

Simulador de Realidad Virtual en Cirugía Mínimamente Invasiva Basado en la Ciencia del Diseño y el Marco de Validación de Messick

Virtual Reality Simulator in Minimally Invasive Surgery Using Design Science Research and Messick's Validation Framework

Fernando Alvarez-Lopez
Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
feralvarez@umanizales.edu.co

Francesc Saigi-Rubió
Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, España.
fsaigi@uoc.edu

Marcelo Fabián Maina
Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, España.
mmaina@uoc.edu

Resumen

La cirugía mínimamente invasiva es el nuevo estándar quirúrgico que requiere desarrollar simuladores portátiles de bajo costo que permitan democratizar el entrenamiento y el aprendizaje ubicuo. El estudio presenta el desarrollo y validación de un simulador para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en cirugía de invasión mínima que utilizó la combinación de los enfoques metodológicos de Investigación Basada en el Diseño, centrado en el aprendizaje, y de Investigación en Ciencias del Diseño, focalizado en el desarrollo de artefactos. El estudio se desarrolló en cuatro fases. Para la validación del simulador se utilizó el marco propuesto por Messick. En las sucesivas fases de desarrollo intervinieron expertos en cirugía de invasión mínima, residentes de cirugía y estudiantes de Medicina, quienes realizaron una serie de pruebas del artefacto donde se midió su eficacia para el aprendizaje de las destrezas psicomotoras. Los estudios se basaron en encuestas Likert y en la evaluación de los puntajes de las pruebas efectuadas por una población de novatos (grupo referente) y un grupo de expertos. Si bien se obtuvo evidencia para la validez de contenido, no se obtuvo evidencia para la relación con otras variables. La consistencia interna mostró evidencia de buena calidad y se obtuvo evidencia contundente para el logro de curva de aprendizaje entre los novatos. El enfoque adoptado demostró ser eficaz en el desarrollo de simuladores accesibles y eficaces para el desarrollo de destrezas psicomotoras en cirugía de invasión mínima.

Palabras clave: simulación por computador, procedimientos quirúrgicos mínimamente invasivos, investigación basada en el diseño, educación médica, realidad virtual, estudio de validación.

Abstract

Minimally invasive surgery is the new surgical standard that requires the development of low-cost portable simulators to democratize training and ubiquitous learning. The study presents the development and validation of a simulator for learning basic psychomotor skills in minimally invasive surgery using a combination of Design-Based Research methodological approaches focused on learning, and Design Science Research focused on artefact development. The study was conducted in four phases. The framework proposed by Messick was used for the validation of the simulator. The successive development phases involved minimally invasive surgery experts, surgical residents, and medical students, who conducted a series of tests of the artefact to measure its effectiveness in learning psychomotor skills. The studies were based on Likert surveys and evaluation of test scores by a novice population (referent group) and an expert group. While evidence was obtained for content validity, no evidence was obtained for the relationship with other variables. Internal consistency showed good quality evidence and strong evidence was obtained for learning curve achievement among novices. The approach adopted proved to be effective in the development of accessible and effective simulators for the development of psychomotor skills in minimally invasive surgery.

Key words: computer simulation, minimally invasive surgical procedures, design-based research, medical education, virtual reality, validation study.

1. Introducción

“Engineering, medicine, business, architecture, and painting are concerned not with the necessary but with the contingent-not how things are but with how they might be in short, with the design”.

(Simon, 1969)

La primera colecistectomía laparoscópica asistida por video fue realizada por Phillippe Mouret en 1987 (Litynski, 1999; Mouret, 1996). Luego de su introducción como práctica operatoria se constató un aumento inusitado en las lesiones de las vías biliares debido a que los cirujanos comenzaron a operar sin una previa capacitación en las nuevas destrezas que esta reciente técnica demandaba (Archer et al., 2001; Deziel et al., 1993; Moore y Bennett, 1995; The Southern Surgeons Club, 1991). Este hecho dio origen al desarrollo de la simulación como herramienta para el

aprendizaje de las nuevas destrezas psicomotoras requeridas por la innovación quirúrgica introducida (Rogers et al., 2001).

La aparición de la cirugía mínimamente invasiva (CMI) significó un cambio importante en el abordaje del paciente quirúrgico mediante incisiones mínimas que provocaban menor dolor, menor trauma quirúrgico a los tejidos, una recuperación postoperatoria más pronta, un retorno más rápido al entorno laboral y un resultado cosmético más satisfactorio (Patil et al., 2024)

La simulación, mediada y mejorada por la tecnología, es una herramienta o dispositivo para evaluarla con el que un aprendiz interactúa para imitar el cuidado clínico de un paciente o aprender destrezas psicomotoras específicas (Cook et al., 2013; Zendejas et al., 2013). Gaba (2004) la define como "técnica" que es utilizada para reemplazar o amplificar experiencias reales con experiencias guiadas, con frecuencia de naturaleza inmersiva, que evocan o replican aspectos sustanciales del mundo real de una manera interactiva. Un simulador permite al usuario imitar o representar fenómenos del mundo real en condiciones controladas (Krummel, 1998). Los simuladores pueden ser modelos físicos o modelos de realidad virtual. En la realidad virtual un entorno artificial permite interactuar a través de estímulos sensoriales (visuales, auditivos o táctiles) proporcionados por un ordenador, y en el que las acciones del usuario dictan las respuestas del entorno (Wignall et al., 2008). En el campo del entrenamiento de destrezas psicomotoras en CMI la simulación cobró entonces importancia puesto que los cambios en los modelos de prestación de salud, académicos y de evaluación de las destrezas quirúrgicas (Blumenthal, 1994; Kneebone et al., 2004; Ziv et al., 2003; Ziv et al., 2006;); los imperativos éticos (Barnes, 1987; Satava, 1993); económicos (Kunkler, 2006) y medicolegales (Barnes, 1987; Karaliotas, 2011) ya no permitieron el aprendizaje directo sobre el paciente.

Los simuladores para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en cirugía mínimamente invasiva (CMI) se clasifican en mecánicos, híbridos o de realidad aumentada y de realidad virtual (Botden y Jakimowicz, 2009; Papanikolaou, 2013). El uso de la simulación mediada por la tecnología para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en CMI, ha sido validada en múltiples estudios (Dawe et al., 2014; Gurusamy et al., 2008; Haque y Srinivasan, 2006; Zendejas et al., 2013). Los simuladores de realidad virtual han demostrado ventajas en cuanto al desarrollo de destrezas avanzadas en CMI (Gasperin et al., 2018; Logishetty et al., 2019; Rudran y Logishetty, 2018).

Abordado el problema desde una perspectiva social, a pesar del desarrollo de variados prototipos y estudios con simuladores, el alto costo de estos no permite un acceso universal, en especial en los programas de formación en países en desarrollo (Alvarez-Lopez et al., 2020; Bing et al., 2019; Hennessey y Hewett, 2013; Parham et al., 2019). Este hecho subraya la necesidad de desarrollar simuladores de realidad virtual en cualquiera de sus modalidades, de bajo costo y portátiles que

permitan democratizar el entrenamiento en CMI (Gazit et al., 2024; Łysak et al., 2023; Sánchez-Margallo et al., 2021; Shao et al., 2023; Viglialoro et al., 2021).

Entendido el problema de una perspectiva investigadora, el desarrollo y estudio de simuladores se ha sustentado en enfoques empíricos con poca información sobre una metodología y un marco teórico que expliciten el proceso de ideación fundada. En este sentido, Momand et al. (2022) hacen un llamado a adoptar metodologías que permitan dejar constancia de las fases de diseño, desarrollo y validación de los simuladores.

El propósito del presente artículo es describir el proceso de diseño, desarrollo y validación de un simulador asequible de realidad virtual mediado por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en cirugía mínimamente invasiva (CMI) denominado SIMISGEST-VR (Simulator in Minimally Invasive Surgery Mediated by Gestures - Virtual Reality) (Alvarez-Lopez, 2021). Este estudio adopta un enfoque metodológico que combina la Investigación Basada en el Diseño (Design-Based Research, DBR, por sus siglas en inglés) (Reeves, 2006), centrada el aprendizaje, y la Investigación en las Ciencias del Diseño (Design Science Research, DSR, por sus siglas en inglés), centrada en el desarrollo de artefacto (Dresch et al., 2015; Lacerda et al., 2013; Peffers et al., 2007), que permite documentar rigurosamente el progreso de la investigación por fases de desarrollo y validación.

2. Materiales y Métodos

La investigación ahonda en un enfoque metodológico novedoso que combina la DBR, propia a los estudios en educación, con la DSR que se focaliza en el desarrollo de artefactos. Ambos enfoques, compatibles y complementarios, se aplican conjuntamente, junto a los estándares de validación vigentes.

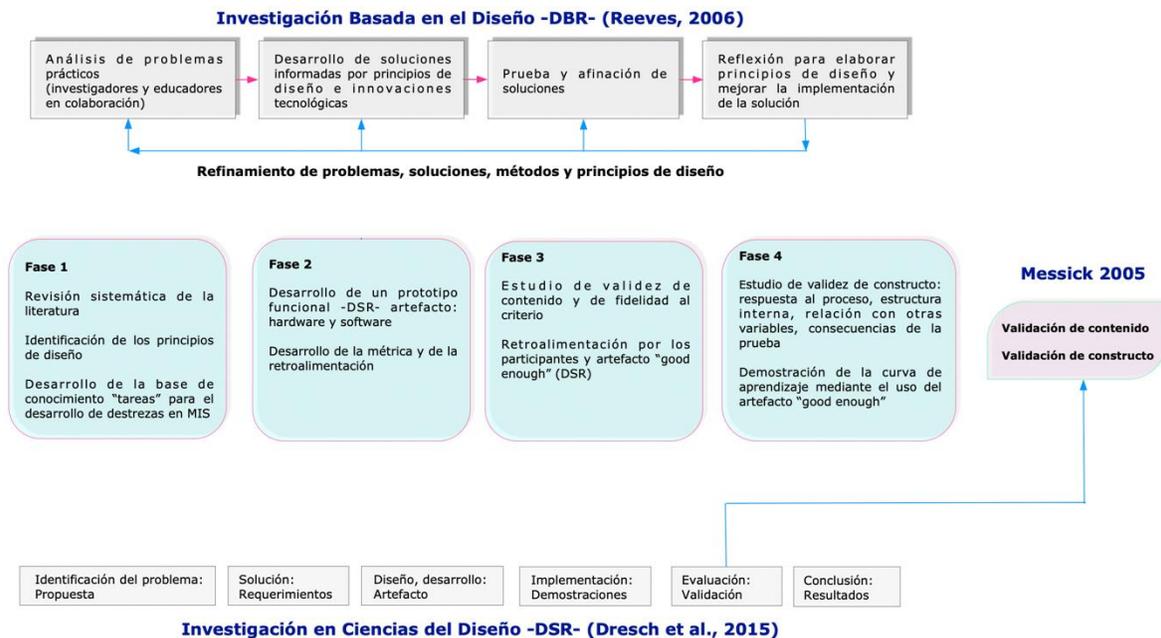
Diseño Basado en la Investigación e Investigación en Ciencias del Diseño

La combinación del enfoque DBR, que emplea diseños iterativos para desarrollar nuevos conocimientos y mejorar la práctica educativa, con el enfoque DSR, que propone una forma estructurada para crear y validar artefactos, es una opción metodológica rigurosa para desarrollar soluciones complejas que integren elementos físicos y de programas informáticos con un propósito educativo. Así, es un enfoque de investigación que aprovecha el conocimiento para diseñar y crear artefactos útiles y que recurre a métodos rigurosos para analizar la eficiencia de un artefacto (Dresch et al., 2015; Hevner et al., 2004; March y Smith, 1995; Vaishnavi et al., 2009). El conocimiento adquirido durante las fases de análisis y retroalimentación enriquece la base de conocimiento de la disciplina (Manson, 2006). Dado que hace uso de metodologías tanto positivistas como interpretativas, se considera una caja de herramientas metodológica (Barab y Squire, 2004).

En la DBR el proceso se centra en la búsqueda de soluciones a problemas complejos del mundo real, a su vez, es un proceso iterativo y un producto, lo que significa que es tanto una acción como un objeto (Walls et al., 1992). Produce artefactos innovadores que sirven a fines prácticos (McKay y Marshall, 2001). Sus productos se evalúan mediante criterios de valor o utilidad, con un énfasis en la tecnología; por lo tanto, los buenos artefactos son los que funcionan, o los que son eficaces (Hevner y Chatterjee, 2010; Manson, 2006; March y Smith, 1995). Rara vez, estos artefactos suficientemente buenos (*good enough*) son sistemas funcionales y completos que puedan aplicarse en la práctica. Pero, por otra parte, son innovaciones que definen conceptos, prácticas, capacidades técnicas y productos a través de los cuales el análisis, el diseño, la implementación y el uso de los sistemas, se logra de manera efectiva y eficiente (Hevner et al., 2004). La DBR puede aplicarse como metodología en múltiples disciplinas, como la ingeniería, las ciencias de la computación (Barab, 2014; Barab y Squire, 2004), la arquitectura, el diseño (Simon, 1969), la medicina, la biología, la farmacología (Momand et al., 2022; Scott et al., 2020; Wolcott et al., 2019) y en las ciencias de la educación (Brown, 1992; Collins, 1992; The Design-Based Research Collective, 2003).

Para este enfoque, el acto de utilizar el conocimiento para diseñar y crear artefactos, seguido de un análisis metódico, meticuloso, riguroso y sistemático de la eficacia del artefacto para lograr el propósito previsto, es un proceso que genera conocimiento basado en criterios rigurosos de investigación (Manson, 2006). El autor expone además que, a través de procesos de abducción y deducción que identifican fallos en el diseño o la función del prototipo, se crean iteraciones adicionales hasta que un producto *good enough* puede someterse a estudios de validación (Dresch et al., 2015; Takeda et al., 1990; Vaishnavi et al., 2009). Este modelo es pragmático (Goff y Getenet, 2017; Juuti y Lavonen, 2006; Metcalfe, 2008), fundamentado (*grounded*), interactivo (*interactive*), iterativo (*iterative*), adaptable, integrador y contextual (Herrington et al., 2003; Wang y Hannafin, 2005). La Figura 1 presenta un resumen de la metodología de la investigación.

Figura 1.
Metodología general de la investigación.



Los artefactos producidos pueden adoptar diferentes formas, entre las cuales se cuentan los prototipos de sistemas e interfaces humano/ordenador (*instantiation*) y teorías de diseño mejoradas (Hevner et al., 2004; Hevner y Chatterjee, 2010; March y Smith, 1995; Markus et al., 2002; Oates, 2006; Vaishnavi et al., 2009). Los prototipos también se denominan "implementaciones situadas" y son los que validan la viabilidad y eficacia de los constructos, modelos o métodos que incorporan el proceso de diseño hasta lograr el producto *good enough*, que puede ser sometido a estudios que confirmen las hipótesis que buscan la evidencia de su validez.

Metodología de los Estudios de Validez de Contenido y de Constructo

En los estudios de validación para simuladores CMI predominan hasta el presente las metodologías basadas en el modelo de validación tradicional que se centra validar el dispositivo tanto como las tareas (American Psychological Association et al., 1974; Borgersen et al., 2018; Sánchez-Hurtado et al., 2019; Schout et al., 2010). Sin embargo, los estándares de validación en actual vigencia establecen que la validez se refiere al grado en que las pruebas y la teoría respaldan las interpretaciones de los puntajes de las pruebas para los usos propuestos. El proceso de validación implica la acumulación de pruebas relevantes mediante la formulación de hipótesis que proporcionen una base científica sólida para las interpretaciones de las puntuaciones de las pruebas propuestas (American Educational Research Association et al., 2014; Cook et al., 2014).

La prueba de validez de contenido de la evaluación se refiere al grado en que la herramienta abarca el contenido de un constructo concreto (Vitari y Ravarini, 2007) y allí se incluyó la validez de fidelidad al criterio que evalúa el realismo del simulador (Gallagher et al., 2003; Karaliotas, 2011; Schijven y Jakimowicz, 2002; Wanzel et al., 2002).

La validación de constructo formula hipótesis para la obtención de evidencia de validez para:

- La *respuesta al proceso* o correlación entre el constructo y las actividades cognitivas y físicas de los aprendices y los observadores durante el proceso (Beckman et al., 2005; Ghaderi et al., 2015).
- La *estructura interna* o fiabilidad donde se buscó evidencia para la consistencia interna y la fiabilidad *test-retest* (Schijven y Jakimowicz, 2002; Munro, 2012).
- La *relación con otras variables* o asociaciones estadísticas y correlacionales entre los puntajes de la prueba y otras mediciones externas independientes o que son características del aprendiz (Brualdi, 1999; McDougall, 2007) y se compararon los puntajes obtenidos por grupos con diferente nivel de habilidad en las destrezas evaluadas (Aydin et al., 2016; Carter et al., 2005; Fried y Feldman, 2008; Gallagher et al., 2003; McDougall, 2007; Moorthy et al., 2003; Straub et al., 2004; Wignall et al., 2008) y la correlación entre los puntajes obtenidos y la experiencia previa con videojuegos (Rosser, 2007; Van Dongen et al., 2011; Boyle et al., 2011; Kennedy et al., 2011).
- Las consecuencias de la prueba donde se evaluó la obtención o no de curva de aprendizaje para los ejercicios propuestos (Noureldin et al., 2018; Poulouse et al., 2014; Sweet et al., 2010).

Participantes en el Estudio y Metodología de Recolección de Datos

Durante el desarrollo y validación del SIMISGEST-VR, se obtuvo evidencia para la validez del contenido por la retroalimentación del grupo referente y el grupo de expertos sobre la usabilidad del artefacto y la validez de las tareas propuestas. Posteriormente, se realizó un estudio observacional prospectivo para obtener evidencia para las demás fuentes de validez. Si bien no es obligatorio obtener evidencia para todos los ítems de validez, en este se procuró encontrarla para todos. Las Tablas 1 y 2 describen el perfil demográfico de los participantes en los estudios de validez de contenido y de constructo. En el estudio de validez de contenido participaron 21 cirujanos expertos en CMI (más de 100 procedimientos), 8 residentes de cirugía pediátrica y un ingeniero biomédico. En el estudio de validez de constructo participaron 100 estudiantes de último año de Medicina (grupo referente), 20 residentes de especialidades quirúrgicas (cirugía general, cirugía pediátrica y ginecología) y 28 expertos en CMI en 9 subespecialidades diferentes. La muestra fue escogida por conveniencia.

Tabla 1.

Perfil demográfico de los participantes en el estudio de validez de contenido (N=30).

Variable demográfica	Nivel de experiencia				Nivel de entrenamiento		
	Manipulación básica (n=3) ^a	Nivel operatorio básico (n=11) ^b	Nivel operatorio intermedio (n=8) ^c	Nivel operatorio avanzado (n=8) ^d	Cirujano en ejercicio (n=21)	Residente (n=8)	Otro (n=1) ^e
Edad en años, mean (DE)	26 (0.6)	40 (4.3)	43 (3.3)	49 (2.9)	47 (2.2)	27 (0.6)	49 (f)
Sexo							
Masculino	0	3	5	8	15	0	1
Femenino	3	8	3	0	6	8	0
Experiencia previa con videojuegos							
Si	1	1	4	2	5	2	1
No	2	10	4	6	16	6	0
Experiencia previa con simuladores							
Si	2	10	6	8	19	8	0
No	1	1	2	0	2	0	1
Tipo de simulador, n (%)							
Físico							
Híbrido/realidad aumentada	2	6	3	5	12	3	1
Realidad virtual	0	2	2	2	4	2	0
Sin experiencia	0	2	1	1	2	2	0
	1	1	2	0	3	1	0

^a Manipulación básica de la cámara o manipulación con pinzas.

^b Nivel operatorio básico (colecistectomía y apendicectomía).

^c Nivel operatorio intermedio (funduplicación).

^d Nivel operatorio avanzado.

^e Otro: ingeniero biomédico con alta experiencia en el diseño de dispositivos de simulación para CMI.

^f No disponible.

Tabla 2.
Perfil demográfico de los participantes en el estudio de validez de constructo (N=148).

Variable	Grupo referente (n=100)	Residentes de cirugía (n=20)	Cirujanos (n=28)
Sexo, n (%)			
Femenino	47 (47)	10 (50)	4 (15)
Masculino	53 (53)	10 (50)	24 (86)
Edad	23.5	24.8	47
Mano dominante, n (%)			
Derecha	89 (89)	19 (95)	27 (96)
Izquierda	11 (11)	1 (5)	1 (4)
Experiencia con simuladores, n (%)			
Si	1 (1)	13 (65)	18 (64)
No	99 (99)	7 (35)	10 (36)
Tipo de simulador, n (%)			
No aplicable	99 (1)	7 (35)	10 (25)
Realidad virtual	1 (1)	3 (15)	7 (36)
Físico	0 (0)	10 (50)	10 (25)
Híbrido/realidad aumentada	0 (0)	0 (0)	1 (4)
Experiencia con videojuegos, n (%)			
Si	72 (72)	15 (75)	14 (50)
No	28 (28)	5 (25)	14 (50)
Experiencia en CMI, n (%)			
Ninguna	37 (37)	3 (15)	0 (0)
Manipulación básica de la cámara	63 (63)	6 (30)	0 (0)
Nivel operatorio básico ^a	0 (0)	11 (55)	10 (36)
Nivel operatorio intermedio ^b	0 (0)	0 (0)	10 (36)
Nivel operatorio avanzado		0 (0)	8 (29)

^a Colectomía, apendicectomía.

^b Funduplicatura.

Los datos se obtuvieron mediante encuestas que utilizaron una escala Likert. La evidencia para la fidelidad al criterio se obtuvo mediante un cuestionario de diez ítems que indagó sobre la facilidad de uso del artefacto, su relevancia como instrumento de simulación en CMI, el grado de correspondencia entre los movimientos de las pinzas y su representación en el espacio virtual, y la retroalimentación. Para obtener evidencia de validez de contenido se respondieron diez preguntas acerca de la capacidad del simulador como herramienta de entrenamiento, y seis preguntas acerca de cada uno de los ejercicios realizados; de esta manera, se evaluó el grado en el cual la prueba representaba tanto la realidad del dominio evaluado como la adquisición de destrezas psicomotoras básicas en CMI; otra fuente de evidencia de validez de contenido fue una revisión extensa de los estudios publicados sobre el MIST-VR (Alvarez-Lopez, 2021; Alvarez-Lopez et al., 2020).

En el estudio de validez de constructo, los participantes recibieron instrucciones básicas sobre el uso del simulador, vieron un video demostrativo de cada tarea, y realizaron diez repeticiones con cada mano en los seis ejercicios. El instructor nunca proporcionó ayuda y el simulador proporcionó, de manera automática, la retroalimentación concurrente, inmediata y final. Para el estudio de *test-retest reliability*, 29 participantes del grupo de estudiantes de pregrado (grupo referente) fueron escogidos de manera aleatoria y repitieron todos los ejercicios seis meses luego haber realizado la primera prueba, ninguno de ellos estuvo expuesto a ningún tipo de simulador o participó como ayudante en una CMI durante este período de tiempo (Alvarez-Lopez, 2021; Alvarez-Lopez et al., 2020).

En el estudio de validez de contenido los puntajes obtenidos a partir de las encuestas Likert no tuvieron distribución normal, razón por la cual se describieron con medianas y rangos intercuartiles; se compararon con la prueba de Krustal-Wallis.

En el estudio de validez de constructo los datos continuos se presentan en una tabla de distribución de frecuencias con promedios y desviación estándar. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad. Los datos categóricos también se presentan en una tabla de distribución de frecuencias. Como los datos no estaban distribuidos normalmente, se utilizaron pruebas no paramétricas para evaluar las hipótesis. En cuanto a la hipótesis 1, se compararon las diferencias en las puntuaciones y el tiempo necesario para realizar la primera prueba de cada tarea entre principiantes y expertos mediante la prueba de rango con signo de Wilcoxon. Entre los novatos, las puntuaciones finales de la décima prueba de cada tarea se compararon en función de la experiencia previa en videojuegos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Para evaluar la hipótesis 2, se calculó la consistencia interna mediante el α de Cronbach. Además, se evaluó la fiabilidad *test-retest* comparando la décima prueba de cada tarea realizada inicialmente y repetida 6 meses después mediante el coeficiente de correlación de Spearman. Para evaluar la hipótesis 3, se compararon las puntuaciones y el tiempo empleado en el primer y el último ensayo de cada tarea por nivel de entrenamiento mediante la prueba de

rango con signo de Wilcoxon. Además, se calculó el exceso de diatermia en el primer y el último ensayo de las tareas 5 y 6 según el nivel de entrenamiento mediante la prueba de rango con signo de Wilcoxon. Se estableció $P < ,05$ como nivel de significación estadística. El análisis estadístico se realizó con Stata (versión 15.0; StataCorp LLC).

3. Resultados

Fases de Desarrollo del Simulador. Iteraciones del Diseño

En el desarrollo y validación del SIMISGEST-VR, se siguieron los principios metodológicos de la DBR y la DSR, donde se realizó un primer diseño del artefacto basado en la teoría y en los estudios empíricos, y luego dos iteraciones de validación hasta la obtención de un prototipo *good enough*.

La metodología de investigación para lograr los objetivos de diseño, desarrollo y validación del simulador SIMISGEST-VR, se dio en tres fases:

Fase 1: *Diseño del artefacto informado por la investigación.*

La primera fase consistió en una revisión sistemática de la literatura y una exploración de la literatura general sobre simulación y CMI. Para la revisión sistemática se siguieron las normas y recomendaciones estándar (Moher et al., 2014; Shea et al., 2017) y a través de ellas se identificó al *Leap Motion Controller*TM (LMC) (*Leap Motion Inc.*, San Francisco, CA, USA) como una interfaz de no contacto que permitía la interacción entre los objetos físicos (pinzas de CMI) con el ambiente virtual (Alvarez-Lopez et al., 2019). El LMC fue lanzado en el 2012 como un sensor para el seguimiento óptico infrarrojo, con unas dimensiones de 76 mm x 30 mm x 13 mm y un peso de 45 grs, y que por medio de su API (Application Programmer Interface) permitía detectar la posición de objetos predefinidos (manos, dedos) e instrumentos finos (pinzas o lápices) en un plano cartesiano en tiempo real. El sistema consiste en tres emisores de luz infrarroja y dos cámaras infrarrojas (Bachmann et al., 2015; Ebert et al., 2014; Ogura et al., 2014; Rosa y Elizondo, 2014; Weichert et al., 2013). Cabe anotar que las últimas versiones de la API ya no detectan los movimientos de objetos diferentes a las manos y los dedos.

Se revisó la literatura sobre simulación en entornos virtuales para aprender de destrezas psicomotoras en CMI para determinar el tipo de entorno virtual, los ejercicios a adoptar y los principios generales que regirían el diseño del artefacto, la métrica y el tipo de retroalimentación.

Se adoptó un modelo de ejercicios de baja fidelidad de ingeniería pero de alta fidelidad psicológica basados en el simulador denominado *Minimally Invasive Surgery Training -Virtual Reality* (MIST-VR), el cual fue el primer simulador de realidad virtual comercial para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en CMI (Sutton et al., 1997; Wilson et al., 1997) y que enfatizaba en el aprendizaje

psicomotor y no en el teórico (Aggarwal et al., 2004; Carter et al., 2005) por medio del uso de gráficas abstractas que no reflejaban un entorno anatómico. Las destrezas psicomotoras básicas necesarias en CMI son navegación-coordinación-precisión, tocar, agarrar, transferir, traccionar, translocar, navegación transversal, cauterio, manipulación del instrumental y destreza bimanual (Satava et al., 2003; Schijven y Jakimowicz, 2003); todas ellas estaban representadas por lo ejercicios planteados por el MIST-VR. La validez del constructo se estableció en 1988 (Taffinder et al., 1998) y posteriormente se logró la evidencia de validez concurrente y predictiva (evidencia de consecuencias de la prueba y de relación con otras variables) (Ahlberg et al., 2002; Debes et al., 2010; Seymour et al., 2002; Torkington et al., 2001), y es el simulador que mayor número de estudios de validación tiene descritos en la literatura quirúrgica (Alvarez-Lopez, 2021).

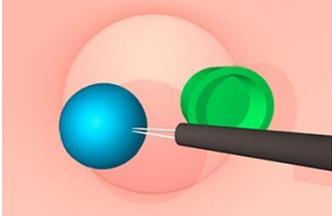
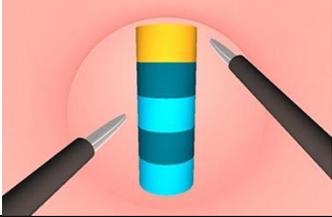
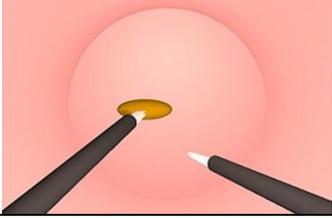
Tras identificar la interfaz de comunicación entre el mundo físico, el entorno virtual y un modelo de simulador ampliamente validado, se procedió con la fase 2, donde se diseñó y desarrolló un simulador llamado SIMISGEST-VR.

Fase 2: Diseño y desarrollo del SIMISGEST-VR con sus componentes de hardware, software, la métrica y la retroalimentación.

Esta fase adoptó la metodología del DSR para el desarrollo prototipo (Alvarez-Lopez et al., 2020). En esta fase, inicialmente, se desarrolló un entorno virtual no inmersivo para lo cual se utilizó el motor de desarrollo Unity™ y, bajo la orientación de los ejercicios del MIST-VR, se incluyeron seis ejercicios que están resumidos en la Tabla 3. La Figura 2 muestra la evolución del entorno virtual a través de las diferentes fases de iteración y de retroalimentación por parte de los participantes en el estudio, y la Figura 3 puntualiza la apariencia definitiva de la versión *goog enough* del SIMISGEST-VR.

Tabla 3.

Descripción de las tareas, su equivalente quirúrgico y el objetivo de aprendizaje.

Tarea	Descripción	Equivalente quirúrgico	Objetivo de aprendizaje	Imagen
Tarea 1. Agarre y colocación	Tomar la esfera con una mano y moverla hacia una nueva posición en el espacio de trabajo.	Agarre y retracción de un tejido hacia una posición dada, colocación de clips, hemostasis y colocación de la bolsa extractora.	Percepción visual-espacial. Coordinación ojo-mano.	
Tarea 2. Transferencia y colocación de un objeto	Tomar la esfera, transferirla a otro instrumento y colocarla dentro de un cilindro hueco.	Transferencia de una aguja entre una pinza y un porta-agujas.	Percepción visual-espacial. Coordinación ojo-mano. Uso de ambas manos de manera complementaria.	
Tarea 3. Navegación ("cross")	Los instrumentos navegan a lo largo de una superficie en un cilindro tridimensional.	Exploración del intestino delgado.	Uso coordinado de ambas manos (dominante y no dominante). Uso de ambas manos.	
Tarea 4. Remoción y re inserción de instrumentos	Remoción y re inserción de los instrumentos del campo operatorio. Cauterización de un vaso y luego aplicación de un clip.	Un instrumento estabiliza un órgano mientras el otro se retira del campo y luego es reintroducido (simula cambiar el instrumento que se extrae del campo).	Percepción visual-espacial. Uso de ambas manos de manera complementaria. Percepción de profundidad.	

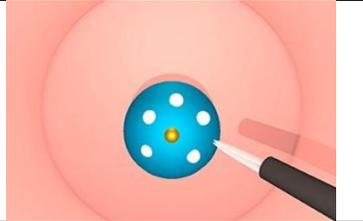
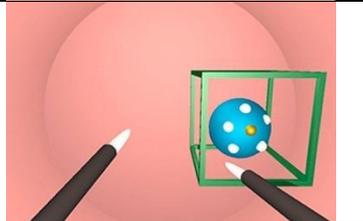
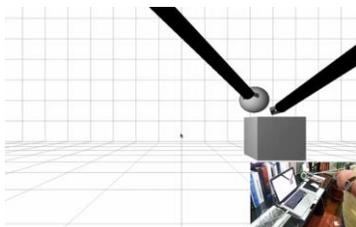
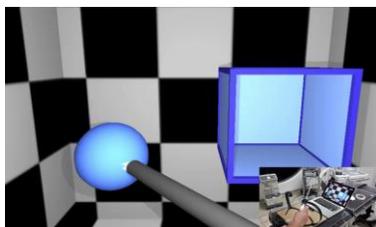
<p>Tarea 5. Diatermia</p>	<p>Cauterizar una serie de objetivos localizados en una esfera fija.</p>	<p>Cauterizar un vaso sanguíneo sangrante.</p>	<p>Percepción visual-espacial. Tiempo de diatermia. Exactitud de los movimientos.</p>	
<p>Tarea 6. Manipulación del objetivo y diatermia</p>	<p>Tomar la esfera con el instrumento y colocarla dentro de un espacio virtual representado por un cubo. Cauterizar una serie de elementos con la otra mano.</p>	<p>Presentar y asegurar un objetivo para cauterio.</p>	<p>Percepción visual-espacial Tiempo de diatermia. Exactitud de los movimientos.</p>	

Figura 2.

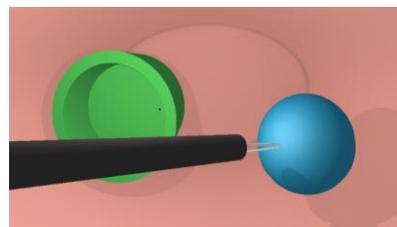
Evolución del entorno virtual a través de las diferentes fases de iteración y de retroalimentación por parte de los participantes en el estudio.



Intentos iniciales de interacción entre las pinzas de laparoscopia y el LMC dentro de un entorno virtual 3D básico.



Primera versión funcional del entorno virtual antes de la retroalimentación proporcionada por los cirujanos expertos en MIS los cuales valoraron la fidelidad al criterio y la validez de contenido.



Prototipo *good enough* del entorno virtual 3D, tarea 1.

Figura 3.

Diagrama del artefacto y apariencia final del simulador.

1. Tabla de soporte
2. Pinzas de CMI
3. Dispositivo de soporte para las pinzas de CMI
4. Leap Motion Controller®
5. Entorno de realidad virtual

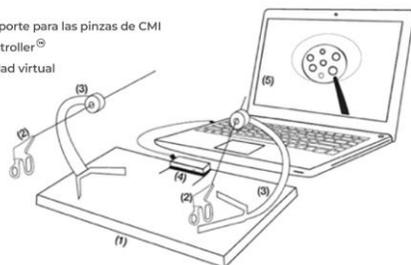


Diagrama general del SIMISGEST-VR.



Versión *good enough* del SIMISGEST-VR.

En esta fase se obtuvo la evidencia para la validez de contenido y de fidelidad al criterio.

Sin embargo, es importante anotar que el entorno virtual y los ejercicios son solo un videojuego si no están acompañados de una métrica y una retroalimentación, por tanto, la métrica se estableció mediante cinco parámetros en los que se aplicaron los estándares de la literatura en la materia (Lamata et al., 2006; Maithel et al., 2006; Sewell et al., 2010).

- Tiempo: desde el inicio hasta el final de cada ejercicio.

- Eficiencia del movimiento con la mano derecha y con la izquierda: se mide el tiempo en el que la punta del instrumento está fuera de una trayectoria ideal.
- Economía de diatermia: se consideró error un tiempo de diatermia mayor a dos segundos.
- Error: se definieron varios errores, como contacto del objetivo con una parte de la pinza que no sea la punta, contacto del instrumento con los límites del espacio virtual de trabajo, número de contactos del instrumento o de la esfera con los márgenes del contenedor, número de veces que los instrumentos superaron el número permitido con el óvalo, tiempo durante el cual la punta del instrumento permaneció fuera de la trayectoria ideal para el ejercicio, o el exceso de tiempo.
- Puntaje final: el puntaje final se obtuvo con la suma de los resultados de la eficiencia del movimiento para cada mano, más la economía de diatermia y los errores generados en cada ejercicio. Cada ejercicio originó diferentes tipos de error y a cada uno se le asignó un valor entre 1 y 5 donde 1 tenía poca importancia y 5 la mayor.

Se definieron tres momentos de retroalimentación así:

- Retroalimentación concurrente: esta ocurre durante las tareas, y se simula con la sensación háptica mediante señales sonoras, cambios de color en los objetos y movimiento del objeto cuando ocurría una colisión no deseada entre los diferentes componentes del entorno o cuando ocurría un error.
- Retroalimentación inmediata: al terminar cada ejercicio el sistema proporciona informes sobre el tiempo requerido, la presencia o no de errores, y la eficiencia y eficacia (Figura 4).
- Retroalimentación terminal: al final de cada sesión de entrenamiento el sistema proporciona una serie de gráficos que muestran el desempeño final a través del tiempo (Figura 4).

Figura 4.

Gráficas de la retroalimentación inmediata y terminal.



Retroalimentación inmediata. A partir de ella el aprendiz se puede retar a sí mismo a mejorar los parámetros de desempeño en el siguiente intento.

Retroalimentación terminal luego de la repetición de un ejercicio durante diez oportunidades.

Fase 3: Validación de contenido y de fidelidad de criterio

En la fase 3, implementada sobre 21 expertos en MIS, 8 residentes de cirugía pediátrica y un ingeniero biomédico, se encontró que, en cuanto a la fidelidad al criterio, los 30 participantes consideraron que el simulador era lo suficientemente como para poder utilizarse para el aprendizaje (Likert score: 4.07-4.73). Con respecto a la validez de contenido, los participantes manifestaron que la herramienta era confiable para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS como así también que los ejercicios permitirían el aprendizaje de las destrezas deseadas (Likert score 4.28-4.67). En esta etapa, la retroalimentación de los participantes mostró evidencias de haber desarrollado un prototipo *good enough* para ser utilizado en las pruebas de validación de constructo.

Fase 4: Validación de constructo

Sobre la base de un prototipo *good enough*, se procedió a la realización de pruebas para estudiar su validez como herramienta para el aprendizaje de las destrezas propuestas y su consistencia interna. Para este fin y con el propósito de obtener múltiples fuentes de evidencia para la validación de las tareas del instrumento de simulación –SIMISGEST-VR– se adoptó el marco de referencia propuesto por Messick (1995a, 1995b); se obtuvo evidencia de validez de relaciones con otras variables, de estructura interna y de consecuencias de las pruebas, y para tal fin se plantearon tres hipótesis (Alvarez-Lopez et al., 2020):

- Hipótesis 1. Pruebas de validez de las relaciones con otras variables. La primera hipótesis pretende demostrar que las puntuaciones del test discriminan entre un grupo de referencia (sin experiencia previa) y otro de

cirujanos experimentados y señala, asimismo, que los expertos ya poseen las habilidades psicomotoras básicas que se miden y, de forma similar, que la experiencia en videojuegos se correlaciona con un mejor rendimiento en las tareas del simulador, independientemente del nivel de formación y experiencia.

Al comparar los puntajes entre los diferentes niveles de experiencia, no se encontraron diferencias significativas entre los obtenidos en el primer intento entre novatos y expertos en cada ejercicio, pero el tiempo tomado para realizar los ejercicios 3 y 6 fue significativamente menor en los expertos. Con respecto a la experiencia previa con videojuegos, el rendimiento en la tarea 5 fue mejor para los principiantes que tenían experiencia previa ($P=.01$), pero no se obtuvo significancia en las demás tareas.

- Hipótesis 2. Pruebas de la estructura interna. La prueba intrarater-retest asume que, si un individuo de referencia no está expuesto a simuladores en el periodo de tiempo entre los dos ejercicios completos de simulador, no habrá diferencias significativas en el rendimiento entre el primer y el segundo ejercicio.

La consistencia interna arrojó un Cronbach alfa de 0.81; no se encontraron diferencias significativas entre los puntajes obtenidos en el primer ejercicio y aquellos obtenidos seis meses después en participantes elegidos al azar del grupo referente (*intrarater test-retest* en el tiempo).

- Hipótesis 3. Pruebas de las consecuencias de las pruebas. El aprendizaje del grupo de referencia se demostrará mediante mejoras en las métricas y en la puntuación final al comparar el primer y el décimo intento en cada tarea.

Entre el grupo de estudiantes de medicina se encontraron diferencias significativas en los puntajes de las pruebas y en el tiempo entre el primer y décimo intento en todas tareas realizadas. Entre el grupo de expertos hubo diferencias entre los puntajes para el ejercicio 1 y en el tiempo para todos los ejercicios.

La Tabla 4 presenta un resumen de los principales resultados obtenidos.

Tabla 4.

Tipo de validez, preguntas clave que deben ser respondidas al momento de buscar la evidencia de validez y los resultados obtenidos durante la validación de los puntajes de las pruebas del SIMISGEST-VR de acuerdo con el modelo de Messick.

Denominación actual	Pregunta clave	Resultados de la validación del simulador evaluado (SIMISGEST-VR)
Evidencia a partir del contenido de la evaluación	<p>¿Los componentes del instrumento representan al constructo por completo?</p> <p>o</p> <p>¿La prueba evalúa las habilidades del aprendiz tal cual se había planeado?</p>	Los resultados de la evaluación de la fidelidad al criterio y la validez de contenido mostraron puntuaciones globales positivas, lo que indica que el SIMISGEST-VR sería aceptable tanto para el grupo de expertos como para el grupo de referentes como dispositivo de formación y aprendizaje (incluso en casa) para lograr el aprendizaje ubicuo en CMI (Alvarez-Lopez et al., 2020).
Evidencia de respuesta al proceso	¿Con qué exactitud los puntajes obtenidos reflejaron el desempeño del aprendiz?	Los participantes tuvieron la oportunidad de observar cada tarea a través de un video y recibieron instrucciones básicas. La retroalimentación solo fue dada por el simulador. La misma persona supervisó todas las pruebas realizadas (177). Se obtuvo evidencia fotográfica de cada persona que realizó las pruebas. Los ejercicios fueron almacenados en una base de datos SQL dentro de la app del simulador.
Evidencia a partir de la estructura interna de la evaluación	<p>¿Todos los ítems de un instrumento miden el mismo constructo?</p> <p>¿Qué tan confiables son los puntajes derivados de la prueba?</p>	El estudio respaldó el uso del SIMISGEST-VR como herramienta para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en CMI en novatos sin experiencia previa. Las tareas demostraron una alta consistencia interna y una alta fiabilidad test-retest (Alvarez-Lopez et al., 2020). Al momento de realizar la prueba test-retest se interrogó de manera sistemática si el aprendiz había estado expuesto a un simulador durante el intervalo de tiempo entre las pruebas (Sweet et al., 2010).
Evidencia de relación con otras variables	¿Los puntajes de la prueba se correlacionan con otras medidas	Las tareas del SIMISGEST-VR no demostraron diferencias entre los puntajes de desempeño del grupo referente comparado con el grupo de expertos. Solo se encontró una diferencia significativa entre los dos grupos en el tiempo para completar las tareas 3 ($P=.006$) y 6. ($P=.02$), que eran los ejercicios más difíciles. Esta ausencia de evidencia se puede explicar por

	<p>conocidas de habilidad?</p>	<p>la facilidad de los ejercicios propuestos. En la actualidad se considera que este tipo de comparación entre los individuos de referencia (novatos) y los expertos, no constituye un argumento importante de validez (Cook, 2015; Zendejas et al., 2016), sin embargo, es el tipo de estudio más frecuentemente referido en la literatura (Borgersen et al., 2018).</p> <p>Aunque algunos estudios apoyan la hipótesis de que la experiencia con videojuegos tiene un impacto positivo sobre el desempeño durante la CMI (Rosser, 2007; Van Dongen et al., 2011; Boyle et al., 2011; Kennedy et al., 2011), en el presente estudio solo se encontró una diferencia significativa en el grupo de referencia para la tarea 5 (diatermia $P=.003$); para las demás tareas, la experiencia previa no tuvo impacto sobre el desempeño (Alvarez-Lopez et al., 2020).</p>
<p>Evidencia de las consecuencias de la prueba</p>	<p>¿Cómo afectan el test y/o las puntuaciones a los alumnos, al programa de formación o a los pacientes y la sociedad?</p> <p>¿Provocan realmente las puntuaciones un cambio significativo?</p>	<p>La principal conclusión del estudio es que el grupo de referencia adquirió curva de aprendizaje para todas las tareas; el grupo de expertos también la obtuvo en todas las tareas, pero solo cuando se evaluó la métrica del tiempo (Alvarez-Lopez et al., 2020).</p>

4. Discusión

En el SIMISGEST-VR se utilizaron ejercicios con formas abstractas con baja fidelidad al criterio. La suposición de que una mayor fidelidad en la simulación conduce a un mejor aprendizaje se ha puesto en duda. El grado de fidelidad de una herramienta de aprendizaje puede variar en función del contexto de aprendizaje (Kozlowski y DeShon, 2004; Noble, 2002; Park y Witzke, 2002; Seymour y Røtnes, 2006). La fidelidad estructural habla de la apariencia del simulador o de la correlación entre la estructura de la prueba y la estructura del dominio (Messick, 1995a, 1995b) y la fidelidad funcional, que se refiere a la funcionalidad del simulador. Una alta fidelidad estructural no conduce necesariamente a un aprendizaje superior (Kneebone, 2005). De hecho, para los principiantes, unos niveles más bajos de fidelidad podrían reducir los requisitos tecnológicos y los costes de la herramienta de simulación sin comprometer los resultados educativos y la aplicación del aprendizaje y, por otra parte, una alta fidelidad estructural puede ser abrumadora puesto que aumenta la carga cognitiva (Van Merriënboer y Sweller, 2005, 2010). Por su parte, la fidelidad funcional habla de la exactitud con la que el escenario de simulación reproduce las tareas clínicas o las habilidades psicomotoras. De esta manera, un simulador con baja fidelidad estructural pero alta funcional, podría ser más efectivo al momento de lograr el aprendizaje, sobre todo en las fases iniciales de la adquisición de las destrezas psicomotoras básicas (Hamstra et al., 2014; Issenberg et al., 1999; Matsumoto et al., 2002).

Con respecto a los estudios para obtener evidencia de validez de contenido y de fidelidad al criterio, estos fueron realizados en la fase 2 de diseño y desarrollo del SIMISGEST-VR y, si bien son subjetivos, en el contexto de la metodología utilizada cobran importancia puesto que se obtiene retroalimentación tanto del grupo referente como de los expertos, facilitando así la obtención de un prototipo *good enough* que pueda ser sometido a estudios de validación más exigentes.

En la evaluación de la fidelidad al criterio no hubo diferencias en los puntajes asignados cuando se consideraron el nivel de entrenamiento o de experiencia. Ninguno de los entrevistados estuvo en desacuerdo con alguno de los ítems evaluados. Estuvieron en desacuerdo un participante con respecto a la relevancia como herramienta de enseñanza-aprendizaje, otro en cuanto a cómo el movimiento de los instrumentos físicos se reflejaba en el espacio virtual, y tres participantes asignaron este puntaje cuando evaluaron el efecto fulcro.

En lo concerniente a la validez de contenido, el 97% de los participantes consideraron que el SIMISGEST-VR permitía el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas, y el 93% afirmaron que las tareas reflejaban los pasos básicos de un procedimiento de CMI.

En la hipótesis de validez 1, referente a la relación con otras variables, solo se encontró que el desempeño en el ejercicio 5 fue mejor en el grupo referente que tenían experiencia previa con videojuegos. No se encontraron diferencias significativas en los puntajes del primer intento para cada tarea entre el grupo

referente y los expertos, pero el tiempo requerido para realizar las tareas 3 y 6 fue significativamente menor. En la actualidad, esta comparación ha perdido fuerza como argumento de validez (Cook, 2015; Zendejas et al., 2016), sin embargo, es el tipo de evidencia de relación con otras variables más comúnmente referida en la literatura (Borgersen et al., 2018).

La ausencia de evidencia para la relación con otras variables (experiencia con videojuegos y comparación del desempeño entre el grupo referente y los expertos) puede explicarse por la facilidad de las tareas propuestas.

Con respecto a la hipótesis de validez 2, referente a la estructura interna, se obtuvo un Cronbach alfa de .81, lo cual se considera una consistencia interna buena (Sugden y Aggarwal, 2010). Por otra parte, se demostró una confiabilidad intra-evaluador test-retest fuerte, lo que demostró que los ítems de la prueba con su métrica fueron consistentes a lo largo del tiempo (seis meses de intervalo).

La hipótesis 3, referente a las consecuencias de la prueba, demostró de manera contundente, con significancia estadística que el grupo referente presentó curva de aprendizaje para todos los ejercicios y en todo tipo de métrica evaluada. El grupo de expertos también obtuvo curva de aprendizaje cuando se evaluó el tiempo como métrica. Este hallazgo demuestra que soluciones de simulación mediante realidad virtual portátiles y de bajo costo permiten la adquisición de destrezas y por tanto pueden democratizar el entrenamiento de destrezas psicomotoras en CMI en países de ingreso mediano y bajo.

5. Limitaciones del Estudio

Una primera limitación tiene relación con la evolución de la tecnología. Las últimas versiones del software del LMC no permiten leer instrumentos, como es el caso de las pinzas de cirugía laparoscópica, dificultando así la actualización del SIMISGEST sobre la base de su tecnología presente. En segundo lugar cabe mencionar que durante el estudio donde se valoraron la evidencia de validez de contenido y la de fidelidad al criterio pudo ocurrir el efecto Hawthorne y el Pigmalion, debido a que las encuestas fueron realizadas por un solo autor y su posible efecto favorable la opinión de los participantes. A tener en cuenta también es que no se realizó una proyección estadística antes de las encuestas para determinar el tamaño apropiado de las muestras o determinar la escala Likert. En la búsqueda de otras fuentes de evidencia, si bien la muestra del grupo referente fue importante, hubiera sido necesario contar con un grupo más numeroso de expertos. Esto se debió a que el tamaño de la muestra estuvo sujeto a la disponibilidad de las personas. Finalmente, se produjo una subrepresentación del constructo (destrezas psicomotoras básicas en CMI) puesto que no fue posible emular la tarea "corte" incluida en los Fundamentals of Laparoscopic Surgery (SAGES FLS Committee, 2023).

6. Conclusiones

Este estudio presenta un enfoque detallado para el diseño, desarrollo y validación de un simulador virtual en CIM, basado en una metodología que combina la investigación basada en el diseño y la investigación en ciencias del diseño, e implementa los estándares de validación educativa vigentes. Ilustra su aplicación al desarrollo del simulador SIMIGEST-VR y demuestra, a su vez, su adecuación y pertinencia para guiar un proceso riguroso, documentado y comunicable de todas las instancias e iteraciones empleadas.

En desarrollo de prototipo *good enough* del SIMGEST siguió cuatro fases consecutivas. La primera y segunda fases se centraron en un primer prototipo fundado en estudios empíricos y una revisión sistemática que informó el diseño de un artefacto compuesto por aspectos físicos sin componentes electrónicos (tabla de soporte, pinzas de CMI, dispositivo de soporte para las pinzas), el LMC y un programa de realidad virtual (ver Figura 3). La tercera fase consistió en la validación de contenido donde participaron 21 cirujanos, 8 residentes y un ingeniero biomédico que dio pistas para cambios en el artefacto mediante la información obtenida en las encuestas destinadas a lograr evidencia de contenido. Por último, la cuarta fase, con la participación de 100 estudiantes de medicina, 20 residentes de cirugía y 28 cirujanos, permitió lograr evidencia para la consistencia interna de los puntajes de la prueba y la obtención de curva de aprendizaje en el grupo referente.

El resultado final de esta investigación es un simulador de realidad virtual mediado por gestos, portátil y de bajo costo, para alcanzar el aprendizaje ubicuo de destrezas psicomotoras básica en CMI. Este modelo de diseño, desarrollo y validación se aplica a otros proyectos de desarrollo de simuladores quirúrgicos.

7. El Futuro del Simulador

Atendiendo al grado de desarrollo de las tecnologías, el modelo de un simulador modular, portátil, de bajo costo, para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en CMI, ha de integrar el uso de realidad virtual inmersiva junto a tecnologías hápticas, e incorporar ejercicios de nivel intermedio y avanzado que utilicen la inteligencia artificial para la métrica y la retroalimentación. Este nuevo tipo de simulador permitirá el precalentamiento quirúrgico (Abdalla et al., 2015; Alvarez-Lopez, 2021; Moran-Atkin et al., 2015; Moulder et al., 2017; Pike et al., 2017) y la práctica de cirugía de precisión (González-López et al., 2024; Izard et al., 2020; Soler et al., 2014; Soler y Marescaux, 2008; Sunaert, 2006) que consiste en la reconstrucción previa 3D de imágenes de tomografía computada y resonancia magnética nuclear de pacientes individuales.

Presentación del artículo: 4 de septiembre de 2023

Fecha de aprobación: 4 de mayo de 2024

Fecha de publicación: 30 de junio de 2024

Alvarez-Lopez, F., Saigí-Rubió, F., y Maina, M.F. Simulador de Realidad Virtual en Cirugía Mínimamente Invasiva Basado en la Ciencia del Diseño y el Marco de Validación de Messick. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 24(79). <http://dx.doi.org/10.6018/red.608201>

Financiación

Este trabajo no ha recibido ninguna subvención de organismos de financiación de los sectores públicos, comerciales o sin ánimo de lucro.

Declaración de los autores sobre el uso de LLM

Este artículo no ha utilizado textos provenientes (o generados) de un LLM (ChatGPT u otros) para su redacción.

Referencias

- Abdalla, G., Moran-Atkin, E., Chen, G., Schweitzer, M. A., Magnuson, T. H. y Steele, K. E. (2015). The effect of warm-up on surgical performance: a systematic review. *Surgical Endoscopy*, 29(6), 1259–1269. <https://doi.org/10.1007/S00464-014-3811-4>
- Aggarwal, R., Moorthy, K. y Darzi, A. (2004). Laparoscopic skills training and assessment. *British Journal of Surgery*, 91(12), 1549–1558. <https://doi.org/10.1002/bjs.4816>
- Ahlberg, G., Heikkinen, T., Iselius, L., Leijonmarck, C. E., Rutqvist, J. y Arvidsson, D. (2002). Does training in a virtual reality simulator improve surgical performance? *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16(1), 126–129. <https://doi.org/10.1007/s00464-001-9025-6>
- Alvarez-Lopez, F. (2021). *Uso de simulación con realidad virtual 3D mediada por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en cirugía mínimamente invasiva* [Tesis doctoral, Universitat Oberta de Catalunya]. <https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/143727>
- Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., Arango, F. y Saigí-Rubió, F. (2020). Use of a low-cost portable 3D virtual reality simulator for psychomotor skill training in minimally invasive surgery: task metrics and score validity. *JMIR Serious Games*, 8(4), e19723. <https://doi.org/https://doi.org/10.2196/11925>
- Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F. y Saigí-Rubió, F. (2019). Use of commercial off-the-shelf devices for the detection of manual gestures in surgery: systematic literature review. *Journal of Medical Internet Research*, 21(5), 1–26. <https://doi.org/10.2196/11925>
- Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F. y Saigí-Rubió, F. (2020). Use of a low-cost portable 3D virtual reality gesture-mediated simulator for training and learning basic psychomotor skills in minimally invasive surgery: development and content validity study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(7). <https://doi.org/10.2196/17491>

- American Educational Research Association, American Psychological Association, y National Council on Measurement in Education. (2014). *Standards for educational and psychological testing*. American Educational Research Association.
- American Psychological Association, American Educational Research Association, & National Council on Measurement in Education (1974). *Standards for educational & psychological tests*.
- Archer, S. B., Brown, D. W., Smith, C. D., Branum, G. D. y Hunter, J. G. (2001). Bile duct injury during laparoscopic cholecystectomy: results of a national survey. *Annals of Surgery*, 234(4), 549–558; discussion 558-9. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11573048>
- Aydin, A., Raison, N., Khan, M. S., Dasgupta, P. y Ahmed, K. (2016). Simulation-based training and assessment in urological surgery. *Nature Reviews Urology*, 13(9): 503–519. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nrurol.2016.147>
- Bachmann, D., Weichert, F. y Rinke, G. (2015). Evaluation of the leap motion controller as a new contact-free pointing device. *Sensors*, 15(1), 214–233. <https://doi.org/10.3390/s150100214>
- Barab, S. (2014). Design-based research: a methodological toolkit for engineering change. In R. K. Sawyer (Ed.). *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (3rd ed., pp. 151–170). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.011>
- Barab, S. y Squire, K. (2004). Design-based research: putting a stake in the ground. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1–14. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_1
- Barnes, R.W. (1987). Surgical handicraft: teaching and learning surgical skills. *American Journal of Surgery*, 153(5), 422–427. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(87\)90783-5](https://doi.org/10.1016/0002-9610(87)90783-5)
- Beckman, T. J., Cook, D. A. y Mandrekar, J. N. (2005). What is the validity evidence for assessments of clinical teaching? *Journal of General Internal Medicine*, 20(12), 1159–1164. <https://doi.org/10.1111/J.1525-1497.2005.0258.X>
- Bing, E. G., Parham, G. P., Cuevas, A., Fisher, B., Skinner, J., Mwanahamuntu, M. y Sullivan, R. (2019). Using low-cost virtual reality simulation to build surgical capacity for cervical cancer treatment. *Journal of Global Oncology*, 5(5). <https://doi.org/10.1200/JGO.18.00263>
- Blumenthal, D. (1994). Making medical errors into “medical treasures”.” *JAMA*, 272(23), 1867–1868. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7990223>
- Borgersen, N. J., Naur, T. M. H., Sørensen, S. M. D., Bjerrum, F., Konge, L., Subhi, Y. y Thomsen, A. S. S. (2018). Gathering validity evidence for surgical simulation. *Annals of Surgery*, 267(6), 1063–1068. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002652>
- Botden, S. y Jakimowicz, J. J. (2009). What is going on in augmented reality simulation in laparoscopic surgery? *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 23(8), 1693–1700. <https://doi.org/10.1007/s00464-008-0144-1>
- Boyle, E., Kennedy, A. M., Traynor, O. y Hill, A. D. K. (2011). Training surgical skills using nonsurgical tasks-can Nintendo Wii™ improve surgical

- performance? *Journal of Surgical Education*, 68(2), 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2010.11.005>
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141–178. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0202_2
- Brualdi, A. (1999). *Traditional and modern concepts of validity* (ED435714). ERIC. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED435714.pdf>
- Carter, F. J., Schijven, M. P., Aggarwal, R., Grantcharov, T., Francis, N. K., Hanna, G. B. y Jakimowicz, J. J. (2005). Consensus guidelines for validation of virtual reality surgical simulators. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 19(12), 1523–1532. <https://doi.org/10.1007/s00464-005-0384-2>
- Collins, A. (1992). Toward a design science of education. In E. Scanlon, T. O’Shea (Eds.). *New Directions in Educational Technology. NATO ASI Series*, 96. https://doi.org/10.1007/978-3-642-77750-9_2
- Cook, D. A. (2015). Much ado about differences: Why expert-novice comparisons add little to the validity argument. *Advances in Health Sciences Education*, 20(3), 829–834. <https://doi.org/10.1007/s10459-014-9551-3>
- Cook, D. A., Brydges, R., Zendejas, B., Hamstra, S. J. y Hatala, R. (2013). Technology-enhanced simulation to assess health professionals: a systematic review of validity evidence, research methods, and reporting quality. *Academic Medicine*, 88(6), 872–883. <https://doi.org/10.1097/acm.0b013e31828ffdcf>
- Cook, D. A., Zendejas, B., Hamstra, S. J., Hatala, R. y Brydges, R. (2014). What counts as validity evidence? Examples and prevalence in a systematic review of simulation-based assessment. *Advances in Health Sciences Education*, 19(2), 233–250. <https://doi.org/10.1007/s10459-013-9458-4>
- Dawe, S. R., Pena, G. N., Windsor, J. A., Broeders, J. A. J. L., Cregan, P. C., Hewett, P. J. y Maddern, G. J. (2014). Systematic review of skills transfers after surgical simulation-based training. *British Journal of Surgery*, 101(9), 1063–1076. <https://doi.org/10.1002/bjs.9482>
- Debes, A. J., Aggarwal, R., Balasundaram, I. y Jacobsen, M. B. (2010). A tale of two trainers: virtual reality versus a video trainer for acquisition of basic laparoscopic skills. *American Journal of Surgery*, 199(6), 840–845. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2009.05.016>
- Deziel, D. J., Millikan, K. W., Economou, S. G., Doolas, A., Ko, S. T. y Airan, M. C. (1993). Complications of laparoscopic cholecystectomy: A national survey of 4,292 hospitals and an analysis of 77,604 cases. *American Journal of Surgery*, 165(1), 9–14. [https://doi.org/10.1016/s0002-9610\(05\)80397-6](https://doi.org/10.1016/s0002-9610(05)80397-6)
- Dresch, A., Pacheco-Lacerda, D. y Valle-Antunes, J. A. J. (2015). *Design science research. A method for science and technology advancement*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07374-3>
- Ebert, L. C., Flach, P. M., Thali, M. J. y Ross, S. (2014). Out of touch - A plugin for controlling OsiriX with gestures using the Leap Controller. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 2(3), 126–128. <https://doi.org/10.1016/j.jofri.2014.05.006>

- Fried, G. M. y Feldman, L. S. (2008). Objective assessment of technical performance. *World Journal of Surgery*, 32(2), 156–160. <https://doi.org/10.1007/s00268-007-9143-y>
- Gaba, D. M. (2004). The future vision of simulation in health care. *Quality and Safety in Health Care*, 13(1), 2–10. <https://doi.org/10.1136/qshc.2004.009878>
- Gallagher, A. G., Ritter, E. M. y Satava, R. M. (2003). Fundamental principles of validation, and reliability: Rigorous science for the assessment of surgical education and training. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 17(10), 1525–1529. <https://doi.org/10.1007/s00464-003-0035-4>
- Gasperin, B. D. M., Zanirati, T. y Cavazzola, L. T. (2018). Can virtual reality be as good as operating room training? Experience from a residency program in general surgery. *ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva*, 31(4), e1397. <https://doi.org/10.1590/0102-672020180001E1397>
- Gazit, N., Ben-Gal, G. y Eliashar, R. (2024). Development and validation of an objective virtual reality tool for assessing technical aptitude among potential candidates for surgical training. *BMC Medical Education*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/S12909-024-05228-1>
- Ghaderi, I., Manji, F., Soo Park, Y., Juul, D., Ott, M., Harris, I. y Farrell, T. M. (2015). Technical skills assessment toolbox a review using the unitary framework of validity. *Annals of Surgery*, 261(2), 251–262. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000520>
- Goff, W. M. y Getenet, S. (2017). Design-based research in doctoral studies: adding a new dimension to doctoral research. *International Journal of Doctoral Studies*, 12, 107–121. <https://doi.org/10.28945/3761>
- González-López, P., Kuptsov, A., Gómez-Revuelta, C., Fernández-Villa, J., Abarca-Olivas, J., Daniel, R. T., Meling, T. R. y Nieto-Navarro, J. (2024). The integration of 3D virtual reality and 3D printing technology as innovative approaches to preoperative planning in neuro-oncology. *Journal of Personalized Medicine*, 14(2), 187. <https://doi.org/10.3390/JPM14020187>
- Gurusamy, K., Aggarwal, R., Palanivelu, L. y Davidson, B. R. (2008). Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery. *British Journal of Surgery*, 95(9), 1088–1097. <https://doi.org/10.1002/bjs.6344>
- Hamstra, S. J., Brydges, R., Hatala, R., Zendejas, B. y Cook, D. A. (2014). Reconsidering fidelity in simulation-based training. *Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges*, 89(3), 387–392. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000130>
- Haque, S. y Srinivasan, S. (2006). A meta-analysis of the training effectiveness of virtual reality surgical simulators. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 10(1), 51–58. <https://doi.org/10.1109/TITB.2005.855529>
- Hennessey, I. A. y Hewett, P. (2013). Construct, concurrent, and content validity of the eoSim laparoscopic simulator. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*, 23, 855–860.
- Herrington, J., Oliver, R. y Reeves, T. C. (2003). Patterns of engagement in authentic online learning environments authentic activities in learning environments. *Australian Journal of Educational Technology*, 19(1). Hevner,

- A. R. y Chatterjee, S. (2010). *Design research in information systems. Theory and practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5653-8>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J. y Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Issenberg, S. B., McGaghie, W. C., Hart, I. R., Mayer, J. W., Felner, J. M., Petrusa, E. R., Waugh, R. A, Brown, D. D., Safford, R. R., Gessner, I. H., Gordon, D. L. y Ewy, G. A. (1999). Simulation technology for health care professional skills training and assessment. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 282(9), 861–866. <https://doi.org/10.1001/jama.282.9.861>
- Izard, S. G., Torres, R. S., Plaza, Ó. A., Méndez, J. A. J. y Joségarcía-Peñalvo, F. (2020). Nextmed: automatic imaging segmentation, 3D reconstruction, and 3D model visualization platform using augmented and virtual reality. *Sensors*, 20(10), 2962. <https://doi.org/10.3390/S20102962>
- Juuti, K. y Lavonen, J. (2006). Design-based research in science education: One step towards methodology. *NorDiNa: Nordic Studies in Science Education*, 4, 54–68. <https://doi.org/10.5617/nordina.424>
- Karaliotas, C. (2011). When simulation in surgical training meets virtual reality. *Hellenic Journal of Surgery*, 83(6), 303–316. <https://doi.org/10.1007/s13126-011-0055-9>
- Kennedy, A. M., Boyle, E. M., Traynor, O., Walsh, T. y Hill, a. D. K. (2011). Video gaming enhances psychomotor skills but not visuospatial and perceptual abilities in surgical trainees. *Journal of Surgical Education*, 68(5), 414–420. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2011.03.009>
- Kneebone, R. L. (2005). Evaluating clinical simulations for learning procedural skills: A theory-based approach. *Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges*, 80(6), 549–553. <https://doi.org/10.1097/00001888-200506000-00006>
- Kneebone, R. L., Scott, W., Darzi, A. y Horrocks, M. (2004). Simulation and clinical practice: Strengthening the relationship. *Medical Education*, 38(10), 1095–1102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2004.01959.x>
- Kozlowski, S. W. J. y DeShon, R. P. (2004). Scaled worlds: Development, validation, and applications. In E. Salas, L. R. Elliott, S. G. Schflett y M. D. Coovert (Eds.), *A psychological fidelity approach to simulation-based training: theory, research, and principles*. (pp. 75–99). Ashgate Publishing.
- Krummel, T. M. (1998). Surgical simulation and virtual reality: The coming revolution. *Annals of Surgery*, 228(5), 635–637. <https://doi.org/10.1097/00000658-199811000-00002>
- Kunkler, K. (2006). The role of medical simulation: An overview. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 2(3), 203–210. <https://doi.org/10.1002/rcs.101>
- Lacerda, D. P., Dresch, Al., Proença, A. y Antunes Júnior, J. A. V. (2013). Design science research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gestão & Produção*, 20(4), 741–761. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>
- Lamata, P., Gómez, E. J., Bello, F., Kneebone, R. L., Aggarwal, R. y Lamata, F. (2006). Conceptual framework for laparoscopic VR simulators. *IEEE*

- Computer Graphics and Applications*, 26(6), 69–79.
<https://doi.org/10.1109/MCG.2006.125>
- Litynski, G. S. (1999). Profiles in laparoscopy: Mouret, Dubois, and Perissat: The laparoscopic breakthrough in Europe (1987-1988). *JLS: Journal of the Society of Laparoscopic Surgeons*, 3(2), 163–167.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc3015318/>
- Logishetty, K., Rudran, B. y Cobb, J. P. (2019). Virtual reality training improves trainee performance in total hip arthroplasty: A randomized controlled trial. *The Bone & Joint Journal*, 101-B(12), 1585–1592.
<https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B12.BJJ-2019-0643.R1>
- Łysak, J. M., Lis, M. y Więckowski, P. R. (2023). Low-cost laparoscopic simulator - viable way of enabling access to basic laparoscopic training for medical students? *The Surgeon: Journal of the Royal Colleges of Surgeons of Edinburgh and Ireland*, 21(6), 351–355.
<https://doi.org/10.1016/J.SURGE.2023.03.005>
- Maithel, S. K., Sierra, R., Korndorffer, J., Neumann, P., Dawson, S., Callery, M., Jones, D. y Scott, D. (2006). Construct and face validity of MIST-VR, Endotower, and CELTS: Are we ready for skills assessment using simulators? *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 20(1), 104–112. <https://doi.org/10.1007/s00464-005-0054-4>
- Manson, N. (2006). Is operations research really research? *ORiON*, 22(2), 155–180. <https://doi.org/10.5784/22-2-40>
- March, S. T. y Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, 15(4), 251–266.
[https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2)
- Markus, M. L., A., M. y Gasser, L. (2002). A design theory for systems that support emergent knowledge processes. *MIS Quarterly*, 26(3), 179–212.
<https://www.jstor.org/stable/4132330>
- Matsumoto, E. D., Hamstra, S. J., Radomski, S. B. y Cusimano, M. D. (2002). The effect of bench model fidelity on endourological skills: A randomized controlled study. *The Journal of Urology*, 167(3), 1243–1247.
[https://doi.org/10.1016/S0022-5347\(05\)65274-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5347(05)65274-3)
- McDougall, E. M. (2007). Validation of surgical simulators. *Journal of Endourology*, 21(3), 244–247. <https://doi.org/10.1089/end.2007.9985>
- McKay, J. y Marshall, P. (2001). The dual imperatives of action research. *Information Technology & People*, 14(1), 46–59. doi: 10.1108/09593840110384771
- Messick, S. (1989). Meaning and values in test validation: the science and ethics of assessment. *Educational Researcher*, 18(2), 5–11.
<https://doi.org/10.3102/0013189X018002005>
- Messick, S. (1994). The interplay of evidence and consequences in the validation of performance assessments. *Educational Researcher*, 23(2), 13–23.
<https://doi.org/10.3102/0013189X023002013>
- Messick, S. (1995a). Standards of validity and the validity of standards in performance assessment. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 14(4), 5–8. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.1995.tb00881.x>
- Messick, S. (1995b). Validity of psychological assessment: Validation of inferences from persons' responses and performances as scientific inquiry

- into score meaning. *American Psychologist*, 50(9), 741–749. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.50.9.741>
- Metcalfe, M. (2008). Pragmatic inquiry. *Journal of the Operational Research Society*, 59(8), 1091–1099. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602443>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. y Altman, D. G. (2014). Preferred reporting Items for systematic reviews and meta-analyses. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264–269. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed1000097>
- Momand, B., Hamidi, M., Sacuevo, O. y Dubrowski, A. (2022). The application of a design-based research framework for simulation-based education. *Cureus*, 14(11), e31804. <https://doi.org/10.7759/CUREUS.31804>
- Moore, M. J. y Bennett, C. L. (1995). The learning curve for laparoscopic cholecystectomy. *American Journal of Surgery*, 170(1), 55–59. [https://doi.org/10.1016/s0002-9610\(99\)80252-9](https://doi.org/10.1016/s0002-9610(99)80252-9)
- Moorthy, K., Munz, Y., Sarker, S. K. y Darzi, A. (2003). Objective assessment of technical skills in surgery. *British Medical Journal*, 327(7422), 1032–1037. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7422.1032>
- Moran-Atkin, E., Abdalla, G., Chen, G., Magnuson, T. H., Lidor, A. O., Schweitzer, M. A. y Steele, K. E. (2015). Preoperative warm-up the key to improved resident technique: a randomized study. *Surgical Endoscopy*, 29(5), 1057–1063. <https://doi.org/10.1007/s00464-014-3778-1>
- Moulder, J. K., Louie, M., Toubia, T., Schiff, L. D. y Siedhoff, M. T. (2017). The role of simulation and warm-up in minimally invasive gynecologic surgery. *Current Opinion in Obstetrics & Gynecology*, 29(4), 212–217. <https://doi.org/10.1097/GCO.0000000000000368>
- Mouret, P. (1996). How I developed laparoscopic cholecystectomy. *Annals of the Academy of Medicine Singapore*, 25(5), 744–747. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8924020>
- Munro, M. G. (2012). Surgical simulation: where have we come from? Where are we now? Where are we going? *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 19(3), 272–283. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2012.01.012>
- Noble, C. (2002). The relationship between fidelity and learning in aviation training and assessment. *Journal of Air Transportation*, 7(3), 33–54. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20020074981>
- Noureldin, Y. A., Lee, J. Y., McDougall, E. M. y Sweet, R. M. (2018). Competency-based training and simulation: making a “valid” argument. *Journal of Endourology*, 32(2), 84–93. <https://doi.org/10.1089/end.2017.0650>
- Oates, B. J. (2006). *Researching information systems and computing*. SAGE..
- Ogura, T., Sato, M., Ishida, Y., Hayashi, N. y Doi, K. (2014). Development of a novel method for manipulation of angiographic images by use of a motion sensor in operating rooms. *Radiological Physics and Technology*, 7(2), 228–234. <https://doi.org/10.1007/s12194-014-0259-0>
- Papanikolaou, I. G. (2013). Assessment of medical simulators as a training programme for current surgical education. *Hellenic Journal of Surgery*, 85(4), 240–248. <https://doi.org/10.1007/s13126-013-0047-z>
- Parham, G., Bing, E. G., Cuevas, A., Fisher, B., Skinner, J., Mwanahamuntu, M. y Sullivan, R. (2019). Creating a low-cost virtual reality surgical simulation to increase surgical oncology capacity and capability. *Ecancer*, 13 (910). <https://doi.org/10.3332/ECANCER.2019.910>

- Park, A. y Witzke, D. B. (2002). Training and educational approaches to minimally invasive surgery: State of the art. *Seminars in Laparoscopic Surgery*, 9(4), 198–205. <https://doi.org/10.1053/slas.2002.36468>
- Patil, M., Gharde, P., Reddy, K. y Nayak, K. (2024). Comparative Analysis of Laparoscopic Versus Open Procedures in Specific General Surgical Interventions. *Cureus*, 16(2). <https://doi.org/10.7759/CUREUS.54433>
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A. y Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Pike, T. W., Pathak, S., Mushtaq, F., Wilkie, R. M., Mon-Williams, M. y Lodge, J. P. A. (2017). A systematic examination of preoperative surgery warm-up routines. *Surgical Endoscopy*, 31(5), 2202–2214. <https://doi.org/10.1007/S00464-016-5218-X>
- Poulose, B. K., Vassiliou, M. C., Dunkin, B. J., Mellinger, J. D., Fanelli, R. D., Martinez, J. M., Hazey, J. W., Sillin, L. F., Delaney, C. P., Velanovich, V., Fried, G. M., Korndorffer, J. R. y Marks, J. M. (2014). Fundamentals of endoscopic surgery cognitive examination: development and validity evidence. *Surgical Endoscopy*, 28(2), 631–638. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-3220-0>
- Reeves, T. (2006). Design research from a technology perspective. In J. Van den Akker, K. Gravejeijer, S. McKenney & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 52-66). Routledge.
- Rogers, D. A., Elstein, A. S. y Bordage, G. (2001). Improving continuing medical education for surgical techniques: applying the lessons learned in the first decade of minimal access surgery. *Annals of Surgery*, 233(2), 159–166. <https://doi.org/10.1097/00000658-200102000-00003>
- Rosa, G. M. y Elizondo, M. L. (2014). Use of a gesture user interface as a touchless image navigation system in dental surgery: case series report. *Imaging Science in Dentistry*, 44(2), 155–160. <https://doi.org/10.5624/isd.2014.44.2.155>
- Rosser, J. C. (2007). The impact of video games on training surgeons in the 21st century. *Archives of Surgery*, 142(2), 181. <https://doi.org/10.1001/archsurg.142.2.181>
- Rudran, B. y Logishetty, K. (2018). Virtual reality simulation: a paradigm shifts for therapy and medical education. *British Journal of Hospital Medicine*, 79(12), 666–667. <https://doi.org/10.12968/hmed.2018.79.12.666>
- SAGES FLS Committee. (2023). *Fundamentals of Laparoscopic Surgery*. <https://www.flsprogram.org/>
- Sánchez-Hurtado, M. Á., Usón-Gargallo, J., Martín-Portugués, I. D. G., Enciso, S., Sánchez-Peralta, L. F., Sánchez-Fernández, J. y Sánchez-Margallo, F. M. (2019). Validación en simulación laparoscópica. Consideraciones metodológicas y de diseño. *Archivos Españoles de Urología*, 72(9), 904–914. <https://www.aeurologia.com/EN/Y2019/V72/I9/904>
- Sánchez-Margallo, J. A., Plaza de Miguel, C., Fernández Anzules, R. A. y Sánchez-Margallo, F. M. (2021). Application of Mixed Reality in Medical Training and Surgical Planning Focused on Minimally Invasive Surgery.

- Frontiers in Virtual Reality*, 2, 692641.
<https://doi.org/10.3389/frvir.2021.692641>
- Satava, R. M. (1993). Virtual reality surgical simulator - The first steps. *Surgical Endoscopy*, 7(3), 203–205. <https://doi.org/10.1007/BF00594110>
- Satava, R. M., Cuschieri, A. y Hamdorf, J. (2003). Metrics for objective assessment: Preliminary summary of the surgical skills workshop. *Surgical Endoscopy*, 17(2), 220–226. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-8869-8>
- Schijven, M. P. y Jakimowicz, J. (2002). Face, expert, and referent validity of the Xitact LS500 laparoscopy simulator. *Surgical Endoscopy*, 16(12), 1764–1770. <https://doi.org/10.1007/s00464-001-9229-9>
- Schijven, M. P. y Jakimowicz, J. (2003). Virtual reality surgical laparoscopic simulators. *Surgical Endoscopy*, 17(12), 1943–1950. <https://doi.org/10.1007/s00464-003-9052-6>
- Schout, B. M. A., Hendriks, A. J. M., Scheele, F., Bemelmans, B. L. H. y Scherpbier, A. J. J. A. (2010). Validation and implementation of surgical simulators: a critical review of present, past, and future. *Surgical Endoscopy*, 24(3), 536–546. <https://doi.org/10.1007/s00464-009-0634-9>
- Scott, E. E., Wenderoth, M. P. y Doherty, J. H. (2020). Design-based research: a methodology to extend and enrich biology education research. *CBE Life Sciences Education*, 19(3), 1–12. <https://doi.org/10.1187/CBE.19-11-0245>
- Sewell, C., Morris, D., Blevins, N. H., Dutta, S., Agrawal, S., Barbagli, F. y Salisbury, K. (2010). Providing metrics and performance feedback in a surgical simulator. *Computer Aided Surgery*, 13(2), 63–81. <https://doi.org/10.3109/10929080801957712>
- Seymour, N. E., Gallagher, A. G., Roman, S. A., O'Brien, M. K., Bansal, V. K., Andersen, D. K., Satava, R. M., Pellegrini, C. A., Sachdeva, A. K., Meakins, J. L. y Blumgart, L. H. (2002). Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Annals of Surgery*, 236(4), 458. <https://doi.org/10.1097/00000658-200210000-00008>
- Seymour, N. E. y Røtnes, J. S. (2006). Challenges to the development of complex virtual reality surgical simulations. *Surgical Endoscopy*, 20(11), 1774–1777. <https://doi.org/10.1007/s00464-006-0107-3>
- Shea, B. J., Reeves, B. C., Wells, G., Thuku, M., Hamel, C., Moran, J., Moher, D., Tugwell, P., Welch, V., Kristjansson, E. y Henry, D. A. (2017). AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomized or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ*, 358:j4008. <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>
- Shao, M. Y., Aburrous, M., Huson, D., Parraman, C., Hardeberg, J. Y. y Clark, J. (2023). Development and validation of a hybrid simulator for ultrasound-guided laparoscopic common bile duct exploration. *Surgical Endoscopy*, 37(9), 6943–6953. <https://doi.org/10.1007/S00464-023-10168-W>
- Simon, H. A. (1969). *The sciences of the artificial*. The MIT Press.
- Soler, L. y Marescaux, J. (2008). Patient-specific surgical simulation. *World Journal of Surgery*, 32(2), 208–212. <https://doi.org/10.1007/s00268-007-9329-3>
- Soler, L., Nicolau, S., Pessaux, P., Mutter, D. y Marescaux, J. (2014). Real-time 3D image reconstruction guidance in liver resection surgery. *Hepatobiliary*

- Surgery and Nutrition*, 3(2), 73–81. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2304-3881.2014.02.03>
- Sugden, C. y Aggarwal, R. (2010). Assessment and feedback in the skills laboratory and operating room. *Surgical Clinics of North America*, 90(3), 519–533. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2010.02.009>
- Straub, D., Boudreau, M-C., Gefen, D. (2004). Validation Guidelines for IS positivist Research. *Communication of the Association for Information Systems*, 13, 380-427 <https://doi.org/10.17705/1CAIS.01324>
- Sunaert, S. (2006). Presurgical planning for tumor resectioning. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 23(6), 887–905. <https://doi.org/10.1002/JMRI.20582>
- Sutton, C., McCloy, R., Middlebrook, A., Chater, P., Wilson, M. y Stone, R. (1997). MIST VR. A laparoscopic surgery procedures trainer and evaluator. *Studies in Health Technology and Informatics*, 39, 598–607. <https://IOS Press Ebooks - MIST^{VR}, A laparoscopic Surgery Procedures Trainer and Evaluator>
- Sweet, R. M., Hananel, D. y Lawrenz, F. (2010). A unified approach to validation, reliability, and education study design for surgical technical skills training. *Archives of Surgery*, 145(2), 197–201. <https://doi.org/10.1001/archsurg.2009.266>
- Taffinder, N., Sutton, C., Fishwick, R. J., McManus, I. C. y Darzi, A. (1998). Validation of virtual reality to teach and assess psychomotor skills in laparoscopic surgery: results from randomized controlled studies using the MIST VR laparoscopic simulator. *Studies in Health Technology and Informatics*, 50, 124–130. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-894-6-124>
- Takeda, H., Veerkamp, P., Tomiyama, T. y Yoshikawa, H. (1990). Modeling design processes. *AI Magazine*, 11(4), 37–48. <https://www.aaai.org/ojs/index.php/aimagazine/article/view/855/773>
- The Design-Based Research Collective (2003). Design-based research: an emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
- The Southern Surgeons Club. (1991). A prospective analysis of 1518 laparoscopic cholecystectomies. *The New England Journal of Medicine*, 324(16), 1073–1078. <https://doi.org/10.1056/nejm199104183241601>
- Torkington, J., Smith, S. G. T., Rees, B. I. y Darzi, a. (2001). Skill transfer from virtual reality to a real laparoscopic task. *Surgical Endoscopy*, 15(10), 1076–1079. <https://doi.org/10.1007/s004640000233>
- Vaishnavi, V., Kuechler, B. y Petter, S. (2009). *Design science research in information systems*. <http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/>
- Van Dongen, K. W., Verleisdonk, E. J. M. M., Schijven, M. P. y Broeders, Ivo A M. J. (2011). Will the Playstation generation become better endoscopic surgeons? *Surgical Endoscopy*, 25(7), 2275–2280. <https://doi.org/10.1007/s00464-010-1548-2>
- Van Merriënboer, J. J. G. y Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147–177. <https://doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>

- Van Merriënboer, J. J. G. y Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. *Medical Education*, 44(1), 85–93. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x>
- Viglialoro, R. M., Condino, S., Turini, G., Carbone, M., Ferrari, V. y Gesi, M. (2021). Augmented Reality, Mixed Reality, and Hybrid Approach in Healthcare Simulation: A Systematic Review. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 2338, 11(5), 2338. <https://doi.org/10.3390/APP11052338>
- Vitari, C. y Ravarini, A. (2007). Validation of IS positivist research: an application and discussion of the Straub, Boudreau and Gefen's guidelines. *ItAIS-Italian Chapter of the Association for Information Systems Conference*, 106–112. <https://shs.hal.science/halshs-01924297/document>
- Walls, J. G., Widmeyer, G. R. y El Sawy, O. A. (1992). Building an information system design theory for vigilant EIS. *Information Systems Research*, 3(1), 36–59. <https://doi.org/10.1287/isre.3.1.36>
- Wang, F. y Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5–23. <https://doi.org/10.1007/BF02504682>
- Wanzel, K. R., Ward, M. y Reznick, R. K. (2002). Teaching the surgical craft: from selection to certification. *Current Problems in Surgery*, 39(6), 583–659. <https://doi.org/10.1067/mog.2002.123481>
- Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B. y Fisseler, D. (2013). Analysis of the accuracy and robustness of the Leap Motion Controller. *Sensors*, 13(5), 6380–6393. <https://doi.org/10.3390/s130506380>
- Wignall, G. R., Denstedt, J. D., Preminger, G. M., Cadeddu, J. A., Pearle, M. S., Sweet, R. M. y McDougall, E. M. (2008). Surgical simulation: a urological perspective. *Journal of Urology*, 179(5), 1690–1699. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2008.01.014>
- Wilson, M. S., Middlebrook, A., Sutton, C., Stone, R. y McCloy, R. F. (1997). MIST VR: A virtual reality trainer for laparoscopic surgery assesses performance. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 79(6), 403–404. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2502952/>
- Wolcott, M. D., Lobczowski, N. G., Lyons, K. y McLaughlin, J. E. (2019). Design-based research: connecting theory and practice in pharmacy educational intervention research. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 11(3), 309–318. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2018.12.002>
- Zendejas, B., Brydeges, R., Hamstra, S.J. y Cook, D.A. (2013). State of the evidence on simulation/based training for laparoscopic surgery: a systematic review. *Annals of Surgery*, 274(4), 586-593. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318288c40b>
- Zendejas, B., Ruparel, R. K. y Cook, D. A. (2016). Validity evidence for the Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS) program as an assessment tool: a systematic review. *Surgical Endoscopy*, 30(2), 512–520. <https://doi.org/10.1007/s00464-015-4233-7>
- Ziv, A., Wolpe, P. R., Small, S. D. y Glick, S. (2003). Simulation-based medical education: an ethical imperative. *Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges*, 78(8), 783–788. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12915366>

Ziv, A., Wolpe, P. R., Small, S. D. y Glick, S. (2006). Simulation-based medical education: an ethical imperative. *Simulation in Healthcare: Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 1(4), 252–256. <https://doi.org/10.1097/01.SIH.0000242724.08501.63>