, L., Buttchereit, I., Lenz, J.-H., & Frerich, B. (2025). Who takes the lead in oral surgery simulation? Students' perceptions and practical skills towards virtual reality and phantom model training: a comparative study. *Innovative Surgical Sciences*. <https://doi.org/10.1515/iss-2025-0008>