

Uso de simulación con realidad virtual 3D mediada por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en cirugía mínimamente invasiva

Tesis presentada por
Fernando Álvarez López

para obtener el grado de
Doctor en E-learning (Educación y TIC)
Universitat Oberta de Catalunya

Directores:

Francesc Saigí Rubió
Marcelo Fabián Maina

Programa de Doctorado en E-learning (Educación y TIC)

Universitat Oberta de Catalunya

Universitat
Oberta
de Catalunya



A Beatriz y Valeria

*“Without development, research has no use;
without research, development has no base.”*

Hitch and McKean 1960

Agradecimientos

A mi familia, Beatriz y Valeria por su apoyo y comprensión durante todo este proceso.

A Juan Pablo Toro Arias, ingeniero de sistemas, por su papel fundamental en el diseño del entorno virtual y en el desarrollo de la métrica y la retroalimentación.

A Lorena Ceballos Tamayo, diseñadora industrial y a Tomás Henao Serna, estudiante de ingeniería mecatrónica, por su compromiso y aportes para el desarrollo del hardware.

A Fernando Arango Gómez, mi gran amigo, sin quien no hubiera podido realizar todos los análisis estadísticos. Gracias por su paciencia, tiempo y apoyo incondicional.

A la ex Decana Sonia Rocío De La Portilla Maya, quien, al disminuir mi tiempo de vinculación a la Universidad de Manizales, facilitó que pudiera dedicar más tiempo a mi proyecto Doctoral.

A todos los estudiantes, cirujanos pediátricos, residentes y cirujanos que colaboraron generosamente con su tiempo para realizar los ejercicios de simulación. Sin ellos no hubiera sido posible culminar este proyecto.

A mis colegas cirujanos pediátricos y en particular a la Dra. Consuelo Cárdenas Zuluaga, Siempre conté con su apoyo cuando requerí tiempo adicional para mi proyecto doctoral.

Y finalmente a los doctores Francesc Saigí Rubió y Marcelo Fabián Maina mis directores de Tesis, sin su apoyo constante en los momentos más difíciles no hubiera sido posible culminar este proyecto. Agradecimientos perpetuos.

Contenido

Abreviaturas y Glosario	15
Abreviaturas	15
Glosario.....	15
Resumen	27
Abstract	29
Introducción	33
Capítulo 1 Contextualización de la investigación	37
1.1 Justificación de la investigación	37
1.2 Preguntas y objetivos de la investigación	40
1.3 El contexto y la estructura de la investigación.....	45
Capítulo 2 Revisión de la literatura	51
2.1 La simulación y la Cirugía Mínimamente Invasiva (Minimally Invasive Surgery -MIS)	52
2.1.1 Definiciones básicas.....	52
2.1.2 Breve historia de la simulación en Ciencias para la Salud	52
2.1.3 Simulación en cirugía de invasión mínima (Minimally Invasive Surgery-MIS).....	54
2.1.4 Imperativos para la simulación en cirugía	56
2.1.5 Clasificación de los simuladores en cirugía.....	61
2.1.6 Cómo se aprenden destrezas psicomotoras en MIS mediante la simulación.....	67
2.1.7 El concepto de experto y la curva de aprendizaje en MIS	76
2.2 “Minimally Invasive Surgery Training -Virtual Reality-” (MIST-VR)	82
2.3 El Leap Motion Controller™ -LMC-	85
Capítulo 3 Publicaciones	91
3.1 Publicación 01: Use of comercial off-the-shelf devices for the detection of manual gestures in surgery: systematic literature review.....	97
3.2 Publicación 02. Use of a low-cost portable 3D virtual reality gesture-mediated simulator for training and learning basic psychomotor skills in minimally invasive surgery: developmentand content validity study	123
3.3 Publicación 03. Use of a low-cost portable 3D virtual reality simulator for psychomotor skill training in Minimally Invasive Surgery: task metrics an score validity	148
Capítulo 4 Metodología de investigación	167
4.1 “ <i>Design-Based Research</i> ” - Acerca de la terminología y su definición.....	167
4.1.1 El origen	168
4.1.2 La confusión de la denominación - una visión desde la perspectiva educativa.....	169
4.1.3 La confusión de la denominación. Una visión desde el diseño, la ingeniería, los sistemas de información y manejo y desarrollo organizacional.....	171
4.1.4 Resumen de las características del DBR	174
4.1.5 “ <i>Design-Based Research</i> ” –DBR– como paradigma de investigación	175

4.2	Confiabilidad y validez en simulación en MIS	186
4.2.1	El concepto de confiabilidad (“reliability”)	187
4.2.2	Modelo clásico de la clasificación de los tipos de validez.....	189
4.2.3	El concepto de validez de acuerdo con los “Standards for Educational and Psychological Testing 2014”	193
4.2.4	El concepto de constructo	196
4.2.5	Amenazas a la validez o fuentes de invalidez	198
Capítulo 5	Resultados y discusión	203
5.1	Revisión sistemática de la literatura sobre el uso de COTs mediados por gestos en cirugía y en simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS.....	203
5.2	Uso de un simulador portátil y de bajo costo de realidad virtual 3D mediado por gestos para el entrenamiento y el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en cirugía mínimamente invasiva: desarrollo y estudio de validez de contenido.....	206
5.2.1	Desarrollo del SIMISGEST-VR.....	206
5.2.2	Evaluación de la fidelidad al criterio del SIMISGEST-VR	220
5.2.3	Evaluación de la validez de contenido del SIMISGEST-VR	221
5.3	Uso de un simulador de realidad virtual 3D portátil y de bajo costo para el entrenamiento de destrezas psicomotoras en cirugía mínimamente invasiva: validez de la métrica y de los puntajes de las tareas	224
5.3.1	Perfil demográfico	224
5.3.2	Hipótesis de validez #1. Fuentes de evidencia de validez para relación con otras variables	224
5.3.3	Hipótesis de validez #2. Fuentes de evidencia de validez para estructura interna	225
5.3.4	Hipótesis de validez #3. Fuentes de evidencia de validez para consecuencias de la prueba.....	225
Conclusiones.....	227	
Conclusiones de la investigación	227	
Limitaciones de la investigación	230	
Líneas futuras de investigación y desarrollo	231	
Recomendaciones.....	232	
Aplicaciones prácticas de la tesis.....	233	
Referencias bibliográficas	235	
Anexos	327	
Anexo 1. Revisiones sistemáticas de la literatura sobre simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS	327	
Anexo 2. Simuladores comerciales	335	
Anexo 3. Estudios de validación del MIST-VR	346	
Anexo 4. Carta al editor de la revista Surgical Innovation	354	
Anexo 5. Denominaciones utilizadas en el campo de la educación	356	
Anexo 6. Denominaciones utilizadas en ingeniería, sistemas de información, tecnologías de la información, diseño, arquitectura, artes y manejo organizacional	359	
Anexo 7. Carta del Dr. Korndorffer, editor asociado de la revista “Journal of Surgical Education”	364	
Anexo 8. Resultados de la consulta en PubMed	365	

Anexo 9. Guía para el uso del marco de referencia de fuentes de validez de Messick.....	363
Anexo 10. Encuesta demográfica y de fidelidad al criterio	374
Fidelity to the criterion survey	375
Anexo 11. Resultados de la evaluación del criterio del SIMISGEST-VR.....	376
Anexo 12. Encuesta de contenido y resultados	376
Anexo 13. Results of the content validity survey	380

Lista de tablas

Tabla 1. Correspondencia entre los objetivos específicos y los objetivos generales	44
Tabla 2. Correspondencia entre las preguntas específicas y las preguntas generales	45
Tabla 3. Correspondencia entre las publicaciones y las fases de la investigación.....	46
Tabla 4. Síntesis de las fases de la investigación	48
Tabla 5. Retos superados en las fases del proyecto (Goff & Getenet, 2017)	49
Tabla 6. Clasificación general de los simuladores en MIS, ventajas y desventajas.....	63
Tabla 7. Retos psicomotores y de ergonomía en MIS	68
Tabla 8. Resumen de las teorías sobre cómo se aprenden las destrezas psicomotoras en cirugía.....	71
Tabla 9. Estadios del aprendizaje de las destrezas quirúrgicas	77
Tabla 10. Ejercicios originales del MIST-VR (Sutton et al., 1997)El Leap Motion Controller™ - LMC-.....	85
Tabla 11. Relevancia de las publicaciones	93
Tabla 12. Conceptos comunes acerca de una definición del DBR utilizados en la literatura consultada	172
Tabla 13. Comparación desde el punto de vista filosófico entre los paradigmas Positivista, Interpretativista y el DBR.....	176
Tabla 14. Guías para evaluar un proyecto de DBR	184
Tabla 15. Conceptos claves acerca de la validez y la validación	187

Tabla 16. Descripción de las tareas, su equivalente quirúrgico y el objetivo de aprendizaje	210
Tabla 17. Proceso de obtención de un prototipo “good enough”	218
Tabla 18. Valoración de la fidelidad al criterio y validez de contenido de acuerdo con el nivel de entrenamiento.....	222
Tabla 19. Valoración de la fidelidad al criterio y validez de contenido de acuerdo con el nivel de experiencia.....	223
Tabla 20. Revisiones sistemáticas de la literatura sobre simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS.....	329
Tabla 21. Simuladores comerciales más frecuentemente usados para enseñanza/aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS.....	335
Tabla 22. Estudios de validación del MIST- VR	346
Tabla 23. Denominaciones utilizadas en el campo de la educación con base en 51 autores consultados.....	356
Tabla 24. Denominaciones utilizadas en los campos de la ingeniería, los sistemas de información, tecnologías de la información, diseño, arquitectura, artes, manejo organizacional. N = 32.....	359
Tabla 25. Artículos referenciados en PubMed entre enero de 2018 y junio de 2019 sobre validación de apariencia (face validity).....	365
Tabla 26. Guía para el uso del marco de referencia de fuentes de validez de Messick (1995b)...	369
Tabla 27. Fidelity to the criterion	375
Tabla 28. Fidelity to the criterion	376
Tabla 29. Content validity survey	376
Tabla 30. Fidelity to the criterion according to level of training	377
Tabla 31. Fidelity to the criterion according to level of experience	377
Tabla 32. Fidelity to the criterion vs. experience and training levels	378
Tabla 33. Content validity.....	380
Tabla 34. Content validity. Training capacity of the SIMISGEST-VR according to level of training.....	380

Tabla 35. Content validity. Capacity for training of the SIMISGEST-VR according to level of experience	381
Tabla 36. Content validity vs levels of experience and training	381

Lista de figuras

Figura 1. Teoría de la adquisición de destrezas cognitivas en tres estadios.....	75
Figura 2. Modelo de Rasmussen del comportamiento humano en el entrenamiento en MIS	76
Figura 3. Relación entre el nivel de desempeño de los cirujanos versus el tiempo de entrenamiento/número de procedimientos	78
Figura 4. Relación entre los recursos atencionales y el nivel de experiencia del cirujano	79
Figura 5. Diferencias con respecto al uso de los recursos de atención entre el cirujano novato y el cirujano experto.....	80
Figura 6. Diferencias con respecto al uso de los recursos de atención entre un novato, un novato pre-entrenado y un cirujano experto	81
Figura 7. El “Minimally Invasive Surgery Training -Virtual Reality-” (MIST-VR)	84
Figura 8. El Leap Motion Controller™.....	89
Figura 9. Disposición interna de los tres emisores LED de luz infrarroja y de las dos cámaras	90
Figura 10. Metodología general del DBR.....	179
Figura 11. Correlación de las etapas o fases del DBR con los resultados que se deben obtener..	183
Figura 12. Taxonomía del modelo clásico de validez.....	189
Figura 13. Constructo representado por la evaluación	197
Figura 14. Ejemplo de constructo sub-representado por la evaluación.....	199
Figura 15. Constructo sobre-representado por la evaluación	200
Figura 16. Diagrama de flujo de selección de los artículos en la revisión sistemática de la literatura	204

Figura 17. Intentos iniciales de interacción entre las pinzas de laparoscopia y el LMC dentro de un entorno virtual 3D básico	208
Figura 18. Primera versión funcional del entorno virtual antes de la retroalimentación proporcionada por los cirujanos expertos en MIS que valoraron la fidelidad al criterio y la validez de contenido	208
Figura 19. Prototipo “ <i>good enough</i> ” del entorno virtual 3D, tarea 1.....	209
Figura 20. Retroalimentación inmediata	213
Figura 21. Historia del desempeño y curva de retroalimentación terminal.....	214
Figura 22. Versión inicial del prototipo sin dispositivos de soporte para las pinzas. En esta versión no se podía simular el efecto “ <i>fulcrum</i> ”	215
Figura 23. Versión final del simulador una vez se agregaron los dispositivos de <i>hardware</i> sin componentes electrónicos: la base y los dispositivos de soporte para las pinzas y para el LMC.....	216
Figura 24. Diagrama del artefacto	217
Figura 25. Correlación entre las fases del DBR y los resultados obtenidos	230

Abreviaturas y glosario

Abreviaturas

COTS: Commercial off-the-shelf. *Oxford Dictionary*. Oxford University Press.
<http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/ingles/COTS>

DBR: Design-Based Research.

LMC: Leap Motion Controller™.

MIS: Minimally Invasive Surgery.

MIST-VR: Minimally Invasive Surgery Training - Virtual Reality.

SIMISGEST-VR: Simulator in Minimally Invasive Surgery mediated by Gestures- Virtual Reality.

Glosario

Abducción (*“Abduction”*). El método abductivo es un proceso conjetural de creación de hipótesis explicativas de un fenómeno. La abducción es creativa y tiende a estar dirigida por más de un método científico. Se usa para expandir el pensamiento del diseñador al introducir nuevas ideas tentativas y relativas a un contexto (Pierce, 1965; Manson, 2006; Vaishnavi et al., 2009; Aguayo, 2011). En la lógica de la abducción, las conjeturas o las hipótesis explicativas nutren de ideas al investigador a partir de la base de conocimiento teórico del área. Expresado de otra manera, la abducción es una clase de razonamiento que

introduce una nueva idea, siendo esta idea tentativa y relativa a un contexto dado (McCarthy, 1980). Permite crear nuevo conocimiento (Manson, 2006; Vaishnavi et al., 2009).

Aprendizaje (*“Learning”*). El aprendizaje en general se refiere a la acción de obtener cualquier conocimiento, pero aquí alude a la adquisición de una destreza para una tarea. El aprendizaje puede ser difícil de medir puesto que su medición se restringe a la medición del desempeño (Mackay et al., 2002).

Atención (*“Attention”*). El concepto de atención se refiere a la habilidad para enfocar la mente o para concentrarse mentalmente. El ser humano tiene una capacidad limitada de atención lo que significa que sólo puede atender a una cantidad finita de información o de estímulos al mismo tiempo y esto tiene implicaciones importantes con respecto a la carga cognitiva a la cual es sometido el cirujano durante una intervención mediante MIS (Gallagher, Ritter, Champion, et al., 2005).

Circunscripción (*“Circumscription”*). La circunscripción es un método de la lógica formal que asume que cada fragmento de conocimiento es válido solo en ciertas circunstancias y se obtiene mediante la detección y el análisis de las contradicciones cuando las cosas no funcionan de acuerdo con la teoría, es decir, cuando se encuentran contradicciones en el razonamiento deductivo. Se usa para expandir el pensamiento del diseñador. El diccionario de la RAE describe circunscribir como “Reducir a ciertos límites o términos algo” (<https://dle.rae.es/circunscribir>).

Competencia (*“Competence”*). El “Oxford Advanced Learner’s Dictionary”, Sixth edition, define “competence” como “the ability to do something well” y “proficient” como “able to do something well because of training and practice”. Por su parte el diccionario de la RAE

define competencia como “pericia, aptitud o idoneidad para hacer algo o intervenir en un asunto determinado” (<https://dle.rae.es/competencia>).

Según estas definiciones, el término competencia se refiere a la capacidad para manejar todos los aspectos de un determinado tema. “*Proficiency*” se aplica a la adquisición de una habilidad particular y por tanto debe utilizarse cuando se habla de entrenamiento de habilidades. La proficiencia y el ser proficiente se refieren a una mejoría en la adquisición de un arte, una ciencia o de un conocimiento (Satava, Cuschieri, et al., 2003; Satava, Gallagher, et al., 2003). La habilidad es el estado o condición de ser capaz o la capacidad para hacer algo. Alguien llega a realizar una tarea con sus habilidades. Cada actividad requiere un conjunto de habilidades. Cuando se determinan criterios para definir la “proficiencia”, estos deben obtenerse a partir de una muestra representativa de la población proficiente y no de los expertos con mejor desempeño.

Ser competente en cirugía implica una combinación de conocimiento, habilidades técnicas, toma de decisiones, habilidades comunicativas y liderazgo (Moorthy et al., 2005; Moorthy et al., 2003). Lippert y Farmer consideran que el desempeño quirúrgico implica tres tipos de destrezas: psicomotoras/técnicas, cognitivas/clínicas y afectivas/relacionales - social. Se considera que un procedimiento quirúrgico en un 75% es producto de la toma de decisiones y un 25% producto de la destreza quirúrgica (Spencer, 1979; Aucar et al., 2005).

Confiabilidad (“Reliability”). “Reliability refers to the reproducibility or consistency of scores from one assessment to another. Reliability is a necessary, but not sufficient, component of validity” [La confiabilidad se refiere a la reproducibilidad o consistencia de las puntuaciones entre una evaluación y otra. La confiabilidad es un componente necesario, más no suficiente de la validez] (Cook & Beckman, 2006, p. 166e12). Generalmente se evalúa en tres dominios: confiabilidad inter-evaluador, confiabilidad test-retest y consistencia interna (Fried & Feldman, 2008).

Constructo (“*Construct*”). “Nearly all assessments in the social sciences, including medical education, deal with constructs – intangible collections of abstract concepts and principles which are inferred from behavior and explained by educational or psychological theory” [Casi todas las evaluaciones en las ciencias sociales, incluyendo la educación médica, tienen que ver con constructos -colecciones intangibles de conceptos y principios abstractos los cuales se infieren a partir de un comportamiento y se explican por medio de una teoría educativa o psicológica] (Messick, 1995b, p, 741). Un constructo es una entidad teórica sobre la naturaleza del comportamiento humano, algo que creemos que existe y que puede ser descrito pero que no es posible medir de manera directa y por tanto una colección intangible de conceptos y principios abstractos (Downing, 2003). No es observable de manera directa pero se puede inferir por su efecto observable en el comportamiento humano. En el caso de esta tesis doctoral, con fines de validación, el constructo general se refiere a las destrezas psicomotoras en cirugía y el constructo específico son las destrezas psicomotoras básicas en MIS.

En el DBR, un constructo (vocabulario o símbolos) es uno de los productos o artefactos productos del DBR.

Coordinación ojo-mano (“*Eye-hand coordination*”). La coordinación ojo-mano o mano-ojo es el control coordinado de los movimientos de los ojos con los de las manos y el proceso de entrada (“*input*”) para guiar los movimientos de alcance y agarre con el uso de la propiocepción de las manos para guiar los ojos (2015, September 23). In *Wikipedia*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Eye%E2%80%93hand_coordination

Criterio (“*Criterion*”). El Cambridge Dictionary define “*criterion*” como “*a standard by which you judge, decide about, or deal with something*”. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/criterion> (un estándar por medio del cual se juzga, se decide sobre algo o se opera con algo).

Curva de aprendizaje. La curva de aprendizaje describe el fenómeno mediante el cual el desempeño para la realización de una tarea o maniobra quirúrgica mejora con la experiencia, es decir mediante la repetición estandarizada. La mejoría es rápida en las etapas iniciales, y se estabiliza a través del tiempo. El término curva de aprendizaje ("*learning curve*") describe este fenómeno. Al final, la curva de aprendizaje es la representación gráfica de la relación entre la experiencia mediante un procedimiento y una variable de resultado como el tiempo operatorio o la tasa de complicaciones. El término fue usado por primera vez en el área de la salud en los años 1970 y tomó más prominencia con la aparición de la MIS (Schijven & Jakimowicz, 2004).

Deducción ("*Deduction*"). La deducción se define como el proceso que permite derivar una conclusión por medio del razonamiento y según la lógica aristotélica es una inferencia en la cual la conclusión sobre los hechos particulares se deriva de premisas generales o universales. Mientras que la deducción deriva de unos principios anteriores, la inducción infiere. En el DBR, el proceso deductivo parte de los modelos hacia los artefactos, mientras que la inducción parte de los artefactos hacia los modelos (Vaishnavi et al., 2009).

Destreza ("*Skill*"). La destreza es el resultado del desarrollo y la aplicación de una combinación específica de habilidades en una determinada tarea o arte (Satava, Gallagher, et al., 2003; Satava, Cuschieri, et al., 2003). La proficiencia con la cual se realiza una tarea es una medida del nivel de destreza. La velocidad, la exactitud, la economía en el movimiento y la adaptabilidad son los mayores determinantes de una destreza motora (Kopta, 1971). El término "*skill generalization*" se refiere a la situación en la cual el aprendiz aprende las destrezas básicas fundamentales para completar una maniobra o un procedimiento quirúrgico. Por otra parte, el término "*skill transfer*" se refiere a una modalidad de entrenamiento que emula la tarea que se debe realizar *in vivo* (Gallagher, Ritter, Champion, et al., 2005).

Desempeño (*“Performance”*). Implica la eficiencia final con la cual se completa una actividad compleja (Barnes, 1987). Es posible que una persona tenga un desempeño por debajo de su nivel de aprendizaje, pero no es posible obtener un desempeño por encima de esa línea (Mackay et al., 2002).

Diatermia (*“Diathermy”*). Es una técnica quirúrgica que implica la aplicación de calor sobre una parte del cuerpo por medio de corriente eléctrica de alta frecuencia para estimular la circulación, aliviar el dolor, destruir tejido dañado o producir coagulación en los vasos sanguíneos sangrantes. *Oxford Dictionary*. Oxford University Press. http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/ingles_americano/diathermy

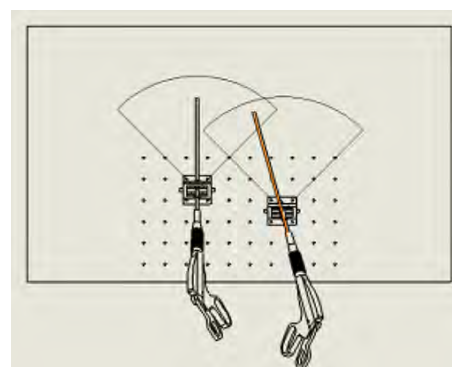
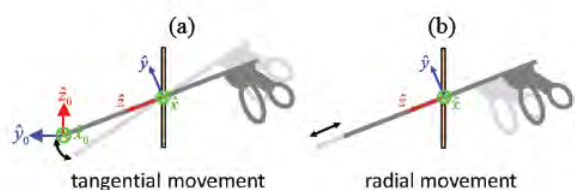
Entrenamiento basado en la simulación (*“Simulation-Based Training -SBT-“*), *Educación mejorada por la tecnología* (*“Technology-enhanced education”*), simulación mejorada por la tecnología (*“Technology-enhanced simulation”*) entornos de aprendizaje mejorados por tecnología (*“Technology-enhanced learning environments -TELEs”*).

Se define *“technology-enhanced simulation”* como un dispositivo o herramienta educativa con el cual el aprendiz interactúa de manera física para imitar un aspecto del cuidado clínico con el propósito de enseñar o evaluar (Cook et al., 2011; Cook et al., 2013; Cook et al., 2014). En el campo del DBR aplicado a la educación, el concepto de *“technology-enhanced learning environments”* (TELEs) es un equivalente y se define como sistemas instruccionales y de aprendizaje basados en la tecnología por medio del cual los estudiantes adquieren habilidades o conocimiento, generalmente con la ayuda de profesores, facilitadores, herramientas para el soporte del aprendizaje y recursos tecnológicos (Wang & Hannafin, 2005). El DBR aplicado a estas tecnologías educativas es un conjunto de abordajes cuyo propósito es producir nuevas teorías, *artefactos* o prácticas que tendrán impacto sobre la enseñanza y el aprendizaje en entornos reales (Barab & Squire, 2004; Herrington et al., 2007).

Los principios del entrenamiento basado en la simulación son: debe estar basado en la proficiencia y la práctica debe ser distribuida y deliberada (Bjerrum et al., 2018).

Experto. El término experto en cirugía se refiere a un especialista con amplia experiencia en la realización del procedimiento en un paciente. En contraste, el término novato se refiere a una persona sin ninguna experiencia en un procedimiento. No existen estándares claros que permitan la clasificación. Si bien algunos estudios (Gettman et al., 2008; Shah & Darzi, 2002) utilizan el número de procedimientos realizados para diferenciar a los expertos de los novatos, la realización de un gran número de procedimientos no implica automáticamente calidad en el desempeño.

Fulcrum - efecto (*"Fulcrum effect"*). Este fenómeno es causado por la presencia de un punto pivote que en el caso de la cirugía mínimamente invasiva se encuentra situado en el sitio de la incisión y de la inserción del trocar. Ocurre un movimiento paradójico de tal forma que si el mango del instrumento se dirige hacia arriba, su extremo se dirigirá hacia abajo y viceversa, Y si el mango se dirige hacia la derecha el extremo de la pinza lo hará hacia la izquierda y viceversa. Este efecto, si no se comprende y domina, puede tener influencia negativa sobre el desempeño del cirujano (Gallagher, McClure, McGuigan, Ritchie, & Sheehy, 1998) pero con entrenamiento, los cirujanos pueden automatizar este efecto (Crothers et al., 1999; Munz et al., 2004; Nisky et al., 2012).



El efecto *fulcrum* (Nisky et al., 2012).

Habilidad, capacidad, aptitud (*"Ability"*) (*"Proficiency"*) (*"Ability"*). Es el estado o condición de ser capaz o la capacidad para hacer algo (Satava, Cuschieri, et al., 2003). Una persona llega a realizar una tarea con sus habilidades. Cada actividad requiere un conjunto de habilidades. Son ejemplos de habilidades en MIS la reacción rápida, la precisión, el control, la destrezas manual y la coordinación de ambas manos (Kopta, 1971).

Hawthorne - efecto (*"Hawthorne effect"*). El efecto *"Hawthorne"* ocurre cuando la opinión puede ser influida por la atención que se presta al respondiente durante su desempeño con el simulador, lo cual puede contribuir a que ocurran con mayor probabilidad respuestas o puntajes favorables; este efecto se puede evitar prestando igual atención a cada uno de los entrevistados (Schijven & Jakimowicz, 2002; Fishman et al., 2004; Hoadley, 2004; Kelly, 2004; Wang & Hannafin, 2005; Ayodeji et al., 2007).

Heurística (*"Heuristic"*). Técnica de la indagación y del descubrimiento. En algunas ciencias, es la manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no rigurosos, como por tanteo o reglas empíricas <https://dle.rae.es/heurístico>. (Hevner et al., 2004; Hevner & Chatterjee, 2010).

Práctica. Práctica a intervalos (*"interval practice"*) y práctica masiva (*"massed practice"*). *Distribución de la práctica:* este término se refiere a la agenda de práctica del aprendiz. El término "práctica masiva" se refiere a un bloque continuo de ejercicios y el término "práctica distribuida o a intervalos" se refiere a un régimen de entrenamiento en el cual los períodos de práctica están espaciados por períodos de descanso. Tanto la práctica en sesiones prolongadas e intensas (*"massed practice"*) o las de corta duración y múltiples (*"interval practice"*) han demostrado que producen mejoría en el desempeño de los aprendices. Sin embargo, la práctica a intervalos o distribuida, produce resultados significativamente mejores a largo plazo. La explicación más plausible es que el proceso de consolidación cognitiva de las destrezas es mejor luego de una práctica a intervalos (Mackay et al., 2002; Kopta, 1971; Kim et al., 2013).

Práctica deliberada. La práctica deliberada ocurre cuando una persona se enfoca en una tarea específica con el propósito de mejorar el desempeño; implica práctica repetida con acompañamiento y retroalimentación inmediata del desempeño. En cirugía, el modelo tradicional (Halsted) rara vez brinda oportunidades para la práctica deliberada, mientras que los modelos de aprendizaje basados en la simulación la favorecen y facilitan (Halsted, 1904; Ericsson et al., 1993; Reznick & MacRae, 2006; Ericsson, 2008; Crochet et al., 2011).

Procedimiento (“Procedure”). Es una serie de pasos que se deben realizar para lograr un fin o una forma específica de realizar o lograr algo (Satava, Cuschieri, et al., 2003; Satava, Cuschieri, et al., 2003).

Puntaje (“Score”). “The term score is used generically in its broadest sense to mean any coding or summarization of observed consistencies or performance regularities on a test, questionnaire, observation procedure, or other assessment devices such as work samples, portfolios, and realistic problem simulations” [El término puntaje se usa de manera genérica para significar cualquier codificación o resumen de las frecuencias o regularidades con respecto al desempeño durante una prueba, un cuestionario, durante la observación de un procedimiento o de otros dispositivos para evaluación tales como los ejemplos de trabajo, portafolios o simulaciones de problemas reales] (Messick, 1995b, p, 741).

Pigmalión, efecto (“Pygmalion effect”). El efecto “Pygmalion” ocurre cuando el entusiasmo que muestran los desarrolladores o la novedad del dispositivo afecta la opinión de los entrevistados. El grupo referente está más predispuesto a este efecto (Schijven & Jakimowicz, 2002; Ayodeji et al., 2007).

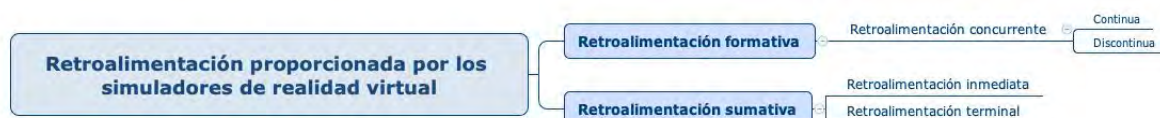
Realidad Virtual –RV– (“Virtual reality -VR-“). La *realidad virtual* se define como un entorno artificial que se experimenta a través de estímulos sensoriales (visuales, sonoros o táctiles) proporcionados por una computadora y en el cual las acciones que uno realiza

determina lo que ocurrirá en el entorno (Wignall et al., 2008). Los dispositivos de realidad virtual, por otra parte, son una tecnología que usa monitores de inmersión que se usan en la cabeza. Algunos simuladores médicos utilizan esta tecnología (Pai et al., 2018).

Retroalimentación (“Feedback”). La retroalimentación se puede definir como la información sobre el desempeño que proporciona un instructor, un par o una computadora, ya sea durante o luego de una actividad de simulación y que tiene como propósito modificar el pensamiento o comportamiento con el propósito de mejorar el aprendizaje (Hatala et al., 2014; Cook et al., 2013). La retroalimentación proporciona al aprendiz información sobre su desempeño con el propósito de mejorarlo. Se ha descrito el feedback como el componente más importante y más frecuentemente citado del diseño. La simulación es un entorno óptimo para proporcionar retroalimentación cuando el aprendiz practica los movimientos claves de una destreza motriz sin riesgo para el paciente y de una manera estructurada.

En la retroalimentación efectiva, la información sobre el desempeño previo se usa para promover un desempeño (development) positivo y deseable (Archer, 2010). Los simuladores de realidad virtual pueden proporcionar retroalimentación constructiva y objetiva que puede adquirir dos formas: formativa y sumativa. La retroalimentación *formativa* se proporciona de manera concurrente, instantánea o proximal (al realizar la tarea y cometer un error), la cual puede ser continua o discontinua. La retroalimentación formativa se proporciona mediante indicadores de interacción ya sean visuales (cambio de color) o auditivos. La retroalimentación *sumativa* puede ser inmediata, al final de cada tarea, o adquirir la forma de un puntaje final de desempeño al terminar determinado número de repeticiones de un ejercicio –retroalimentación terminal– (Lamata et al., 2006; Archer, 2010; Hatala et al., 2014; Tsuda et al., 2009).

Taxonomía de la retroalimentación en simulación en MIS.



Tarea (“Task”). Es un trabajo específico que debe realizar una persona (Satava, Gallagher, et al., 2003; Satava, Cuschieri, et al., 2003).

Validez y validación (“Validity”, “Validation”). Los estándares 2014 definen validez como: *“Validity refers to the degree to which evidence and theory support the interpretations of test scores for proposed uses of tests. Validity is, therefore, the most fundamental consideration in developing tests and evaluating tests”* y definen validación como *“The process of validation involves accumulating relevant evidence to provide a sound scientific basis for the proposed score interpretations. It is the interpretations of test scores for proposed uses that are evaluated, not the test itself”* [Validez se refiere al grado en el cual la evidencia y la teoría apoyan las interpretaciones de los puntajes de las pruebas para los usos propuestos para ellas. El proceso de validación implica acumular evidencia relevante para proporcionar una base científica sólida para las interpretaciones de los puntajes propuestos. Son las interpretaciones de los puntajes de las pruebas para los usos propuestos las que se evalúan, no la prueba en sí.] (American Educational Research Association et al., 2014, p, 11).

“Validity is an overall evaluative judgment of the degree to which empirical evidence and theoretical rationales support the adequacy and appropriateness of interpretations and actions on the basis of test scores or other modes of assessment. Validity is not a property of the test or assessment as such, but rather of the meaning of the test scores” [La validez es un juicio evaluativo general del grado hasta el cual la evidencia empírica y los fundamentos teóricos apoyan la idoneidad y la pertinencia de las interpretaciones y de las acciones con base en los puntajes de la prueba u otros modos de evaluación. La

validez no es una propiedad de la prueba o de la evaluación, sino más bien del significado de los puntajes de las pruebas] (Messick, 1995b, p, 741). “Validation refers to the process of collecting validity evidence to evaluate the appropriateness of the interpretations, uses, and decisions based on assessment results” [La validación se refiere al proceso de recolectar evidencia de validez para evaluar lo apropiado de las interpretaciones, usos y decisiones basadas en los resultados de la evaluación] (Cook et al., 2015) (Cook & Hatala, 2016).

Resumen

La aparición de la cirugía mínimamente invasiva (Minimally Invasive Surgery -MIS-) a mediados de la década de los 80 ocasionó que se triplicaran las lesiones de las vías biliares porque los cirujanos no eran conscientes de la importancia de un entrenamiento previo que permitiera desarrollar las nuevas destrezas psicomotoras requeridas. En la MIS, se pierden el eje directo ojo-mano, la sensación de profundidad y la binocularidad, se disminuye la percepción táctil, se produce un aumento del temblor en manos y brazos, se reduce el campo visual, se aumenta la carga cognitiva, entre muchos otros fenómenos. Las nuevas destrezas necesarias para superar estas dificultades no pueden ser aprendidas en el ser humano *in vivo* por motivos éticos, y aunque hay modelos de simulación como las cajas y los procesos en animales, estos requieren la participación de tutores altamente entrenados, un personal costoso y escaso. Es por esto que los modelos de simuladores de realidad virtual se han convertido en una alternativa de solución y por esto, muchos estudios de validez y revisiones sistemáticas de la literatura han demostrado que la simulación, mediante realidad virtual, es una herramienta efectiva para adquirir destrezas psicomotoras en MIS. Sin embargo, el alto costo de los simuladores de realidad virtual y de realidad virtual aumentada, dificulta el acceso a esta tecnología. El desarrollo de soluciones portátiles y de bajo costo son una posible alternativa porque permite potencialmente adquirir dichas destrezas en cualquier momento y lugar (“ubiquitous learning”). Las nuevas tecnologías de dispositivos “Commercial off-the-shelf” -COTS- mediados por gestos que detectan los movimientos de las manos y de instrumentos físicos abren un campo muy interesante de exploración sobre el desarrollo y validación de nuevos modelos de simuladores de realidad virtual.

La presente tesis se ha organizado en tres fases del proceso de investigación, cada una de ellas según el paradigma de investigación llamado Investigación Basada en el Diseño (“Design-Based Research” -DBR-). La primera fase consistió en revisar sistemáticamente la literatura que permitiera identificar los dispositivos COTS mediados por gestos disponibles en el mercado y cuál era su uso en cirugía y especialmente en simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS. Además, se revisó la literatura sobre la simulación para el aprendizaje de destrezas motoras en MIS con el propósito de conocer las teorías descriptivas (kernel) y prescriptivas sobre el aprendizaje de destrezas motoras, conocer los principios de diseño de hardware y software en simulación en MIS, los tipos de retroalimentación, la métrica y las tareas. La segunda fase de la investigación consistió en desarrollar un prototipo funcional de un simulador en un entorno 3D mediado por gestos utilizando el Leap Motion Controller™ (Leap Motion Inc., San Francisco, CA, USA) (LMC). El proceso iterativo de desarrollo se basó en pruebas de ensayo y error de los prototipos y en la retroalimentación proporcionada por los expertos en MIS durante el estudio de validez de contenido. En la tercera fase, se obtuvo la mayor cantidad de fuentes de validez (de contenido, de consistencia interna, de relación con otras variables y de consecuencias de la prueba –incluyendo el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas–) para las tareas del simulador según el marco conceptual de validez planteado por Messick.

Los resultados de la presente tesis doctoral permitieron establecer el estado del arte sobre el uso de COTS en cirugía y en especial identificar el LMC como una opción de bajo costo para ser utilizada en el nuevo simulador. En segundo lugar, se desarrolló un prototipo funcional que llamamos “*Simulator in MIS mediated by Gestures of Virtual Reality*” (SIMISGEST-VR). Finalmente se obtuvo evidencia de validez a partir de múltiples fuentes para la métrica y los puntajes de las tareas, para la confiabilidad intra-rater en el tiempo y la consistencia interna, evidencia alta para las consecuencias de la prueba y confirmación parcial con respecto a las relaciones con otras variables.

En conclusión, los resultados de las pruebas para obtener evidencia para fuentes de validez apoyaron la validez de los puntajes y de la métrica utilizados para demostrar el aprendizaje de las

destrezas psicomotoras básicas en MIS mediante un nuevo simulador portátil y de bajo costo que utiliza tecnología de interacción hombre-máquina mediada por gestos.

Palabras clave: cirugía mínimamente invasiva; interfaz humano-computadora; salas de cirugía; educación médica; cirugía asistida por computadora; entrenamiento con simulación; Leap Motion Controller

Abstract

The appearance of minimally invasive surgery (Minimally Invasive Surgery -MIS-) in the mid-1980s caused bile duct injuries to triple, as a result of surgeons not being aware of the importance of prior training that would allow them to develop the new psychomotor skills required. In MIS, the direct eye-hand axis, the sensation of depth and binocularity are lost, tactile perception decreases, there is an increase in the hands and arms tremor, the visual field is reduced, the cognitive load increases, among many other phenomena. The new skills necessary to overcome these difficulties cannot be learned in the human being in vivo for ethical reasons, and although there are simulation models such as boxes and animal models, these require the participation of highly trained tutors, a costly human resource and scarce. This is why virtual reality simulator models, have become an alternative solution and that is how multiple validity studies and systematic reviews of the literature have shown that virtual reality simulation is an effective tool for learning skills. psychomotor in MIS. However, the high cost of virtual reality and augmented virtual reality simulators makes universal access to this technology difficult. The development of portable and low-cost solutions is a possible alternative by potentially allowing the learning of these skills at any time and at any place (“ubiquitous learning”). The new technologies of “Commercial off-the-shelf” -COTS- devices mediated by gestures that detect the movements of hands and physical instruments open a very interesting field of exploration on the development and validation of new models of virtual reality simulators.

This thesis has been organized into three phases of the research process, each one of them sheltered under the research paradigm called Design-Based Research (DBR). The first phase consisted of conducting a systematic review of the literature to identify the COTS devices mediated by gestures available on the market and what was their use in surgery and specifically in the area of simulation for learning psychomotor skills in MIS. On the other hand, the literature on simulation for the learning of motor skills in MIS was reviewed with the purpose of knowing the descriptive theories (kernel) and prescriptive theories on the learning of motor skills, knowing the principles of hardware and software design in simulation in MIS, the types of feedback, metrics, and the tasks to be developed. The second phase of the research consisted of the development of a functional prototype of a simulator in a gesture-mediated 3D environment using the Leap Motion Controller™ (Leap Motion Inc., San Francisco, CA, USA) (LMC). The iterative development process was based on trial and error testing of the different prototypes and the feedback provided by the MIS experts during the content validity study. The third phase consisted of obtaining as many sources of validity (content, internal consistency, relationship with other variables and consequences of the test -including the learning of basic psychomotor skills-) for the simulator tasks using the framework conceptual validity raised by Messick.

The results of this doctoral thesis made it possible to first establish the state of the art on the use of COTS in surgery and especially to identify the LMC as a low-cost option to be used in the new simulator. Second, a functional prototype was developed that we called "Simulator in MIS mediated by Gestures of Virtual Reality" (SIMISGEST-VR). Finally, validity evidence was obtained from multiple sources for the metrics and scores of the tasks, including very strong for intra-rater reliability over time and internal consistency, high evidence for the consequences of the test, and partial confirmation with regarding the relationships with other variables.

In conclusion, the results of the evidence for validity sources supported the validity of the scores and of the metrics used to demonstrate the learning of basic psychomotor skills in MIS using a new portable and low-cost simulator that uses human-interaction technology gesture-mediated machine.

Keywords: minimally invasive surgery; user-computer interface; operating room; education, medical; computer-assisted surgery; simulation training; Leap Motion Controller.

Introducción

Simulation is still not a major feature in surgical programs worldwide. There are many theories as to why this should be the case, but access to these simulators is an issue. Because of the high cost of commercial simulators, access is primarily through medical institutions in the form of dedicated simulator centers or doctors' offices. To date, personal ownership of professional built simulators by trainers is rare, with most resorting to homemade solutions to fill this training gap, if at all. Mixture of culture, incentive and access.

(Hennessey & Hewett, 2013)

In our travels, I had learned that the biggest technology shortfall was that the simulator was anchored to the table. An early, driving philosophy and strategic goal was to make the simulator more flexible and more mobile. I wanted to take the technology to the learner, not make the learner come to the technology.

(Levine et al., 2013)

Las reflexiones citadas de Hennessey & Hewett (2013) y de Levine et al. (2013) son un testimonio de dos necesidades en la simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS (*Minimally Invasive Surgery*) y de la preocupación por el costo y la portabilidad de los simuladores disponibles (Nguyen, Braga, Hoogenes, & Matsumoto, 2013; Li & George, 2017; Pai et al., 2018; Mansoor et al., 2019).

La aparición de la MIS hacia mediados de los años 1980 (Litynski, 1999) llevó a un incremento inusitado en el número de lesiones iatrogénicas de la vías biliares puesto que muchos cirujanos

en todo el mundo abandonaron el paradigma de la cirugía abierta sin haber entrenado previamente las nuevas destrezas necesarias para este nuevo tipo de procedimientos (Yamashita et al., 1994; Archer et al., 2001; Berci, 1998; Rogers et al., 2001; Hugh, 2002; MacFadyen et al., 1998; Wolfe et al., 2015). Fue así como la simulación en cirugía cobró gran importancia como herramienta de entrenamiento en MIS.

La presente tesis titulada “Uso de simulación con realidad virtual 3D mediada por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en cirugía mínimamente invasiva” tiene como propósito principal el desarrollo de un prototipo funcional de un simulador de realidad virtual mediado por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS y, a continuación, encontrar múltiples fuentes de evidencia de validación de las tareas y su métrica con el propósito de demostrar que la herramienta desarrollada es útil para el aprendizaje de las destrezas mencionadas. De lograrse estos objetivos, sería entonces posible llevar la tecnología al aprendiz y evitar que este deba buscar la tecnología en centros especializados (Levine et al., 2013).

Para lograr este propósito, se utilizó un enfoque interdisciplinar mediante el trabajo conjunto entre un cirujano pediátrico, un ingeniero de sistemas con experiencia en programación 3D, un diseñador industrial y varios expertos en psicología y educación. Respecto a la metodología, se adoptaron dos herramientas: el paradigma de investigación llamado “*Design-Based Research*” - DBR- (Hoadley, 2002; The Design-Based Research Collective, 2003; Barab & Squire, 2004; Kolmos, 2015; Kelly, 2015) con la metodología propuesta por Manson (2006; Hevner & Chatterjee, 2010) y el marco de referencia para demostrar evidencia de validez planteado por Messick (1995a; 1995b). Estas dos herramientas metodológicas serán descritas detalladamente en el marco teórico de la presente tesis.

La tesis está estructurada en cinco capítulos:

- *El capítulo 1* contextualiza la investigación, introduce el tema de la tesis y plantea la metodología de la investigación. Por otra parte, se expone la evidencia científica que le da

relevancia al tema de la tesis y se describe el contexto en el cual se desarrolló el trabajo de campo y se describen las preguntas y los objetivos de la investigación.

- *El capítulo 2* presenta la revisión de la literatura concerniente a la simulación y la cirugía mínimamente invasiva o “*Minimally Invasive Surgery*” (MIS), al MIST-VR y al LMC.
- *El capítulo 3* presenta los tres artículos del autor sobre el tema, publicados en revistas científicas indexadas Q1 y Q2.
- *El capítulo 4* corresponde a la discusión de los resultados obtenidos en las diferentes fases de la investigación.
- *El capítulo 5* presenta las conclusiones, hace evidente las limitaciones de la investigación y propone futuras líneas de desarrollo.

Finalmente, la presente tesis se trata de una tesis por compilación que se enmarca en algunas disciplinas profesionales (educación, medicina, ingeniería y diseño) y en ellas se trata de una tesis orientada a la práctica y no de una orientada hacia las teorías y los conceptos (Mauch & Park, 2003; Abdallah & Wegerif, 2014). La investigación estuvo encaminada hacia el diseño, desarrollo y validación de una herramienta de simulación.

Capítulo 1

Contextualización de la investigación

1.1 Justificación de la investigación

El uso de simuladores de realidad virtual para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS tiene impacto académico, ético, social, económico y de innovación tecnológica así:

- *Académico:* los simuladores basados en realidad virtual:
 - Favorecen y facilitan el aprendizaje mediante el error (Hennessey & Hewett, 2013; Cheung et al., 2014).
 - Favorecen la práctica consciente y el aprendizaje individualizado (Kneebone, 2003).
 - En los simuladores de realidad virtual, la métrica es más fácil de definir, de registrar y es inmediata. Además, no requiere un observador especializado que es un personal costoso. Por otra parte, eliminan las diferencias intra e interobservador en la evaluación (Vallas et al., 2015; McDougall et al., 2006).
 - La retroalimentación constructiva es inmediata (McDougall et al., 2006; Munz et al., 2004).
 - Permiten la transferencia de las destrezas aprendidas a las salas de cirugía (Aggarwal et al., 2007; Andreatta et al., 2006; Ahlberg et al., 2007; Seymour et al., 2002; Grantcharov et al., 2004; Dawe, Windsor, Broeders, et al., 2014; Dawe, Pena, et al., 2014).

- *Ético*: en la actualidad, no es sostenible desde el punto de vista ético el aprendizaje de destrezas en MIS sobre el paciente directamente. Incluso, muchos países han restringido el uso de cadáveres humanos y de animales vivos para las prácticas quirúrgicas (Barnes, 1987; Satava, 1993).
- *Social*: disminuyen los riesgos para el paciente durante las etapas iniciales de la curva de aprendizaje y favorecen el equilibrio social puesto que evitan que las prácticas de aprendizaje sean hechas en los pacientes menos favorecidos por el sistema (Hennessey & Hewett, 2013; Wanzel et al., 2002).
- *Económico*:
 - El uso de simuladores de realidad virtual permite la práctica repetida a muy bajos costos y hace posible prescindir de personal altamente especializado de alto costo y de difícil consecución (Hennessey & Hewett, 2013; Cheung et al., 2014).
 - Se ha demostrado por diversos autores que el aprendizaje no estructurado mediante la utilización de simuladores caseros de bajo costo es tan efectivo como la utilización de simuladores de alto costo (Uccelli et al., 2011; Chandrasekera et al., 2006; D. Xiao et al., 2014; Hruby et al., 2008; Hennessey & Hewett, 2013).
- *Innovación tecnológica*: Respecto a la innovación tecnológica, Schlebecker (Buck, 1991) describe cuatro elementos claves que se requieren antes de que ocurra un avance tecnológico:
 - *Acumulación de conocimiento*: hay suficiente evidencia que avala la utilidad de la simulación mediante realidad virtual para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS y que las destrezas aprendidas son transferidas al quirófano (Seymour et al., 2002; Gallagher, Richie, McClure, & McGuigan, 2001; Gallagher, Ritter, & Satava, 2003; Korndorffer, Dunne, et al., 2005; Aggarwal et al., 2007; Sturm et al., 2008; Seymour, 2008; Zendejas et al., 2013; Dawe et al., 2014; Hyltander et al., 2002; Youngblood et al., 2005).

- *Una necesidad evidente:* en una encuesta demográfica realizada con residentes de cirugía y con cirujanos sobre la experiencia con simuladores de realidad virtual, se encuentra que la tercera parte manifestó no haber tenido ninguna experiencia con simuladores y, entre los residentes de cirugía y ginecología entrevistados, solo el 15% había tenido experiencia con simuladores de realidad virtual y ninguna con simuladores híbridos (Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020) . Este hecho se explica por el alto costo de los simuladores de realidad virtual que los hace inaccesibles para los programas de formación quirúrgica en la gran mayoría de las universidades públicas de los países en vía de desarrollo. Así, pues, se necesita el desarrollo de alternativas de simuladores de realidad virtual de bajo costo. Varias revisiones sistemáticas han encontrado que las destrezas psicomotoras básicas pueden ser aprendidas en modelos de simulación de bajo costo (Zendejas et al., 2013; Li & George, 2017; Nguyen et al., 2013; Nagendran et al., 2014; Diesen et al., 2011). Sin embargo, los simuladores de bajo costo se caracterizan por ser *box trainers*, contruidos a partir de *cardboard boxes* (Blacker, 2005), *plastic crates* (Norris & Smith, 2013), *folding portable boxes* (Nakamura et al., 2012), cajas que requieren el uso del equipo de laparoscopia (Ricchiuti et al., 2005; Mughal, 1992), e incluso utilizando el iPad (Ruparel et al., 2014). No se encuentran simuladores de realidad virtual de bajo costo disponibles en el mercado. El único disponible, el LapSim essence™ (Surgical Science Sweden AB, Göteborg, Sweden), es un simulador de realidad virtual portátil que permite el aprendizaje de habilidades básicas y que no incluye haptics, pero no está disponible para la venta, aunque se renta al menos por 6 meses por un precio aproximado de US\$5.500. A la fecha, no se encuentran publicaciones sobre la validez de los ejercicios que plantea este dispositivo. Ucelli demostró que pueden lograrse resultados comparables entre la práctica la práctica supervisada en el simulador y la práctica no estructurada sin asesoría y que por tanto la simulación para llevar a casa ("*take home simulation*") y es viable y económica (Ucelli et al., 2011). La gran ventaja de los simuladores de realidad virtual con respecto a las cajas convencionales es que los primeros proporcionan retroalimentación y métrica de

desempeño, lo cual favorece el desarrollo y autocontrol del aprendiz de su curva de aprendizaje.

- *La posibilidad económica:* las nuevas tecnologías de dispositivos COTS mediados por gestos de muy bajo costo abren una ventana para explorar soluciones económicas a los problemas ya planteados. El costo actual del LMC es de aproximadamente US\$130.
- *Aceptabilidad social y cultural:* las consideraciones anteriores y otras que serán expuestas en la revisión de la literatura, facilitan que las sociedades académicas y la sociedad en general, adopten soluciones con simuladores de realidad virtual, portátiles y de bajo costo que permitan el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS en cualquier momento y lugar (“*ubiquitous learning*”).

1.2 Preguntas y objetivos de la investigación

El objetivo principal de la investigación es el desarrollo y la validación de una herramienta de simulación (*Simulator in Minimally Invasive Surgery mediated by Gestures Virtual Reality - SIMISGEST-VR-*) en un entorno virtual 3D mediado por gestos utilizando el LMC para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS.

- *Objetivo 1:* Identificar mediante una revisión sistemática de la literatura el uso actual de los dispositivos denominados COTS para la detección de gestos manuales en cirugía y en especial en el área de la simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas, y realizar una revisión de literatura sobre el uso de simuladores para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS, con énfasis en los principios de diseño de hardware, software para simuladores en MIS, tipo de tareas, métrica y retroalimentación utilizadas.
- *Objetivo 2:* desarrollar una herramienta de simulación en un entorno virtual 3D mediado por gestos utilizando el LMC.

- *Objetivo 3:* buscar fuentes de evidencia de validez (de contenido, de consistencia interna de los ítems de la prueba, de relación con otras variables y de las consecuencias de la prueba) para las tareas simuladas en el SIMISGEST-VR.

Las preguntas de investigación a las cuales pretende dar respuesta esta tesis son:

- *Pregunta 1:* ¿Cuál es el estado actual del uso de los dispositivos COTS mediados por gestos en cirugía y de manera específica en simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS?
- *Pregunta 2:* ¿Es posible el desarrollo de un prototipo funcional “*good enough*” de un simulador de realidad virtual 3D mediado por gestos usando el LMC para el aprendizaje de destrezas psicomotoras mínimas en MIS?
- *Pregunta 3:* ¿Es posible demostrar, mediante la identificación de múltiples fuentes de evidencia, que el prototipo funcional del simulador presenta consistencia interna en los ítems de la prueba (confiabilidad *test-retest intra-rater* en el tiempo y consistencia interna), relación con otras variables (diferenciación en el desempeño de acuerdo con el nivel de formación, relación entre el desempeño y la experiencia con videojuegos) y consecuencias de la prueba (curva de aprendizaje)?

Durante el proceso para lograr los objetivos y responder las preguntas de investigación, se realizaron cuatro publicaciones: una carta al editor, dos publicaciones en una revista Q1 y otra en una revista Q2.

Publicación 1. Natural User Interfaces: Is It a Solution to Accomplish Ubiquitous Training in Minimally Invasive Surgery? (Alvarez-Lopez et al., 2016).

Esta carta al editor (anexo 4) fue una declaración de interés en trabajar en el campo de las interfaces de usuario, y especialmente de utilizar el LMC para crear un simulador portátil y de bajo costo que permitiera el ubiquitous learning en el campo de la cirugía mínimamente invasiva.

Publicación 2. “Use of commercial off-the-shelf devices for detection of manual gestures in surgery. A Systematic Literature Review” (Alvarez-Lopez et al., 2019).

Objetivo del artículo: realizar una revisión sistemática de la literatura que permitiera reconocer los usos de los COTS mediados por gestos en el campo de la cirugía y de manera específica en el campo de la simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS.

Preguntas del artículo

¿Cuáles son los dispositivos COTS mediados por gestos disponibles en el mercado?

¿Cuál es el uso actual de los COTS mediados por gestos en cirugía?

¿Existe evidencia en la literatura del uso de COTS mediados por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS?

Publicación 3. “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” (Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020).

Objetivos del artículo

Describir el desarrollo de un nuevo simulador mediados por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS.

Establecer su fidelidad al criterio y fuentes de evidencia para validez de contenido de los ítems de la prueba.

Preguntas del artículo

¿Es posible desarrollar un prototipo funcional de un simulador de realidad virtual 3D mediado por gestos utilizando el LMC para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS?

¿Es posible demostrar fuentes de evidencia para la validez de contenido de los ítems de la prueba del simulador?

Publicación 4. "Use of a Low-Cost Portable 3D Virtual Reality Simulator for Psychomotor Skill Training in Minimally Invasive Surgery: Task Metrics and Score Validity". (Alvarez-Lopez, Maina, Arango, et al., 2020)

Objetivo del artículo.

Obtener evidencia para validez de relación con otras variables (diferencias en el desempeño entre un grupo referente y los expertos "*known group construct validity*" y con la experiencia previa con videojuegos), consistencia interna, test-retest confiabilidad en el tiempo y consecuencias de las prueba para los puntajes de las tareas de un nuevo simulador para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en minimally MIS mediado por gestos, portátil y de bajo costo, denominado SIMISGEST-VR.

Preguntas del artículo.

¿Los puntajes de las pruebas pueden discriminar entre el grupo referente y el grupo de cirujanos expertos?

¿La experiencia con videojuegos se correlaciona con un mejor desempeño en las tareas del simulador, independientemente del nivel de formación y de experiencia?

¿Si un participante del grupo referente no tuvo exposición a simuladores durante el período de tiempo que transcurrió entre dos ejercicios completos en el simulador, variará su desempeño en un ejercicio realizado 6 meses después?

¿Los referentes pueden adquirir curva de aprendizaje que se demostrará por una mejoría en la métrica y en el puntaje final cuando se comparan el primer y el décimo ejercicio en cada una de las pruebas (tests)?

Las Tablas 1 y 2 muestran cómo los objetivos y las preguntas específicas de cada artículo permitieron responder las preguntas generales de la tesis.

Tabla 1. Correspondencia entre los objetivos específicos y los objetivos generales

Publicación	Objetivo específico	Objetivo general
Use of commercial off-the-shelf devices for detection of manual gestures in surgery. A Systematic Literature Review (Alvarez-Lopez et al., 2019)	Realizar una revisión sistemática de la literatura que permitiera reconocer los usos de los COTS mediados por gestos en el campo de la cirugía y de manera específica en el campo de la simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS.	Objetivo 1
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 (Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020)	<p>Describir el desarrollo de un nuevo simulador mediados por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS.</p> <p>Establecer su fidelidad al criterio y fuentes de evidencia para validez de contenido de los ítems de la prueba.</p>	<p>Objetivo 2</p> <p>Objetivo 3</p>
Use of a Low-Cost Portable 3D Virtual Reality Simulator for Psychomotor Skill Training in Minimally Invasive Surgery: Task Metrics and Score Validity	Obtener evidencia para validez de relación con otras variables (“known group construct validity” y experiencia previa con video juegos), consistencia interna, confiabilidad “test-retest” y consecuencias de la prueba para los puntajes de las tareas de un nuevo simulador para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en minimally invasive surgery mediado por gestos, portátil y de bajo costo, denominado SIMISGEST-VR.	Objetivo 3

Tabla 2. Correspondencia entre las preguntas específicas y las preguntas generales

Publicación	Preguntas específicas	Pregunta general
Use of commercial off-the-shelf devices for detection of manual gestures in surgery. A Systematic Literature Review (Alvarez-Lopez et al., 2019)	<p>¿Cuáles son los dispositivos COTS mediados por gestos disponibles en el mercado?</p> <p>¿Cuál es el uso actual de los COTS mediados por gestos en cirugía?</p> <p>¿Existe evidencia en la literatura del uso de COTS mediados por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS?</p>	Pregunta 1
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 (Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020)	<p>¿Es posible desarrollar un prototipo funcional de un simulador con un entorno virtual 3D mediado por gestos utilizando el LMC para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS?</p> <p>¿Es posible demostrar fuentes de evidencia para la validez de contenido de los ítems de la prueba del simulador?</p>	<p>Pregunta 2</p> <p>Pregunta 3</p>
Use of a Low-Cost Portable 3D Virtual Reality Simulator for Psychomotor Skill Training in Minimally Invasive Surgery: Task Metrics and Score Validity	<p>¿Los puntajes de las pruebas pueden discriminar entre el grupo referente y el grupo de cirujanos expertos?</p> <p>¿La experiencia con videojuegos se correlaciona con un mejor desempeño en las tareas del simulador, independientemente del nivel de formación y de experiencia?</p> <p>¿Si un participante del grupo referente no tuvo exposición a simuladores durante el tiempo que transcurrió entre dos ejercicios completos en el simulador, variará su desempeño en un ejercicio realizado 6 meses después?</p> <p>¿Los referentes pueden adquirir curva de aprendizaje que se demostrará por una mejoría en la métrica y en el puntaje final cuando se comparan el primer y el décimo ejercicio en cada una de las pruebas (tests)?</p>	Pregunta 3

1.3 El contexto y la estructura de la investigación

El estudio del contexto de la investigación ha sido un proceso intencional, progresivo e iterativo a partir de los resultados obtenidos durante el desarrollo de las tres publicaciones que se lograron a lo largo de la tesis doctoral. Las publicaciones marcaron la estructura de la investigación (Tabla 3). La metodología de investigación utilizada en cada fase se describe en el capítulo 3.

Tabla 3. Correspondencia entre las publicaciones y las fases de la investigación.

Revisión de literatura	<p>Fase 1*: Revisión sistemática de literatura sobre el uso de COTS en simulación.</p> <p>Revisión de literatura sobre el estado actual de la simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS y para identificar los principios de diseño de software y hardware de los simuladores en MIS, la métrica y la retroalimentación utilizadas.</p>	<p>Use of commercial off-the-shelf devices for detection of manual gestures in surgery. A Systematic Literature Review (Alvarez-Lopez et al., 2019).</p> <p>Desarrollo de la base de datos de conocimiento.</p>
Desarrollo del simulador y búsqueda de evidencia para validez de contenido.	Fase 2: Desarrollo y estudio de validez de contenido	<p>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 (Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020)</p>
Obtener múltiples fuentes de evidencia para la validación de las tareas del simulador SIMISGEST-VR.	Fase 3: Obtener evidencia para validez de relación con otras variables “(known group construct validity” y experiencia previa con video juegos), consistencia interna, confiabilidad “test-retest” y consecuencias de la prueba para los puntajes de las tareas del SIMISGEST-VR.	<p>Use of a Low-Cost Portable 3D Virtual Reality Simulator for Psychomotor Skill Training in Minimally Invasive Surgery: Task Metrics and Score Validity (Alvarez-Lopez, Maina, Arango, et al., 2020).</p>

* Durante la Fase 1 se identificaron las teorías descriptivas (teorías kernel) sobre los principios de diseño de hardware y software de simuladores en MIS, la simulación en educación en cirugía y el aprendizaje de destrezas psicomotoras y las teorías prescriptivas sobre el diseño de simuladores en MIS (Carstensen & Bernhard, 2019).

La selección del tema de investigación es producto de la experiencia personal como cirujano pediátrico y como docente de pregrado y postgrado en cirugía. En mis pasantías de entrenamiento en MIS tuve oportunidad de realizar prácticas en simuladores de realidad virtual donde luego de una pequeña sesión de instrucción inicial, ya no requería la presencia del tutor especializado puesto que el simulador me proporcionaba de manera automática retroalimentación concurrente, inmediata y terminal, y la métrica de cada tarea realizada. Esto me permitía monitorizar mi propia curva de aprendizaje. Sin embargo, estos simuladores de altísimo costo sólo podían utilizarse por tiempo limitado puesto que estaban restringidos a laboratorios especializados en simulación.

Cuando regresaba a mi espacio habitual, los cursos de entrenamiento en MIS eran muy limitados, costosos y con una duración promedio de 3 días con prácticas en modelos animales y en cajas físicas. Este modelo de entrenamiento requiere obligatoriamente la presencia de cirujanos expertos. Este personal es muy escaso, muy especializado y por tanto muy costoso. Al terminar estos cursos, la única opción para continuar el entrenamiento era recurrir a las cajas físicas, que si bien son de bajo costo y portátiles, no proporcionan retroalimentación ni métrica lo cual no permite monitorizar la curva de aprendizaje. La ausencia de retroalimentación permite que el aprendiz aprenda con errores pues estos nunca serán corregidos. En mi entorno académico, los recursos económicos de nuestras universidades no permiten adquirir simuladores de realidad virtual. Así, pues, contaba con suficiente motivación personal y académica para investigar la posibilidad de desarrollar y realizar el proceso de validación de un simulador de realidad virtual 3D utilizando un dispositivo de interacción mediado por gestos, portátil, de bajo costo y que facilitara el “*ubiquitous learning*”.

La revisión sistemática de la literatura sobre COTS mediados por gestos permitió la identificación del LMC como un dispositivo de bajo costo y sobre el cual había muy pocos reportes sobre su posible uso en el área de la simulación quirúrgica. La segunda fase implicó la conformación de un equipo interdisciplinario conformado por un cirujano pediátrico (Fernando Álvarez López), un ingeniero de sistemas con pericia en programación de entornos de realidad virtual 3D (Juan Pablo Toro Arias), una diseñadora industrial (Lorena Ceballos Tamayo) y expertos en educación en salud, psicología y educación (Francesc Saigí Rubió y Marcelo Fabián Maina). Mediante un proceso iterativo de ensayo y error y de abducción, se logró desarrollar un artefacto prototipo funcional “*good enough*” de un simulador al que se denominó SIMISGEST-VR; la segunda publicación se refiere a este proceso de desarrollo y a una encuesta Likert que evaluó la fidelidad al criterio del artefacto y la validez subjetiva de contenido. Finalmente, la tercera publicación se refiere a un estudio de validez prospectivo y observacional para realizar la validación del artefacto (SIMISGEST-VR) como herramienta para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS. La Tabla 4 sintetiza las fases de la investigación.

Tabla 4. Síntesis de las fases de la investigación

Fase	Escenario	Muestra	Publicación
Fase 1	Revisión sistemática de la literatura acerca del uso de COTS mediados por gestos en cirugía en simulación en MIS.	Artículos incluidos en la revisión: 86.	“Use of commercial off-the-shelf devices for detection of manual gestures in surgery. A Systematic Literature Review” (Alvarez-Lopez et al., 2019)
	Desarrollo de la base de datos de conocimiento.		
Fase 2	Desarrollo del instrumento de simulación	Equipo interdisciplinario: cirugía pediátrica, ingeniería de sistemas con experticia en programación de entornos de realidad virtual 3D, diseño industrial y expertos en educación en salud y psicología	“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” (Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020)
	Validación de contenido	30 participantes (21 cirujanos expertos en MIS, 8 residentes de cirugía pediátrica y un ingeniero biomédico) respondieron los cuestionarios acerca de la fidelidad al criterio del instrumento y de validez de contenido de los ítems de la prueba.	
Fase 3	Obtener evidencia para validez de relación con otras variables “(known group construct validity” y experiencia previa con videojuegos), consistencia interna, confiabilidad “test-retest” y consecuencias de la prueba para los puntajes de las tareas del SIMISGEST-VR.	En el estudio participaron 100 estudiantes de pregrado (grupo referente), 20 residentes y 28 expertos en MIS.	Use of a Low-Cost Portable 3D Virtual Reality Simulator for Psychomotor Skill Training in Minimally Invasive Surgery: Task Metrics and Score Validity (Alvarez-Lopez, Maina, Arango, et al., 2020)

Durante el desarrollo del proyecto de esta tesis, se tuvieron que superar múltiples obstáculos y retos como el reclutamiento de los participantes para los estudios de validez, la dificultad para la manipulación de gran cantidad de datos, restricciones de tiempo y de presupuesto entre otros. La Tabla 5 los describe y resume estos retos en cada una de las fases del proyecto.

Tabla 5. Retos superados en las fases del proyecto (Goff & Getenet, 2017)

Reto	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Reclutamiento de participantes		22 cirujanos expertos de seis nacionalidades, y 8 residentes de cirugía general y pediátrica de dos nacionalidades.	100 estudiantes de pregrado (grupo referente), 20 residentes y 28 expertos en MIS en 9 subespecialidades diferentes.
Manipulación de gran cantidad de datos	Se identificaron 3.180 títulos durante la revisión sistemática de la literatura para analizar en profundidad 86 artículos. Se creó una base de conocimiento en Mendeley que cuenta con 2.664 artículos en texto completo relacionados con el tema de la tesis.		148 participantes en el estudio, cada uno de ellos generó 165 variables para un total de 24.420 datos.
Objetividad		Evitar los efectos Hawthorne y Pigmalión.	
Creación de colaboración		Crear un equipo interdisciplinar: cirugía, ingeniería, diseño industrial, educación, psicología.	
Restricción de tiempo	Adaptarse a los tiempos del programa doctoral		
Restricciones con respecto a la metodología virtual	Compaginar la vida profesional como cirujano, la vida familiar y personal con las responsabilidades del doctorado.		
Restricciones de presupuesto	Presupuesto para pago de ingeniero desarrollador, diseñador industrial. Presupuesto para asistencia a eventos científicos. Presupuesto para publicaciones. Presupuesto para la asistencia anual a pasantía presencial de dos semanas en el Universitat Oberta de Catalunya (UOC).		

Capítulo 2

Revisión de la literatura

En este apartado, se exponen los conceptos clave de la tesis y la literatura de referencia utilizada para profundizar en la simulación como herramienta para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS (constructo general). En primer lugar, se revisa la simulación y la MIS. Se presenta un recuento histórico de la simulación con énfasis en MIS, los imperativos que impulsaron la aparición de la simulación, la clasificación de los simuladores para la didáctica de destrezas psicomotoras en MIS y finalmente se profundiza en las teorías que avalan dicha modalidad y en cómo se adquiere la curva de aprendizaje en MIS. A continuación, se presenta el simulador “*Minimally Invasive Surgery Training -Virtual Reality*” (MIST-VR), modelo a partir del cual se adoptaron las tareas que se utilizaron en el SIMISGEST-VR. Finalmente, se presenta el dispositivo empleado para realizar la mediación por gestos en el SIMISGEST-VR, el *Leap Motion Controller™* -LMC-.

2.1 La simulación y la Cirugía Mínimamente Invasiva (Minimally Invasive Surgery - MIS)

All improvements are illusory and temporary if knowledge, experience, and skills cannot be or are not transmitted to future generations of practitioners of the art and science of surgery.

Ambroise Paré (1510-1590)

2.1.1 Definiciones básicas

La *simulación* es una técnica, no una tecnología (Datta et al., 2012) y puede definirse así: *“Is a technique to replace or amplify real experiences with guided experiences, often immersive in nature, that evoke or replicate substantial aspects of the real world in a fully interactive fashion”*¹ (Gaba, 2004, p. i2). En la literatura quirúrgica es frecuente usar de igual manera los términos simulador y realidad virtual. Un *simulador* es un dispositivo que permite a su operador reproducir o representar bajo condiciones controladas fenómenos que ocurren en el mundo real (Krummel, 1998); los simuladores pueden ser modelos físicos o de realidad virtual. Por otra parte, la *realidad virtual* se define como un entorno artificial que se experimenta a través de estímulos sensoriales (visuales, sonoros o táctiles) proporcionados por una computadora y en el cual las acciones determinan lo que ocurrirá en el entorno (Wignall et al., 2008).

2.1.2 Breve historia de la simulación en Ciencias para la Salud

Se ha dicho que el juego de ajedrez es el simulador de guerra más antiguo (Bradley, 2006). En el siglo XIX, los prusianos y los alemanes desarrollaron juegos simuladores de guerra.

El primer vuelo propulsado por un motor ocurrió en el año 1903 y el primer simulador de vuelo mecánico, el biplano Antoinette, fue descrito en 1909. En 1929 Edwin Link construyó y patentó el

¹ Es una técnica para reemplazar o amplificar experiencias reales con experiencias guiadas, con frecuencia de naturaleza inmersiva, que evoca aspectos sustanciales del mundo real de una manera interactiva.

primer simulador de vuelo con componentes eléctricos (Rosen, 2008) (Singh et al., 2013) (Satava, 2001). En la industria aeronáutica, el uso de simuladores para el entrenamiento de los pilotos es un paradigma establecido mucho antes de que la cirugía comenzara su uso (Valverde, 1973).

Se ha dicho que en el año 2000 AC, los sacerdotes egipcios simulaban rinoplastias en los cadáveres que sometían a momificación (Karaliotas, 2011). En la India (año 600 AC), se usaban modelos hechos de hojas y barro para simular la reconstrucción nasal con colgajos tomados de la frente (Agha & Fowler, 2014; Agha & Fowler, 2015; Badash et al., 2016). El doctor Mondino de'Luzzi (1275—1326) empleó cadáveres para complementar su clases, lo que puede considerarse una forma primitiva de simulación. Los primeros simuladores en Medicina fueron descritos hacia 1700 por los doctores, padre e hijo, Grégoire, en París, en el área de la obstetricia, con el propósito de entrenar a las comadronas para atender los partos. Otros obstetras y cirujanos que describieron simuladores obstétricos fueron William Smellie (1697-1763), Sir Richard Manningham (1690-1759), en Inglaterra, y Richard A.F. Penrose (1827-1908) en los Estados Unidos (Buck, 1991).

Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), se desarrollaron nuevos materiales plásticos que permitieron el diseño de simuladores de tareas parciales, como brazos para el aprendizaje de destrezas en venopunción, modelos para el aprendizaje del cateterismo vesical, simuladores obstétricos, entre otros (Levine et al., 2013).

En 1960, Peter J. Safar (1924-2003) y Bjorn Lind, pioneros de la reanimación cardiopulmonar, se asociaron con un fabricante de juguetes llamado Asmund Laerdal, y crearon *Resusci-Anne*, el primer maniquí en simulación médica destinado a enseñar maniobras de reanimación (Cooper & Taqueti, 2004; Rosen, 2008; Singh et al., 2013). A principios de la década de los 60 del XX, se comenzó el uso de pacientes estandarizados por Howard S. Barrows (Wallace, 1997). El maniquí Sim One fue desarrollado en 1966 por Abrahamson y Denson (Abrahamson & Hoffman, 1974; Bradley, 2006) y producía latidos cardíacos, pulso, presión arterial; además respiraba, permitía abrir la boca, abría y cerraba los ojos, mostraba cambios en la pupila y reaccionaba a los medicamentos administrados. Este maniquí fue el primer simulador con signos vitales y

respuestas fisiológicas. A partir de este modelo, se crearon otros modelos como Harvey, un simulador pionero en el área de la cardiología (Gordon, 1974), y CASE (*Comprehensive Anesthesia Simulation Environment*) (Gaba & DeAnda, 1988; Sá-Couto et al., 2016) y el *Sleeper, BodySym*, ASR, entre muchos otros (Cooper & Taqueti, 2004).

2.1.3 Simulación en cirugía de invasión mínima (Minimally Invasive Surgery -MIS)

La primera apendicectomía laparoscópica fue realizada por Kurt Semm en 1983 (Semm, 1983). La primera colecistectomía laparoscópica la realizó Eric Mühe en Alemania en 1985 (Mühe, 1992), y la primera colecistectomía laparoscópica asistida por video se realizó en Lyon por Phillippe Mouret en 1987 (Mouret, 1996; Litynski, 1999). Luego de la introducción de la colecistectomía laparoscópica, se triplicaron las lesiones de las vías biliares como consecuencia de que los cirujanos asumieron que podían realizar una nueva forma de operar sin estar capacitados en las nuevas destrezas requeridas (The Southern Surgeons Club, 1991; Deziel et al., 1993; Yamashita et al., 1994; Moore & Bennett, 1995; Berci, 1998; MacFadyen et al., 1998; Olsen, 2000; Archer et al., 2001; Hugh, 2002). Este hecho impulsó el desarrollo de la simulación como herramienta para el aprendizaje de destrezas en MIS (Rogers et al., 2001).

En los años 90, cuatro factores promovieron el diseño de modelos avanzados de simulación: 1. El desarrollo del “*Visible Human Project*” (Ackerman, 1998; Ackerman, 1991; Kunkler, 2006), 2. La aparición de la cirugía mínimamente invasiva (Dumay & Jense, 1995; Ota et al., 1995), 3. El desarrollo de los sistemas hápticos (Batteau, Liu, Maintz, Bhasin, & Bowyer, 2004) y 4. Los avances en la ciencia de la computación (Rosen, 2008).

A finales de los años 90 del siglo XX, “*The Society of American Gastrointestinal Endoscopic Surgeons*” (SAGES) encargó a un comité desarrollar materiales educativos sobre los fundamentos básicos de la cirugía laparoscópica y fue así como, a partir del modelo del “*McGill Inanimate System for Training and Evaluation of Laparoscopic Skills*” (MISTELS) (Fried et al., 2004; Vassiliou et al., 2006), se creó el curso “*Fundamentals of Laparoscopic Surgery*” (FLS) (Peters et al., 2004; Soper & Fried, 2008; Vassiliou, Dunkin, et al., 2010), que se ha convertido en un referente de

modelo de formación en destrezas psicomotoras básicas en MIS utilizando cajas de simulación o “*video trainers*”.

El término “*virtual reality*” [realidad virtual] fue usado por primera vez por el escritor francés Antonin Artaud quién describió el teatro como la “*la réalite virtuelle*” (Munro, 2012). En los años 60 del siglo XX, el Dr. Ivan Sutherland formuló nuevamente el concepto, pero fue Jaron Lanier quién acuñó el término aplicado a las tecnologías de la información (Lanier & Biocca, 1992; Karaliotas, 2011; Gonzalez-Franco & Lanier, 2017; Meier et al., 2001). En 1956, Robert Mann desarrolló el primer sistema médico de realidad virtual con propósitos de rehabilitación (Lange et al., 2000). En 1987, se desarrolló el primer simulador de realidad virtual para cirugía ortopédica del miembro superior. Con este simulador, se describió el primer caso de “*surgical rehearsal*” o preparación o entrenamiento quirúrgico (Delp et al., 1990); posteriormente Delp desarrolló el primer simulador quirúrgico para uso militar basado en imágenes topográficas basadas en the “*The Visible Human*”, el “*Limb Trauma Simulator*” (Delp & Zajac, 1992). Satava y Lanier crearon el primer simulador virtual simplificado de la anatomía intra-abdominal para enseñar anatomía y la colecistectomía laparoscópica. En su artículo, prevé el futuro de la realidad virtual como herramienta en la educación quirúrgica de postgrado (Satava, 1993; Karaliotas, 2011; Lange et al., 2000; Ota et al., 1995; Satava, 2001a; Satava, 2001b; Satava & Ellis, 1994). En 1991, se describió el primer simulador para entrenamiento en endoscopia (Noar, 1991). En 1993, fue desarrollado el software KISMET (“*Kinematic Simulation, Monitoring and Off-Line Programming Environment for Telerobotics*”) que incluía aplicaciones de telecirugía (Kuehnappel & Neisius, 1993; Kühnappel et al., 1999; Maass et al., 2003). En 1995, se desarrolló el primer simulador en oftalmología (Sinclair et al., 1995) y el primero en ultrasonido. En 1996, se desarrolló un simulador de histeroscopia (Levy, 1996; Satava, 2001). No será sino hasta 1997, cuando se dio otro salto importante en la simulación con realidad virtual para la educación en MIS con la aparición del “*Minimally Invasive Surgery Training -Virtual Reality-*” (MIST-VR) (McCloy et al., 1997) (Sutton et al., 1997; Wilson et al., 1997) .

A partir del MIST-VR, se comenzaron a desarrollar simuladores en múltiples especialidades quirúrgicas como otorrinolaringología (Edmond et al., 1998), cirugía hepática (Marescaux et al.,

1998; Satava, 2001), endoscopia -GI Mentor- (Bar-Meir, 2006), cirugía endovascular -VIST- (Gallagher, Renkin, Buyl, Lambert, & Marco, 2006), cirugía robótica -Da Vinci- (Lendvay et al., 2008), urología -Uro Mentor- (Aydin, Raison, et al., 2016) entre muchos otros.

2.1.4 Imperativos para la simulación en cirugía

Los imperativos que han impulsado el desarrollo de la simulación como una herramienta para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en cirugía son éticos, económicos, legales, dados los cambios en los modelos educativos y de prestación de salud, y la aparición de la MIS.

2.1.4.1 *Cambios en los sistemas y modelos de prestación de salud, académicos y de evaluación de las destrezas clínicas y quirúrgicas*

- *Cambios en la calidad en el cuidado de la salud:* los pacientes tienen derecho a recibir la mejor atención posible, pero también se entiende que los médicos en formación deben tratar a los pacientes. Sin embargo, no es admisible poner en riesgo el bienestar de un paciente como resultado de la falta de experiencia del aprendiz. El aprendizaje basado en la simulación permite a los aprendices tener su primer encuentro con pacientes reales una vez hayan desarrollado altos niveles de proficiencia técnica y clínica en ambientes simulados y apoya el principio hipocrático de "*primum non nocere*" (Blumenthal, 1994; Ziv et al., 2003; Ziv et al., 2006; Kneebone et al., 2004).
- *Mejores estándares en educación en salud.* Pese a que la sociedad exige mejores estándares de formación para el personal del sector salud, y el sector académico desarrolla mejores herramientas para la valoración de las destrezas clínicas y quirúrgicas, cada vez es más difícil acceder a los sitios de práctica clínica, más aún en los tiempos de la pandemia que nos aqueja. Es por esto que la simulación brinda al aprendiz la oportunidad de practicar las habilidades clínicas y quirúrgicas a su propio ritmo, de repetir cuantas veces sea necesario una actividad hasta lograr niveles óptimos de proficiencia, de aprender patrones atípicos de presentación de las enfermedades y aprender acerca de enfermedades raras, en un ambiente de aprendizaje controlado y basado en competencias (Ziv et al., 2003). El quirófano tradicional

es un ambiente que escasamente favorece el aprendizaje y no permite estandarizar el aprendizaje de procedimientos específicos (Wanzel et al., 2002).

- *Mejores estándares para la evaluación de destrezas clínicas y quirúrgicas.* En el modelo tradicional en entrenamiento en cirugía, propuesto por Halsted (Halsted, 1904), la evaluación subjetiva de las habilidades por los docentes carece de confiabilidad y puede introducir sesgos (errores de distribución, de tendencia central y efecto halo) que no están relacionados con el desempeño técnico. Por otra parte, ocurren con frecuencia inconsistencias interpersonales en los puntajes de la evaluación entre los docentes (Sidhu et al., 2004). La simulación ha permitido el desarrollo de métodos estándares de evaluación como el OSCE –“*Objective Structured Clinical Examination*”– (Harden & Gleeson, 1979), el GOALS –“*Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills*”– (Vassiliou et al., 2005; Gumbs et al., 2007) el OSATS –“*Objective Structured Assessment of Technical Skills*”– (Martin et al., 1997; Goff et al., 2005). Estos últimos están dirigidos hacia la evaluación de destrezas quirúrgicas. Otros métodos de evaluación en el campo de las destrezas quirúrgicas son el MISTELS –“*Mc-Gill Inanimate System for Training and Evaluation of Laparoscopic Skills*”– (Vassiliou et al., 2006) y el ICSAD –“*Imperial College Surgical Assessment Device*”– (V. Datta et al., 2001). Los puntajes que evalúan el desempeño con base en criterios tienen mayor fidelidad interobservador y se consideran más válidos.
- *Cambio en el número de horas de práctica en los programas de formación de postgrado.* El modelo Calman en el Reino Unido, implementado en 1996, propuso un sistema de formación en postgrados médicos basado en competencias y con un período de entrenamiento más corto (Chikwe et al., 2004). El sistema previo se basaba en la experiencia ganada por el aprendiz sin límite en la duración de su formación (Elbadrawy et al., 2008). Por otra parte, la implementación de “*European Working Time Directive*” (Goodman, 2004) y la limitación a 80 horas por semana de trabajo en los programas de postgrado en Estados Unidos (Philibert et al., 2002; Carlin et al., 2007; Nasca et al., 2010), impactaron de manera adversa la adquisición de destrezas quirúrgicas pues produjo una reducción estimada entre el 33 y el 50% de la exposición a casos reales en el ámbito hospitalario (Lewis & Klingensmith, 2012; Klingensmith

& Lewis, 2013; Ghaderi et al., 2015). La implementación de laboratorios de simulación para el aprendizaje de destrezas quirúrgicas ha sido una solución a ese problema.

2.1.4.2 Imperativos éticos

- *El uso de animales o de cadáveres para la enseñanza en salud.* El imperativo ético incluye las restricciones para el uso de animales vivos y de cadáveres como modelos de simulación (Barnes, 1987; Satava, 1993). El uso de animales, además de las consideraciones éticas, tiene otras implicaciones para el aprendizaje de maniobras quirúrgicas: su costo, la anatomía de los animales puede tener grandes variaciones con respecto a la de los humanos, de modo que solo puede ser utilizado por una vez y requiere instalaciones especializadas (Karaliotas, 2011).
- *El movimiento proseguridad del paciente y el aprendizaje a partir del error.* El informe “*To Err Is Human*” mostró que en Estados Unidos ocurren al año más muertes por errores en la atención médica que por accidentes automovilísticos (Committee on Quality of Health Care in America, 2000) y además, es la tercera causa de muerte (Makary & Daniel, 2016). En el ámbito clínico el error con frecuencia se oculta, se niega, se atribuye a un sólo individuo y rara vez se evalúan sus consecuencias o se realizan acciones grupales que ayuden a prevenirlo. Por el contrario, en los escenarios de aprendizaje por simulación, el error es valorado, evaluado y manejado en equipo, lo cual promueve una cultura de ejercicio enfocado en la seguridad del paciente y en prevención del error. El aprendizaje a partir del error es un componente muy importante para la adquisición de la experticia, pero cuando se detecta un error durante el aprendizaje con pacientes reales, este debe ser intervenido y corregido de inmediato, mientras que en un entorno de aprendizaje simulado es posible permitir que el error continúe hasta las últimas consecuencias. En este último caso, el aprendiz podrá comprender las implicaciones del error y reflexionar sobre sus consecuencias y lo más importante, qué medidas se deben tomar para evitarlo (Ziv et al., 2003; Ziv et al., 2005; Ziv et al., 2006). El aprendizaje basado en la simulación reduce el número de errores en la práctica clínica y mejora la calidad en la seguridad del paciente (Aggarwal et al., 2010). En cirugía, el aprendizaje a partir del error es un componente básico durante el desarrollo y el aprendizaje de las destrezas psicomotoras (Satava, 2008).

- *Justicia social:* el principio bioético básico de la justicia distributiva propone que todos los ciudadanos deben compartir de manera igualitaria los riesgos implícitos en la innovación médica, la investigación y en la práctica por aprendices del sector de la salud, pero este principio no se cumple puesto que en la mayoría de los casos, los hospitales universitarios atienden a los sectores pobres de la población. La simulación ayuda a reducir el porcentaje de población indigente que es objeto de prácticas en salud por personal en formación (Wanzel et al., 2002).
- *Autonomía del paciente:* un principio básico de la bioética moderna es que el paciente tiene derecho a tomar decisiones sobre su cuidado y, de acuerdo con esto, el paciente, en el momento de firmar el consentimiento informado, puede solicitar no ser tratado por personal de salud en entrenamiento (Wanzel et al., 2002).
- *Consideraciones acerca de la calidad de vida de los residentes de cirugía.* Las nuevas generaciones de residentes de especialidades quirúrgicas tiene nuevas actitudes acerca del balance entre el trabajo y la calidad de vida (Vanderveen & Bold, 2008; Troppmann et al., 2009).

2.1.4.3 Imperativo económico

- Las presiones económicas del sistema para que los hospitales universitarios sean más productivos y eficaces reducen las oportunidades de los residentes para operar como primer cirujano (Karaliotas, 2011; Barnes, 1987; Bridges & Diamond, 1999; Champion & Gallagher, 2003; Wanzel et al., 2002; Babineau et al., 2004). Por otra parte, se ha demostrado que el uso de simuladores tiene un costo eficiente para las instituciones educativas (Kunkler, 2006).

2.1.4.4 Imperativo médico-legal

- El aumento de las presiones legales sobre el ejercicio médico requiere que el personal que labora en el área de las ciencias para la salud adquieran destrezas clínico quirúrgicas óptimas (Barnes, 1987; Karaliotas, 2011). El aprendizaje basado en la simulación es una estrategia que puede garantizar la formación óptima de este personal dadas las otras limitaciones ya expresadas.

2.1.4.5 Aparición de la cirugía mínimamente invasiva (MIS)

- Luego de la introducción de la colecistectomía laparoscópica, se triplicaron las lesiones de las vías biliares, como consecuencia de que los cirujanos asumieron que podían realizar una nueva forma de operar sin estar entrenados en las nuevas destrezas psicomotoras requeridas por la nueva tecnología (The Southern Surgeons Club, 1991; Deziel et al., 1993; Yamashita et al., 1994; Moore & Bennett, 1995; Berci, 1998; MacFadyen et al., 1998; Olsen, 2000; Archer et al., 2001; Hugh, 2002; Callery et al., 1996). Los métodos tradicionales de enseñanza de destrezas psicomotoras en cirugía basados en el planteamiento de William Stewart Halsted (1852-1922) "*see one, make one, teach one*" (Halsted, 1904; Barnes et al., 1989; Kotsis & Chung, 2013; Cameron, 1997) y el paradigma de "*learning by doing*" eran modelos oportunistas basados en las necesidades del paciente y no en las del aprendiz (Papanikolaou, 2013; Gallagher, Ritter, Champion, et al., 2005) lo que produce una gran variabilidad en las experiencias de aprendizaje. Por tanto, fue necesaria una transición hacia un modelo más objetivo, basado en competencias, en el que se requiere que el aprendiz sea más productivo ("*hands on*") en su enfoque del aprendizaje (Parsons et al., 2011), donde el planteamiento es "*see one, practice many, do one*"² (Datta et al., 2012). Con la aparición de la cirugía de invasión mínima, fueron más necesarias nuevas metodologías para adquirir destrezas psicomotoras en cirugía.
 - *Aumento en la complejidad de los procedimientos:* los avances en anestesiología y el advenimiento de nuevos dispositivos y técnicas quirúrgicas han permitido realizar procedimientos de invasión mínima cada vez más complejos que requieren nuevas destrezas psicomotoras que pueden ser adquiridas mediante simulación (Aucar et al., 2005; Barnes, 1987; Wanzel et al., 2002).

El poder de la simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en cirugía fue confirmado en 2002 mediante un estudio aleatorio y doble ciego que demostró que el

² Ver uno, practicar muchas veces, hacer uno.

entrenamiento en un simulador de realidad virtual mejoraba de manera inequívoca el desempeño en el quirófano (Seymour et al., 2002). Otros estudios han confirmado este hallazgo (Larsen et al., 2009; Hamilton et al., 2001; Zendejas et al., 2013; Dawe et al., 2014; Hyltander et al., 2002; Park et al., 2007).

En el Anexo 1, la Tabla 20 resume la revisión sistemática sobre simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS.

2.1.5 Clasificación de los simuladores en cirugía

Si bien el aprendizaje de destrezas en el ser humano vivo es el escenario ideal puesto que proporciona la mayor fidelidad posible (variabilidad anatómica, sangrado y ambiente real del quirófano), tiene en la actualidad múltiples consideraciones éticas, pues requiere consentimiento, es un modelo oportunista basado en las necesidades del paciente y no en las del aprendiz, no permite el aprendizaje basado en el error ni la estandarización debido a las múltiples variaciones individuales. Por otra parte, se dan las tensiones entre la presión por enseñar y las presiones financieras del quirófano (Wanzel et al., 2002). Es así como la simulación para la enseñanza y el aprendizaje de destrezas quirúrgicas se ha convertido en un nuevo paradigma en educación en cirugía que reemplaza el modelo tradicional *“learning by doing”* o *“see one, do one, teach one”* (Halsted, 1904).

En términos generales, los simuladores para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS se pueden clasificar en mecánicos, híbridos o de realidad aumentada y de realidad virtual (Botden & Jakimowicz, 2009; Papanikolaou, 2013). Alinier (2007) propone una tipología de los simuladores para educación médica basada en la pirámide de Miller (1990) en donde el nivel 0 incluye las simulaciones escritas, el nivel 1 comprende los maniqués 3D básicos y los simuladores de tareas parciales. El nivel 2 se refiere a la simulación basada en computadores e incluye nuestro modelo SIMISGEST-VR (simulador quirúrgico de realidad virtual). Los niveles 3, 4 y 5 incluyen los pacientes estandarizados; el 3 y el 4 los simuladores de fidelidad intermedia y los simuladores de alta fidelidad interactivos el 5.

Otra clasificación los divide en los de baja fidelidad (“*peg boards*”, “*synthetic suture mats*”, de realidad virtual) y de alta fidelidad (biológicos y no biológicos). El término fidelidad en simulación se refiere al grado de realismo y de complejidad técnica de los simuladores y está dictada por la complejidad de la tarea (Datta et al., 2012). Los simuladores de baja fidelidad se ajustan mejor para el aprendizaje de destrezas básicas en aprendices novatos (Badash et al., 2016). Los simuladores biológicos de alta fidelidad son los cadáveres humanos, los tejidos animales y los animales vivos. Los no biológicos de alta fidelidad incluyen los simuladores de realidad virtual que incluyen tareas parciales o procedimientos completos y sensación táctil (haptics), mientras que los de baja fidelidad simulan tareas parciales sin retroalimentación táctil ya sea mediante el uso de cajas de entrenamiento o de simuladores de realidad virtual (Wignall et al., 2008). Los escenarios de simulación diseñados para evaluar el desempeño humano son de alta fidelidad y se utilizan para el entrenamiento de trabajo en equipo y para la simulación de escenarios de crisis (Reznick & MacRae, 2006).

La realidad virtual se refiere a una representación tridimensional de un entorno, generada por computadora, que remeda el mundo real y permite la interacción sensorial y la navegación usando los cinco sentidos en tiempo real, lo que proporciona la sensación de realismo y de inmersión. En la realidad virtual la interface hombre-computadora va más allá de las interfaces como el teclado, el ratón o el joystick. Las tres maneras de “sentir” en los mundos virtuales es través de los sonidos, la vista y el tacto (Coleman et al., 1994; Schijven & Jakimowicz, 2003a; Schijven & Jakimowicz, 2003b). En cirugía, la simulación mediante realidad virtual puede describirse como un dispositivo o un ejercicio que reproduce o emula, bajo condiciones artificiales y de prueba, componentes parciales o completos de un procedimiento quirúrgico (Krummel, 1998).

La Tabla 6 se presenta un panorama general de los simuladores de acuerdo con estas clasificaciones, con énfasis en sus ventajas y desventajas.

Tabla 6.

Clasificación general de los simuladores en MIS, ventajas y desventajas

Orgánicos. Seres humanos, animales y cadáveres		
Modelo	Ventajas	Desventajas
Seres humanos vivos (Alta fidelidad)	Sería el modelo ideal puesto que proporciona la anatomía exacta, las variantes individuales y hay sangrado (Munz et al., 2004).	En la actualidad existen se hacen consideraciones éticas acerca del entrenamiento en MIS con seres humanos vivos y si se da el caso, se requiere consentimiento informado. No permite estandarizar puesto que cada paciente es diferente y por tanto es un sistema de entrenamiento que se adapta a las necesidades del paciente y no a las necesidades del aprendiz. Por otra parte, se da un conflicto entre el entrenamiento y la eficiencia del quirófano.
Cadáveres humanos (Alta fidelidad)	Los cadáveres humanos proporcionan similitud anatómica, no requieren consentimiento para su uso y los reparos éticos son mínimos. Reproducen la sensación táctil a igual que ocurre con los tejidos animales (Wignall et al., 2008).	El uso de cadáveres para enseñanza en salud es cada vez más restringido debido a limitaciones de logística, cuestiones epidemiológicas y de transmisión de enfermedades, culturales y en algunos casos éticas. En este tipo de modelo, el aprendiz tiende a ser menos cuidadoso y solo pueden ser utilizados en una oportunidad con un costo alto. No permite la estandarización debido a las variantes anatómicas individuales y no simula el sangrado.
Animales vivos (Alta fidelidad)	Los animales vivos anestesiados brindan un modelo que, si bien no es exacto desde el punto de vista anatómico, son de alta fidelidad, simulan la realidad fisiológica (como el sangrado) y permiten adquirir las habilidades psicomotoras y cognitivas para realizar un procedimiento quirúrgico completo mediante tareas estandarizadas (Wagh & Waxman, 2006; Aggarwal & Darzi, 2009). Este modelo es útil para desarrollar nuevas técnicas quirúrgicas. Varios estudios han demostrado su eficacia y validez (Badash et al., 2016).	Su uso se limita a sesiones únicas que no corresponden al modelo de aprendizaje distribuido que favorece la retención de las habilidades (Choy & Okrainec, 2010; Moulton et al., 2006). En la actualidad, es cada vez más difícil su uso por cuestiones éticas, médico-legales, económicas, logísticas y culturales. Por otra parte, se trata de un recurso costoso que solo puede ser usado en una oportunidad (Karaliotas, 2011; Vallas et al., 2015). En muchos países, se ha prohibido el uso de animales vivos mediante leyes sobre crueldad animal (Munz et al., 2004; Torkington et al., 2000).
Tejidos animales ex vivo (Alta fidelidad)	Es un modelo de simulación de alta fidelidad, de bajo costo y de fácil adquisición que utiliza secciones anatómicas o tejidos de animales	Requiere un montaje logístico complejo en salas húmedas de centros de simulación y sólo puede ser utilizado una sola vez (Dawe et al., 2014; Vallas et al., 2015). Tiene riesgos de contaminación y de infecciones. La

	sometidos a eutanasia. En el cadáver fresco los tejidos conservan su elasticidad.	mayoría de los modelos presentan diferencias anatómicas notables con respecto al humano. No se ha probado la validez de transferencia (Munz et al., 2004).
Tejidos cadavéricos o animales preparados (Alta fidelidad)	El método Thiel permite conservar el tejido preservando su flexibilidad lo cual produce una sensación más real en su manipulación (Thiel, 1992).	Tiene las mismas desventajas éticas, médico legales y económicas encontradas con el modelo tradicional (Thiel, 1992; Giger et al., 2008).

Videos y simulaciones basadas en la Web		
	Ventajas	Desventajas
Videos y simulaciones basadas en la Web (Baja fidelidad)	Son modelos de bajo costo, se pueden repetir innumerables veces y son portátiles. Permiten enseñar a un gran número de aprendices al mismo tiempo.	Son modelos de baja fidelidad que no brindan sensación táctil.

Modelos inorgánicos (sintéticos) o mecánicos		
Modelos sintéticos ("bench simulator") (Alta y baja fidelidad)	Son portátiles, reproducibles y estandarizados, en general de bajo costo y son útiles para enseñar tareas parciales con niveles específicos de dificultad. Usan instrumental quirúrgico real. Son muy útiles para enseñar destrezas quirúrgicas básicas como nudos, suturas, fijación de fracturas, etc. (Wignall et al., 2008; Aydin, Raison, et al., 2016).	No permiten reproducir procedimientos completos. Los de alta fidelidad son de muy alto costo y no se ha probado que sean mejores que los de baja fidelidad y bajo costo (Norman et al., 2012).
Maniquís (Alta fidelidad)	Son portátiles. Se utilizan para enseñar maniobras clínicas (reanimación), obstétricas o sutura de piel (Alaker et al., 2016; Cooper & Taqueti, 2004)	Pueden alcanzar altos costos. No se utilizan para aprendizaje de destrezas en MIS.
Cajas de entrenamiento, cajas de simulación, "video trainers" "part-task trainers" o "pelvic trainers" (Alta y baja fidelidad)	Los modelos más utilizados consisten en una cámara, una fuente de luz, un monitor y un instrumental de MIS. Dentro de la caja se colocan órganos u objetos que se manipulan con las pinzas. Debido a su bajo costo en la inversión inicial, fácil consecución y ser portátiles son los modelos de mayor uso y además los más validados (Scott et al., 2000; Roberts et al., 2006; Vallas et al., 2015). Su mayor ventaja es que proporcionan una sensación táctil ("haptic") idéntica a la que se tiene en el quirófano (Vassiliou et al., 2006; Papanikolaou, 2013; Fried et al., 2004). Las tareas son estandarizadas y se puede diseñar	No miden de manera directa los movimientos ni las destrezas (métrica), ni proporcionan retroalimentación y por tanto requieren un observador experto que corrija los errores de ejecución, evalúe el desempeño, y brinde retroalimentación lo cual aumenta considerablemente los costos puesto que se trata de un recurso humano altamente calificado (Scott et al., 2000; Roberts et al., 2006; Vallas et al., 2015). No proporcionan interactividad. La métrica y la evaluación están sujetas a variación inter e intra observador.

un currículo basado en competencia con múltiples grados de dificultad (Aggarwal & Darzi, 2009). Requieren mantenimiento entre las sesiones de práctica.

La tecnología de impresión 3D ha permitido desarrollar modelos de alta fidelidad para simular procedimientos completos en cajas de entrenamiento (Cheung et al., 2014; Li et al., 2017; Crafts et al., 2017). Esta tecnología también permite reconstruir la anatomía específica de un paciente determinado con propósito de entrenamiento prequirúrgico (“preoperative warm-up”) (Vakharia et al., 2016; Moldovanu et al., 2011; Pike et al., 2017).

Modelos impresos en 3D	Permiten la práctica en modelos que sean específicos para pacientes individuales. No hay riesgo y utilizan instrumentos reales. Son útiles para el entrenamiento de casos difíciles (Aydin, Raison, et al., 2016).	Su costo es aún muy elevado, pero ya se han descrito modelos de simulación de bajo costo (Pedersen et al., 2017).
-------------------------------	--	---

Simuladores híbridos o de realidad aumentada

	Ventajas	Desventajas
Simuladores híbridos o de realidad aumentada (Alta fidelidad)	La realidad aumentada combina la realidad física de una caja de entrenamiento y la realidad virtual en un solo sistema que mantiene la retroalimentación táctil (Botden & Jakimowicz, 2009) usando los instrumentos originales (pinzas laparoscópicas, órganos, agujas, etc.) y las tareas mientras que se mide el desempeño, retroalimenta y permite la interactividad. Por tanto, no requieren la retroalimentación permanente de un cirujano experto (Van Empel, et al., 2012; Vallas et al., 2015; Botden et al., 2007; Botden & Jakimowicz, 2009)	<p>Pueden alcanzar un costo relativamente alto, pero los materiales para la práctica en la caja pueden ser de bajo costo. Requieren mantenimiento entre las sesiones.</p> <p>Son útiles para el aprendizaje cognitivo, para la familiarización con los entornos MIS y para adquirir destrezas básicas (Aydin, Raison, et al., 2016)</p> <p>Para su mantenimiento en caso de fallo, requieren personal altamente especializado.</p> <p>No hay protocolos estándares de evaluación.</p>

Simuladores de realidad virtual

	Ventajas	Desventajas
Simuladores de realidad virtual (Baja y alta fidelidad)	Los simuladores quirúrgicos de realidad virtual usan imágenes tridimensionales de objetos o de órganos generadas por computador que interactúan mediante una interface con el aprendiz que las manipula mientras obtiene métrica (tiempo, errores, eficiencia) y brinda retroalimentación	Son mucho más costosos que las cajas físicas y aún no las superan en el aprendizaje de técnicas de sutura intra-corpórea. No son portátiles, son costosos y no utilizan instrumental real (Aydin,

<p>objetiva de su desempeño en tiempo real. Esto permite evaluar la competencia del aprendiz sin la presencia de un observador calificado (Haque & Srinivasan, 2006).</p>	<p>Raison, et al., 2016; Owlia et al., 2016).</p>
<p>El realismo físico de los simuladores de realidad virtual incluye realismo visual, haptic y dinámico (ej. sangrado) (Papanikolaou, 2013; Aggarwal & Darzi, 2009; Alaker et al., 2016)</p>	<p>Aún no alcanzan las características que presentan los modelos basados en cadáveres o en órganos animales con respecto a la consistencia de los tejidos y su comportamiento durante la manipulación quirúrgica, la retroalimentación táctil y el realismo anatómico (Papanikolaou, 2013). Al simular procedimientos completos no permiten practicar la toma de decisiones en cirugía y retroalimentación táctil es aún pobre (Van Empel, van der Veer, et al., 2012)</p>
<p>Las tareas son estandarizadas y se puede diseñar un currículo basado en competencias con niveles específicos de dificultad que permite infinitas repeticiones (Aggarwal & Darzi, 2009). Son de utilidad para el aprendizaje cognitivo y la familiarización con los procedimientos en MIS y el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas.</p>	<p>No existen protocolos estándares de evaluación.</p>
<p>Tienen un costo alto inicial, pero, debido a sus características no requieren la presencia física de un experto para corregir los errores y brindar retroalimentación</p>	<p>El grado de fidelidad física está directamente relacionado con el costo. La inclusión de la sensación táctil (“haptics”), aumenta considerablemente los costos (Vallas et al., 2015; D. Xiao et al., 2014; Escamirosa et al., 2015; Escamirosa, Flores, García, I., Vidal, & Martínez, 2015).</p>
<p>No tienen implicaciones bioéticas o médico-legales.</p>	<p>Para su mantenimiento en caso de fallo, requieren personal altamente especializado.</p>
<p>No requieren mantenimiento entre las sesiones de práctica y permiten infinitas repeticiones de un ejercicio, el reinicio es fácil (Aydin, Raison, et al., 2016).</p>	<p>En este tipo de simuladores, la retroalimentación táctil casi siempre está ausente. Los que la incluyen son de altísimo costo.</p>
<p>Permiten la enseñanza de tareas parciales y de procedimientos quirúrgicos completos.</p>	<p>Los paquetes comerciales para la práctica de intervenciones específicas son costosos (Seymour & Røtnes, 2006; Roberts et al., 2006).</p>
<p>Permite la grabación automática de cada una de las tareas realizadas lo que permite que se puedan revisar en línea por un tutor (Aggarwal & Darzi, 2009).</p>	<p>Los costos de los simuladores de realidad virtual y de realidad virtual aumentada fluctúan entre los 6-000 y los 112.500 euros (Schijven & Jakimowicz, 2003a).</p>
<p>Permiten incorporar datos personalizados del paciente y pueden simular condiciones fisiológicas como el sangrado.</p>	
<p>Los simuladores de realidad virtual se están utilizando para simular procedimientos de pacientes específicos mediante la reconstrucción 3D de imágenes de tomografía computada y resonancia magnética nuclear (Makiyama et al., 2015; Wellens et al., 2019)-</p>	
<p>El <i>MIST-VR (Mentice Medical Simulation AB, Gothenburg, Sweden)</i> en sus versiones</p>	

	<p>“Classic” y “Procedicus” es el simulador con mayor número de estudios de validación que ha comprobado que utilizando un entorno virtual simple de baja fidelidad de ingeniería pero de alta fidelidad psicológica es posible transferir las destrezas aprendidas en el simulador al quirófano (Seymour & Røtnes, 2006). Es un simulador de tareas. (Véase Tabla 20 en el Anexo 1 sobre estudios de validación del MIST-VR).</p> <p>Nuestro modelo SIMISGEST-VR se incluye en esta categoría.</p>	
Simuladores de inmersión total	Son portátiles, costo efectivos y reusables. El tiempo de inicio es mínimo. Se usan para entrenamiento de equipos y simulación de crisis (Aydin, Raison, et al., 2016).	El realismo aún es limitado.
Simulación de alta fidelidad de la sala de operaciones	Es reusable, de alta fidelidad y permite la interactividad. Permite capturar datos en tiempo real. Se usan para entrenamiento de equipos y simulación de crisis Se usan para entrenamiento de equipos y simulación de crisis (Aydin, Raison, et al., 2016).	Son muy costosos, requiere mantenimiento frecuente y la aplicación técnica es limitada.

Nuestro modelo SIMISGEST-VR se puede clasificar como un simulador de realidad virtual, de baja fidelidad, sin sensación táctil.

La Tabla 21 en el Anexo 2 presenta un resumen de los simuladores comerciales más frecuentemente usados para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS.

2.1.6 Cómo se aprenden destrezas psicomotoras en MIS mediante la simulación

Given their education curriculum, a surgeon would rather be the first passenger of a pilot than a pilot the first patient of a surgeon.

(Wentink et al., 2003)

Las maniobras quirúrgicas están entre las destrezas más complejas que se puedan realizar; pocas otras destrezas requieren tal nivel de conocimiento y precisión motora que las requeridas durante un acto quirúrgico. Si bien, la velocidad se incrementa a medida que el cirujano se hace

más experimentado, son la precisión y la exactitud más que la velocidad y la resistencia las principales cualidades que se deben tener. Las tareas quirúrgicas comprenden habilidades psicomotoras finas, seriadas, discretas y cerradas que se realizan en un ambiente relativamente controlado (Custers et al., 1999).

El cirujano tradicional del siglo XX basaba la ejecución de los procedimientos quirúrgicos en la visión tridimensional, en la alineación del eje ojo-mano y en el sentido del tacto. La aparición de la MIS creó una nueva forma de realizar los procedimientos quirúrgicos y por tanto introdujo nuevos retos para la función motriz del cirujano. La Tabla 7 muestra los principales retos psicomotores y de ergonomía para el cirujano que opera por medio de MIS.

Tabla 7.
Retos psicomotores y de ergonomía en MIS

Reto psicomotor	Descripción
Pérdida de la visión estereoscópica (binocularidad)	Se debe producir e interpretar una imagen mental tridimensional a partir de un monitor que genera imágenes en dos dimensiones del campo operatorio (Pellen et al., 2009; Munz et al., 2004). La pérdida de las señales de la profundidad y la pérdida de la binocularidad (“ <i>pictorial perception</i> ”) son algunos de los retos más difíciles que debe superar el cirujano en MIS (Gallagher, Ritter, Lederman, McClusky, & Smith, 2005). Las denominadas señales primarias “ <i>primary cues</i> ” - la disparidad binocular y la convergencia, la acomodación y el paralaje del movimiento “ <i>motion parallax</i> ”- están presentes en abundancia pero en una superficie plana y vertical (Gallagher et al., 2001). Esta pérdida de binocularidad posiblemente lleva a una mayor carga cognitiva (Haluck et al., 2001).
Pérdida del eje ojo-mano	La pérdida de la percepción de profundidad de la imagen afecta la coordinación ojo-mano (Munz et al., 2004). En la cirugía tradicional, los ojos miran y enfocan sin que haya trabajo cognitivo adicional. En MIS, la visión de la cirugía debe dirigirse manualmente mediante una cámara (desconexión visual del campo operatorio) (Park & Witzke, 2002), lo que requiere desarrollar nuevas destrezas y una mayor carga cognitiva (Haluck et al., 2001) (McDougall, 2007).
Disminución de la percepción táctil	La percepción táctil de los dedos se traslada a la punta de un instrumento que es largo; así pues, se dificulta el juzgamiento de la fuerza aplicada y la percepción de la consistencia del tejido. De esta manera, se reduce la retroalimentación táctil (Choy & Okrainec, 2010; Karaliotas, 2011).
El instrumental	El instrumental es largo lo cual amplifica el temblor, disminuye la sensación táctil y disminuye los grados de libertad de movimiento (Munz et al., 2004; Pellen et al., 2009; Emam et al., 2000)
Fenómeno <i>fulcrum</i> o inversión de la	Cuando la mano del cirujano se mueve hacia la derecha del paciente, la punta del instrumento de trabajo se desplaza hacia el lado izquierdo de la pantalla; esta

correlación perceptual-motora	inversión se produce por el efecto palanca, de pivote o <i>“fulcrum”</i> que produce la pared abdominal del paciente. Este fenómeno de inversión de la correlación perceptual-motora puede ocasionar un detrimento en el desempeño del cirujano (Gallagher, McClure, McGuigan, Ritchie, & Sheehy, 1998), pero con el entrenamiento los cirujanos pueden automatizar este efecto (Crothers et al., 1999; Munz et al., 2004).
Cambio en las claves de la percepción profunda	Las sombras, la luz, la deformación de los tejidos, la angulación, el paralaje del movimiento <i>“motion parallax”</i> , y las imágenes de baja fidelidad crean dificultades para la percepción de la profundidad y de las relaciones espaciales del campo quirúrgico que aparece en la pantalla (Pellen et al., 2009).
Restricción de los movimientos	Mientras que en cirugía abierta existen siete grados de libertad de movimiento, en MIS estos se limitan a 4 (Pellen et al., 2009)
Consideraciones ergonómicas	El cirujano sufre con facilidad fatiga e incomodidad (Berguer et al., 1997; Berguer et al., 1999; Xiao, Jakimowicz, Albayrak, & Goossens, 2012; Xiao et al., 2014). Durante los procedimientos en MIS, los cirujanos tienden a mantener la posición erecta con menor cantidad de movimientos de la espalda y del cuello y por tanto se reporta con mayor frecuencia dolor en el cuello, y dolor y entumecimiento de la extremidad superior (Berguer et al., 2003; Smith, Chung, & Berguer, 2000; Smith et al., 2000; Berguer et al., 1999; Nguyen et al., 2001).
Aumento del temblor	Las tareas que implican destrezas finas son más difíciles (Pellen et al., 2009).
Reducción del campo visual	El campo visual reducido puede crear problemas de orientación. El punto de vista anatómico es diferente (Munz et al., 2004).
Pérdida de la interacción directa con las manos	Al perderse la interacción directa entre ambas manos del cirujano, los aprendices tienden a ignorar su mano no dominante, lo cual reduce la eficiencia y puede ocasionar errores durante el acto quirúrgico (Choy & Okrainec, 2010).
Aumento de la carga cognitiva	Durante la fase de aprendizaje y durante los primeros casos reales la MIS origina una carga cognitiva superior cuando se compara con la cirugía abierta (Smith et al., 2000). La inestabilidad de la cámara aumenta la fatiga mental y la carga cognitiva (Bashankaev et al., 2011).
Retos sociológicos	La MIS es un ejercicio quirúrgico altamente acoplado y complejo y por tanto los roles de los actores tienen gran dependencia y cada individuo es esencial. Así pues, requiere comunicación constante entre los actores y por otra parte, depende en un alto grado de los recursos tecnológicos (Choy & Okrainec, 2010).

2.1.6.1 Teorías acerca del aprendizaje de destrezas psicomotoras

No se encuentra una teoría unificada que explique cómo se aprenden nuevas destrezas psicomotoras y muy especialmente las concernientes al acto quirúrgico.

William Stewart Halsted (1852-1922), si bien no planteó una teoría, fue el pionero del método de enseñanza de las destrezas quirúrgicas mediante un proceso de mentoría: "*see one, make one, teach one*" (Halsted, 1904). Con el surgimiento de la MIS, este modelo no podía aplicarse dados los retos psicomotores y de ergonomía que esta nueva modalidad plantea (Tabla 7). La teoría de Fitts y Posner (1967) ha sido aplicada al aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS con énfasis en la fase integrativa. Posteriormente, la teoría de la adquisición de destrezas cognitivas (Anderson et al., 1982), complementó la teoría de Fitts y Posner. La teoría del esquema de Schmidt (1975) introduce el concepto de retroalimentación, pero este modelo tiene poca aceptación en los modelos de enseñanza de destrezas quirúrgicas (Custers et al., 1999).

Por su parte, el modelo de Rasmussen (1983), habla del concepto de comportamiento basado en el conocimiento, lo cual tiene que ver con la experticia (Tabla 8). El modelo de aprendizaje cognitivo (Collins et al., 1989) presenta tres fases del proceso de aprendizaje que dependen del tutor experto y tres del aprendiz, y hace énfasis en el factor cognitivo y meta-cognitivo, y no en los procesos relacionados con las destrezas físicas. La teoría de la adquisición de experticia de Ericsson et al. (1993) teoriza sobre la adquisición de experticia, y propone la regla de los 10 años o 10.000 horas de práctica y describe la importancia de la práctica deliberada. El aprendizaje experiencial o modelo constructivista (Kolb & Kolb, 2005; Dankelman et al., 2005), pone en lugar protagónico al aprendiz y muchos cursos para aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS lo aplican buscando lograr conocimiento y un cambio en el comportamiento. Este modelo tiene mucho que ver con la andragogía (Knowles et al., 2001). Finalmente, la *embodied cognition*, tiene que ver con la *situated condition* o el aprendizaje situado, que recuerda a Halsted y complementa el modelo constructivista. En este modelo, la cirugía se considera que es una habilidad que debe aprenderse con todo el cuerpo (Dreyfus, 2002).

En resumen, el acto quirúrgico es la destreza cognitiva y manual más compleja que ha desarrollado el ser humano y es por esta complejidad que no es fácil desarrollar una teoría que unifique los aspectos cognitivos y psicomotores. Las teorías constructivistas, aquellas que buscan explicar la adquisición de la experticia, y la "embodied cognition" en conjunto pueden dar luces acerca de cómo se desarrolla este proceso.

La Tabla 8 resume las principales teorías sobre el aprendizaje de destrezas psicomotoras con énfasis en las relacionadas con las destrezas quirúrgicas.

Tabla 8. Resumen de las teorías sobre cómo se aprenden las destrezas psicomotoras en cirugía

Teoría	Descripción
<p>Modelo de aprendizaje tradicional. Aprendizaje observacional o modelado.</p> <p>(Halsted, 1904; Cameron, 1997; Kim, Frank, & Schack, 2017)</p>	<p>El modelo de aprendizaje tradicional de destrezas se considera un <i>modelo de aprendizaje situado</i> puesto que enseña la destreza en el contexto de su uso. Se hace énfasis en la técnica específica para un paciente específico. Ha sido el modelo tradicional propuesto por Halsted "<i>see one, make one, teach one</i>" (Halsted, 1904; Kotsis & Chung, 2013). Consta de tres fases:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>Observación.</i> En primer lugar el aprendiz <i>observa</i> de manera repetida la ejecución de la tarea por el instructor (cirujano) quien despliega un tipo particular de comportamiento. Al aprendiz se le induce a recordar y a reproducirlo ("<i>watch me</i>"). <i>Tutoría.</i> El aprendiz intenta realizarla con la ayuda del mentor ("<i>coaching</i>") y de manera progresiva, el instructor reduce o suspende su participación y se limita a proporcionar retroalimentación y a hacer sugerencias. <i>Práctica.</i> El aprendiz se dedica a la <i>práctica deliberada</i>. En este modelo <i>perfect practice makes perfect</i>. <p>Este modelo tradicional de enseñanza de las habilidades quirúrgicas en el quirófano y en el acto operatorio ha dejado de ser el modelo óptimo para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS (Reznick, Regehr, MacRae, Martin, & McCulloch, 1997).</p> <p>El <i>aprendizaje situado</i> hace referencia al contexto sociocultural como elemento clave para la adquisición de habilidades y competencias, buscando la solución de los retos diarios siempre con una visión colectiva. El aprendizaje situado trata de incentivar el trabajo en equipo a través de proyectos orientados a problemas que precisen la aplicación de métodos analíticos que tengan en cuenta todo tipo de relaciones y vinculaciones. Esto implica la participación activa y consciente del alumno.</p>
<p>Teoría de Fitts y Posner. Tres fases del desarrollo de destrezas técnicas.</p> <p>(Fitts & Posner, 1967; Kopta, 1971; Wanzel et al., 2002; Dankelman et al., 2005; Reznick & MacRae, 2006; Taylor & Ivry, 2012)</p>	<p>Las habilidades psicomotoras se aprenden en tres etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>Fase cognitiva (verbal)</i> que consiste en realizar lecturas, escuchar y observar los nuevos procedimientos; se trata de utilizar conocimiento explícito. El aprendiz intelectualiza la tarea y sus pasos; acá su desempeño es errático y los procedimientos se realizan por etapas; mediante la observación, la imitación, la práctica y la retroalimentación el aprendiz comienza a integrar el conocimiento de la tarea con los comportamientos motores y el desempeño se torna más fluido y con un menor número de interrupciones. Este enfoque es deliberado, flexible y verbal. Es factible descomponer la tarea en sus componentes básicos. <i>Fase integrativa o asociativa:</i> una vez el aprendiz interioriza los elementos cognitivos, comienza a integrar este conocimiento con un comportamiento motor apropiado y esto implica practicar, pero no de una manera indiscriminada, sino acompañada de retroalimentación si se desea que el

resultado final sea una destreza que pueda ser medida. No es permisible la práctica sin retroalimentación. En esta fase la destreza aún no se encuentra codificada en la corteza motora. La práctica llevará al aprendizaje motor a un estadio en el que la ejecución rutinaria no requiera carga cognitiva. En este momento se alcanza la fase 3.

3. *Fase autónoma* en la cual el desempeño es automático, autónomo, fluido, rápido, eficiente y preciso y no produce carga cognitiva ni estrés.

Si el aprendizaje de las destrezas psicomotoras en MIS se realiza en cajas (“*video trainers*” o “*pelvic trainers*”), la fase integrativa es crítica puesto que requiere el acompañamiento de un experto que retroalimente al aprendiz.

En este modelo la práctica hace al maestro puesto que el proceso correctivo es guiado por el conocimiento del resultado final.

Teoría del asa cerrada para el aprendizaje motor

(Adams, 1971; Custers et al., 1999; Dankelman et al., 2005)

La teoría del asa cerrada postula dos estados de la memoria que son los responsables para el aprendizaje y el desempeño:

1. *“Memory trace”*: es un programa motor básico responsable del inicio, ejecución o terminación del movimiento. Su fortalecimiento resulta a partir de la práctica y la retroalimentación a partir del resultado final del movimiento.

2. *“Perceptual trace”*: es la representación de los resultados de la retroalimentación (visual, auditiva y propioceptiva) de las respuestas pasadas. Guía el miembro hacia la posición correcta. Mientras más fino y exacto deba ser el movimiento más útil será la traza perceptual.

En esta teoría no se tiene en cuenta el papel de la demostración visual en el desarrollo de la representación en la memoria de la destreza motora y hace énfasis en la influencia de la práctica; este modelo tiene poca aceptación en los modelos de enseñanza de destrezas quirúrgicas (Custers et al., 1999).

Teoría de la adquisición de destrezas cognitivas

(Figura 1)

(Anderson et al., 1982; Kim, Ritter, & Koubek, 2013)

Este modelo tiene origen en el propuesto por Fitts. El proceso ocurre en tres fases:

1. *Declarativa*: el aprendiz recibe información sobre la tarea. La instrucción se codifica como serie de hechos acerca de la tarea y estos hechos pueden ser usados con propósitos interpretativos generales para suscitar un comportamiento. En esta fase, es frecuente la mediación verbal con el propósito de guardar los hechos en la memoria de trabajo para usarlos posteriormente con fines interpretativos. En esta etapa se adquiere la destreza.

2. *Transicional*: el proceso mediante el cual el conocimiento se convierte de declarativo a procedimental se conoce como compilación del conocimiento y corresponde a la etapa integrativa o asociativa de Fitts. En esta etapa desaparece la mediación verbal. Se utilizan la memoria declarativa y la memoria procedimental.

3. *Procedimental*: el conocimiento adquiere forma procedimental, lo cual constituye un aprendizaje adicional acelerado y predomina la memoria procedimental.

Teoría del esquema de Schmidt del aprendizaje de destrezas psicomotoras.

(Kopta, 1971; Schmidt, 1975; Haluck & Krummel, 2000) (Wanzel et al., 2002) (Dankelman et al., 2005)

Tanto la práctica como la fidelidad de la retroalimentación son claves para el desarrollo de la habilidad motora. Esta teoría resalta la representación mental y las habilidades de percepción durante la realización de una habilidad motora. La ejecución de un movimiento comprende cuatro pasos:

1. *Condiciones iniciales.* Antes de iniciar el movimiento la persona recibe información sobre la posición y el ambiente a partir de los sentidos.
2. *Especificaciones de respuesta.* A partir de dicha información, se activan comandos musculares, como velocidad y fuerza del movimiento, los cuales son almacenados.
3. *Consecuencias sensoriales.* Una vez se ejecuta el movimiento, se almacenan sus consecuencias sensoriales que incluyen la retroalimentación auditiva, visual y táctil.
4. *Resultado de la respuesta.* Finalmente, se adquiere la información sobre el resultado del movimiento con respecto al propósito inicialmente planteado.

La fortaleza de las interrelaciones de los cuatro elementos mencionados se incrementa con cada movimiento exitoso y con la retroalimentación obtenida a partir del resultado de la respuesta. Por tanto, la práctica y la fidelidad de la retroalimentación son esenciales para el desarrollo de la destreza motora. En esta teoría, no se tiene en cuenta el papel de la demostración visual en el desarrollo de la representación en la memoria de la destreza motora y hace énfasis en la influencia de la práctica; este modelo tiene poca aceptación en los modelos de enseñanza de destrezas quirúrgicas (Custers et al., 1999).

Modelo de Rasmussen del comportamiento humano en el entrenamiento en MIS.

(Figura 2)

(Rasmussen, 1983; Stassen et al., 1999; Wentink et al., 2003)

En este modelo se dan tres niveles diferentes de comportamiento:

1. *Comportamiento basado en destrezas:* este comportamiento ocurre sin control consciente y de manera automática y se basa en el control motor. La información sensorial se basa en señales continuas. En el caso de la MIS, los movimientos de la punta de las pinzas que se observan en la pantalla.
2. *Comportamiento basado en reglas:* la ejecución de las tareas por procedimientos o reglas almacenadas, proporcionadas por los instructores. La información se percibe mediante señales discretas que activan la regla almacenada. En el caso de la MIS, cuando se practica una colecistectomía, la identificación inequívoca de los componentes del triángulo de Calot, permite que se pueda hacer la ligadura y la sección de las estructuras.
3. *Comportamiento basado en el conocimiento:* cuando ocurren situaciones inusuales para las cuales no hay reglas pre-establecidas, se aplica este comportamiento. Cuando surge una variante anatómica compleja, el cirujano tomará las decisiones apropiadas basado en su experiencia y su conocimiento; esta información se recupera de la memoria de largo plazo en el momento propicio como conocimiento (Gallagher, Ritter, Champion, et al., 2005).

Modelo de aprendizaje cognitivo

(Collins et al., 1989; Wanzel et al., 2002; Hall et al., 2003)

En el modelo de aprendizaje cognitivo, el conocimiento y el aprendizaje se descontextualizan de tal manera que el novato aprende a aplicar las destrezas en varios escenarios y por tanto va más allá del aprendizaje situado. El modelo comprende seis fases:

1. *Modelado,* el experto explica el proceso y demuestra (modela) la tarea.
 2. *Tutoría,* el instructor observa, dirige y proporciona retroalimentación al aprendiz que realiza la tarea.
-

3. *Soporte ("scaffolding")*, el instructor proporciona el soporte apropiado para el nivel del desempeño del alumno y luego, de manera gradual lo retira hasta que el aprendiz asume la responsabilidad completa de la realización del ejercicio;

Estos tres primeros componentes dependen del tutor experto.

4. *Articulación*, el propósito es integrar y formular el conocimiento de tal manera que se comprenda conceptualmente la tarea que se realiza.

5. *Reflexión*, permite que el estudiante compare su proceso para la resolución del problema con el del experto o de otros compañeros para construir su propio modelo cognitivo de tal manera que puedan analizar las sutilezas de un procedimiento, predecir resultados y analizar los errores.

6. *Exploración*, el aprendiz se propone nuevas metas de desempeño, inventa y experimenta nuevas estrategias, formula hipótesis y logra el nivel de la experticia.

Los tres últimos componentes son responsabilidad del aprendiz.

El término cognitivo se refiere a que el foco de la experiencia guiada de aprendizaje está en lo cognitivo y en lo meta-cognitivo y no en los procesos de las destrezas físicas.

Adquisición de experticia de Ericsson

(Ericsson et al., 1993;
Ericsson, 2004)

Teoriza sobre la adquisición de experticia y la regla de los 10 años o 10.000 horas de práctica. Describe la importancia de la *práctica deliberada* y hace énfasis en el desempeño del experto. Mientras que las teorías previamente descritas se refieren a las etapas iniciales de la adquisición de las destrezas psicomotoras. Es importante anotar que la sola cantidad de experiencia no garantiza el desempeño como experto; son necesarios el *razonamiento* o introspección y la *autoevaluación*.

El experto no se conforma con automatizar las tareas sino que se esfuerza por desarrollar representaciones mentales cada vez más complejas con el propósito de lograr mayores niveles de control de su desempeño.

Aprendizaje experiencial o modelo constructivista

(Kolb & Kolb, 2005)
(Dankelman et al., 2005)

Los modelos actuales para el aprendizaje de destrezas quirúrgicas en simuladores se basan en el modelo constructivista donde las experiencias de aprendizaje permiten lograr el conocimiento y un cambio en el comportamiento. En este modelo, el aprendiz es el "creador del aprendizaje" y no un recipiente pasivo de información. El estudiante es el punto focal para lograr el aprendizaje y el experto actúa como un facilitador que guía este proceso. Es lo que se denomina "aprender haciendo" o "aprendizaje experiencial".

Este modelo implica un ciclo de aprendizaje que contiene 4 fases que son en esencia una espiral de aprendizaje que puede comenzar en cualquiera de ellas, pero que típicamente comienza con una:

1. *Experiencia concreta*. El aprendiz ensaya una tarea quirúrgica simulada por primera vez; se trata de sentir "*feeling*".

2. *Observación reflexiva*. El aprendiz medita sobre la experiencia y su desempeño y formula conceptos abstractos a partir de dicha reflexión (fase 3). La evaluación de la tarea, los resultados de la métrica y la retroalimentación son centrales en esta etapa. Se trata de observar "*watching*".

3. *Conceptualización abstracta (formulación de conceptos abstractos y generalización)*: en esta etapa, el aprendiz considera la manera de modificar su comportamiento para mejorar su desempeño, y crea teorías que intentan explicar las observaciones. Se trata de pensar “*thinking*”.

4. *Experimentación activa (experimentar las implicaciones de los conceptos en nuevas situaciones)*: acá repite la experiencia concreta y experimenta estas modificaciones sin restricciones en el simulador. Usa las teorías aprendidas para resolver problemas y tomar decisiones. Se trata de hacer “*doing*”.

Este modelo se enlaza con la teoría de la andragogía (Knowles et al., 2001).

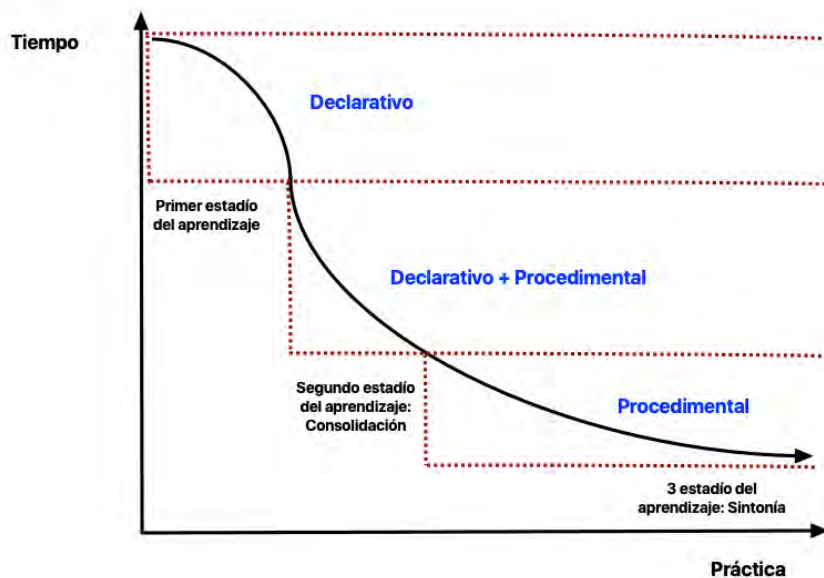
“*Embodied Cognition*”.

(Dreyfus, 2002)

(Anderson, 2003; Åsvoll, 2012; Bakker, 2019; van der Schaaf et al., 2019; Cooper & Tisdell, 2020)

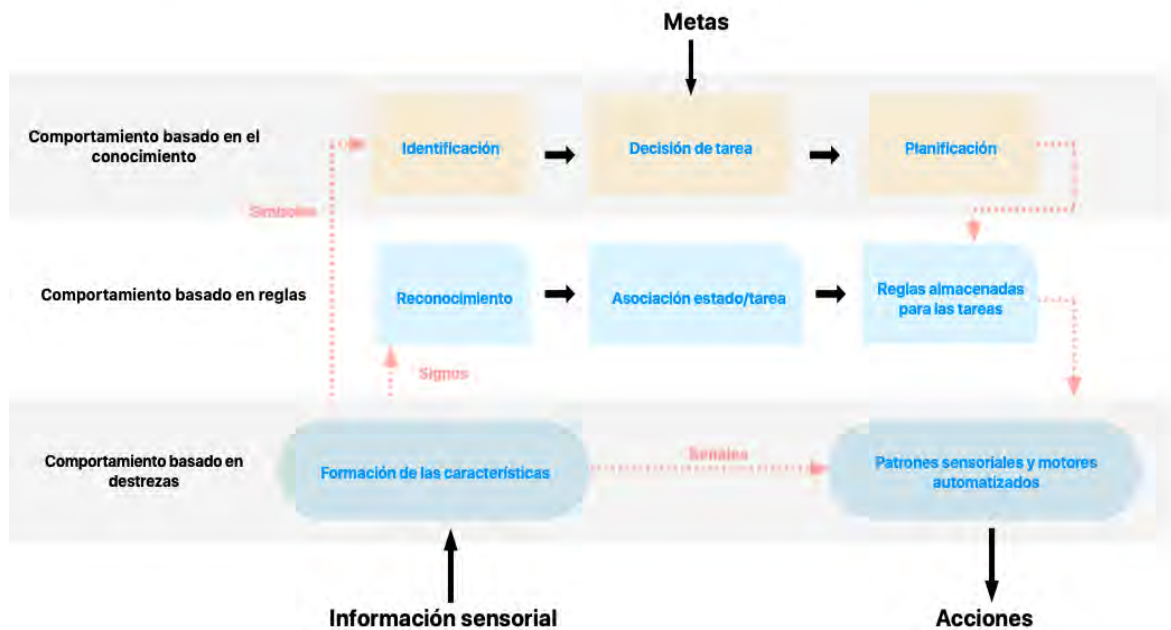
“*Embodied cognition*” se puede traducir en castellano como pensar o conocer con el cuerpo. Esta teoría replantea la naturaleza de la cognición y en vez de resaltar las operaciones formales, dice que la cognición es una actividad situada –“*situated activity*”-, es decir, que el cuerpo reacciona de manera diferente ante diversas situaciones. Según esta teoría, el modelo constructivista (Kolb & Kolb, 2005) se queda corto al explicar la adquisición de ciertas destrezas psicomotoras en cirugía puesto que en muchas ocasiones no es suficiente la representación cognitiva, sino que hay maniobras que, si bien pueden ser descritas, necesariamente deben ser hechas en tiempo real para comprenderlas y aprenderlas (Åsvoll, 2012). La cirugía es una habilidad que debe aprenderse con todo el cuerpo.

Figura 1. Teoría de la adquisición de destrezas cognitivas en tres estadios



(Kim et al., 2013)

Figura 2. Modelo de Rasmussen del comportamiento humano en el entrenamiento en MIS



Fuente: Rasmussen (1983).

2.1.7 El concepto de experto y la curva de aprendizaje en MIS

2.1.7.1 Definición de experto y de novato en los estudios sobre aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS

Para realizar estudios de validación de simuladores en MIS, es preciso definir los niveles de experticia de los participantes, lo cual no es fácil puesto que no hay una definición universal de experto en MIS. La Tabla 9 define los estadios del aprendizaje de las destrezas quirúrgicas.

Como norma general, el término novato (*“novate”*), se refiere a una persona sin ninguna experiencia en la realización del procedimiento bajo estudio. Por su parte, un experto se define como el especialista con experiencia en la realización del procedimiento en pacientes reales. Muchas definiciones añaden el número de procedimientos realizados por el experto para definir el término. Sin embargo, no necesariamente se da una correlación directa entre el número de

procedimientos y una mayor calidad en el desempeño (Schout, Hendrikx, Scheele, Bemelmans, & Scherpbier, 2010; Van Sickle et al., 2006; Papanikolaou, 2013).

El desempeño de un experto representa el nivel máximo de adquisición de destreza y el resultado final de una mejoría gradual en el desempeño a través de una experiencia prolongada en un dominio determinado. En el ámbito de la cirugía, Ericsson et al. (1993; Ericsson, 2008) define al experto como un cirujano experimentado que obtiene de manera consistente mejores resultados que los considerados no expertos. La práctica deliberada es un factor crítico para el desarrollo de la experticia, e incluso se considera que el factor fundamental es el número de horas dedicadas a la práctica deliberada más que el número de horas dedicadas a operar (Ericsson, 2004; Reznick & MacRae, 2006).

Tabla 9.
Estadios del aprendizaje de las destrezas quirúrgicas

Novato (referente)	Alguien que aprende hechos y asimila las reglas que determinan la acción con base en esta información. No tiene experiencia previa o esta es mínima en el campo que está aprendiendo. Se incluyen en esta categoría estudiantes de medicina o gente lega sin experiencia previa en MIS. En los estadios de validación a los novatos se les denomina grupo referente.
Principiante avanzado	Ya ha tenido experiencia y puede distinguir las diferencias. En esta etapa, se intentan tareas por su propia cuenta. Se incluyen los residentes de cirugía y médicos de planta con alguna experiencia en MIS pero aún no han alcanzado el nivel suficiente en la curva de aprendizaje.
Persona competente	Es capaz de reconocer un problema y desarrolla estrategias o planes para lograr una meta con base en el análisis de los hechos. Puede solucionar problemas por sí mismo.
Persona proficiente	Organiza y comprende de manera intuitiva la tarea mientras que aún piensa de manera analítica qué debe hacer a continuación. Comprende los problemas en un contexto mayor y puede auto-corriger su desempeño.
Experto	Sabe qué hacer con base en una práctica meditada. Son expertos los cirujanos que han alcanzado la meseta en la curva de aprendizaje, y no se obtiene mejoría con la repetición de la tarea. El experto es una fuente de conocimiento y de información para los demás. Busca mejores métodos y trabaja de manera intuitiva puesto que las destrezas han sido automatizadas. Respecto a la función motora, economiza movimientos, planifica y ejecuta las cirugías de una manera eficiente mientras que demuestra gran respeto por los tejidos. Los expertos también son más consistentes en su desempeño.

(Cates & Gallagher, 2012; Alaker et al., 2016; Gallagher et al., 2001; Davidson, 2002; Schout et al., 2010; Hall et al., 2003).

De igual manera, tampoco hay claridad sobre los límites de las definiciones de novato y nivel intermedio (Michael et al., 2014).

2.1.7.2 La curva de aprendizaje en MIS

Los cirujanos pueden desarrollar diferentes niveles de destrezas y la curva de aprendizaje demuestra la adquisición de estas. La curva de aprendizaje es una representación gráfica de la relación entre la experiencia que se tiene con un procedimiento y una variable de resultado tal como el tiempo operatorio o el porcentaje de complicaciones. Una forma de mostrar la curva de aprendizaje consiste en relacionar el nivel de desempeño con el tiempo de entrenamiento y el número de procedimientos realizados. La Figura 3 ilustra la relación entre el nivel de desempeño y el tiempo/número de procedimientos realizados.

Figura 3.
Relación entre el nivel de desempeño de los cirujanos versus el tiempo de entrenamiento/número de procedimientos

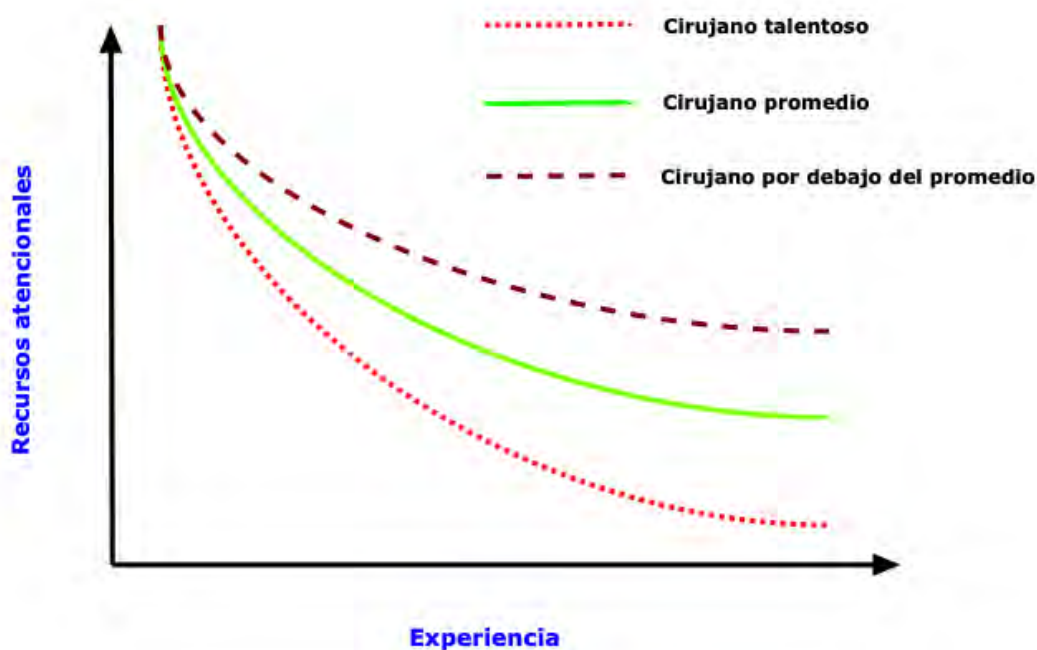


(Cates & Gallagher, 2012).

Otra manera de valorar la curva de aprendizaje utiliza la relación entre el uso de recursos de atención durante la realización de la tarea con el nivel de experiencia del cirujano. Los cirujanos expertos no usan los recursos de aprendizaje para realizar la tarea (ej. realización de un nudo intracorpóreo) sino que los utilizan para tomar decisiones en casos complejos o en prever el

próximo paso del procedimiento mientras realizan las tareas manuales de manera inconsciente y automática. La Figura 4 muestra un modelo hipotético de los recursos atencionales usados como función de la experiencia. La tasa de disminución de la utilización de recursos atencionales depende de la habilidad del cirujano (Gallagher, Ritter, Champion, et al., 2005; Ericsson, 2008).

Figura 4.
Relación entre los recursos atencionales y el nivel de experiencia del cirujano



(Gallagher, Ritter, Champion, et al., 2005).

En las Figuras 5 y 6, se ilustra el concepto de novato pre-entrenado (*“pre-trained novice”*) que se refiere a quien ha recibido entrenamiento mediante simulación hasta el punto de automatizar la mayoría de las destrezas psicomotoras y de juzgamiento espacial, lo que significa que el aprendiz ocupa de manera significativa menos recursos de atención, lo cual le permite enfocarse en aprender los pasos más significativos del acto operatorio, prever y manejar las complicaciones. El *“pre-trained novice”* no asiste al quirófano a refinar sus destrezas quirúrgicas. La automatización depende de las habilidades mentales y psicomotoras propias de cada persona y de su experiencia (Gallagher, Ritter, Champion, et al., 2005; Choy & Okrainec, 2010).

Figura 5.

Diferencias con respecto al uso de los recursos de atención entre el cirujano novato y el cirujano experto

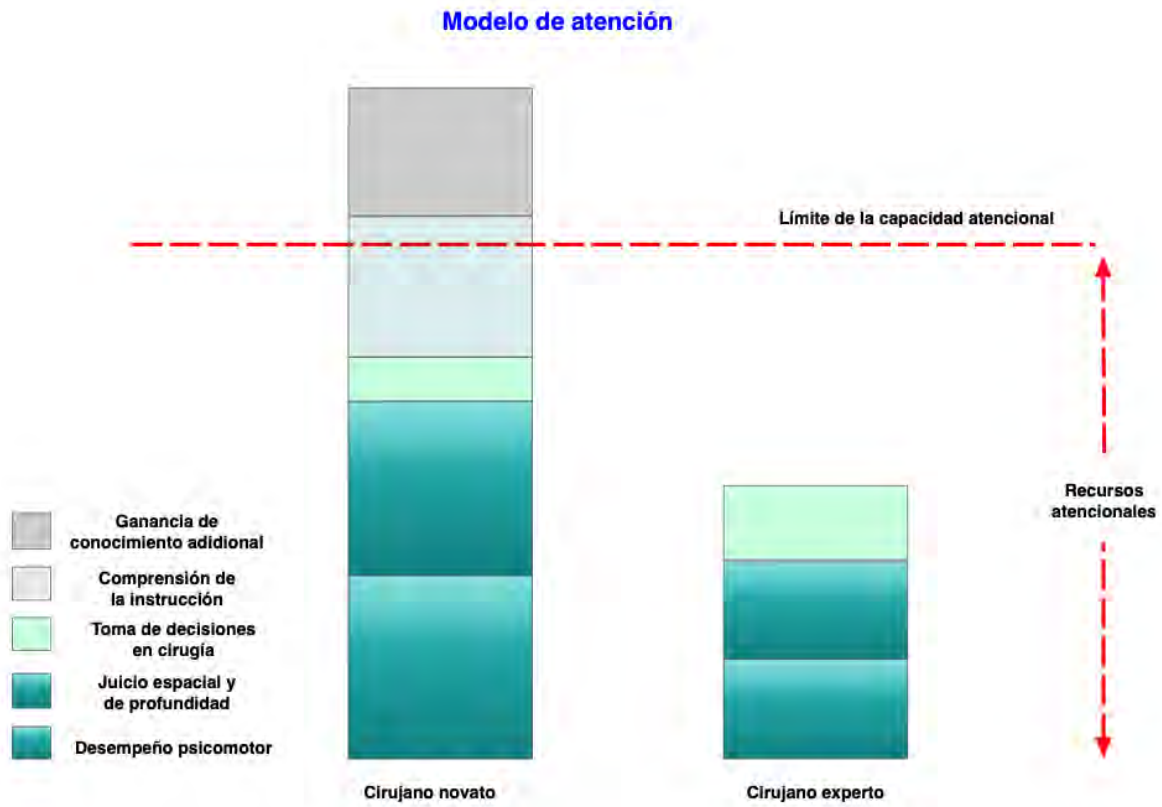
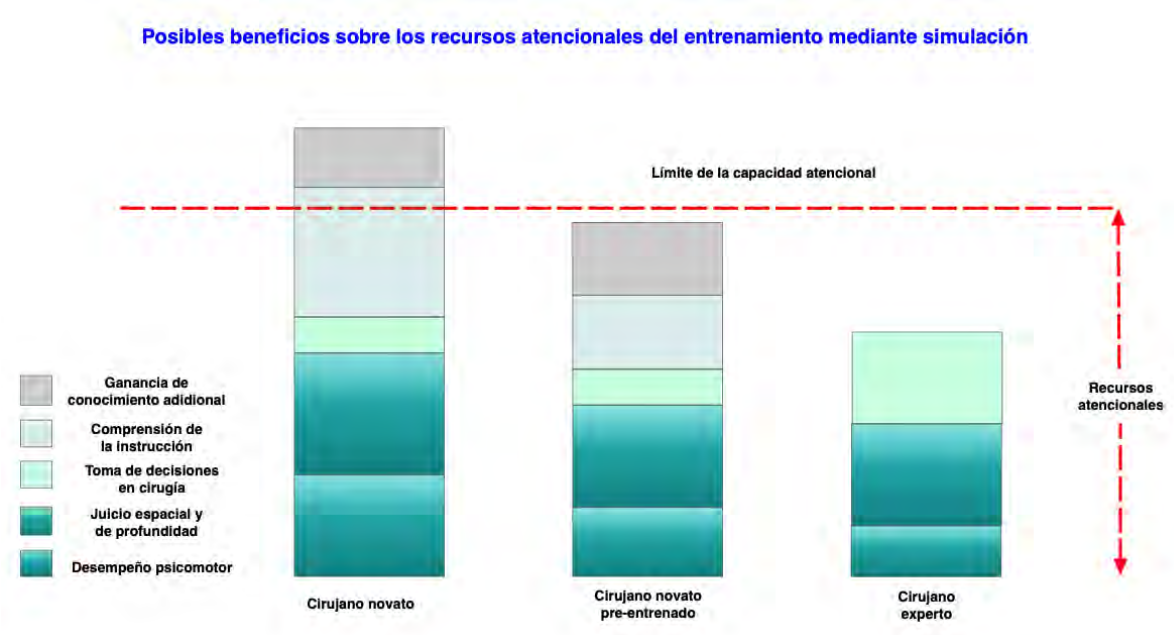


Figura 6.

Diferencias con respecto al uso de los recursos de atención entre un novato, un novato pre-entrenado y un cirujano experto



Las curvas de aprendizaje siguen una regularidad conocida como ley de potencia de la práctica ("*power law of practice*"). Esta ley describe la relación que hay entre la práctica y la habilidad para realizar la tarea. A medida que el número de intentos de práctica aumenta, el tiempo para completar la tarea disminuye pero con un ritmo decreciente lo cual resulta en una ley: $Time = Trials^{-\alpha}$, donde α representa la velocidad con la cual cambia el tiempo de desempeño. Este curva de aprendizaje describe un aspecto clave del comportamiento durante el aprendizaje, proporciona una fórmula matemática de la velocidad del aprendizaje y soporta la construcción de modelos de aprendizaje para tareas complejas que pueden ser divididas en componentes más pequeños (Kim et al., 2013).

En los aprendices novatos, la evaluación es formativa y se basa retroalimentar para guiar su desarrollo en el constructo. Las fuentes de evidencia de contenido y de proceso de respuesta son aceptables en este nivel.

A medida que se avanza en el aprendizaje (intermedio, ej, un residente de cirugía) el grado de experticia crece hasta un momento en el que no se adquiere nuevo conocimiento ni nuevas destrezas y por tanto el objetivo es dominar y lograr la experticia sobre el constructo a través de la práctica. La evaluación es aún formativa y proporciona evidencia de contenido, de proceso de respuesta, estructura interna y relacionada con otras variables.

En la última fase del aprendizaje y del entrenamiento, se debe demostrar que se ha alcanzado el nivel de experticia. La valoración será sumativa y el nivel de evidencia de validez está dado por contenido, proceso de respuesta, estructura interna relacionada con otras variables y de consecuencias de tal manera que se pueda predecir el desempeño en el quirófano (Andreatta & Gruppen, 2009).

2.2 “Minimally Invasive Surgery Training -Virtual Reality-” (MIST-VR)

En 1997, se desarrolló el “Minimally Invasive Surgery Training - Virtual Reality” (MIST-VR), el primer simulador comercial en MIS, como un proyecto conjunto entre VR Solutions Ltd., Virtual Presence Ltd. y North of England Wolfson Centre for Minimally Invasive Therapy con una filosofía de diseño de producir un entrenador y evaluador de procedimientos a un bajo costo y que proporcionara una gran variedad de datos para su análisis (Figura 7). Las imágenes abstractas permitían lograr un mayor número de cuadros por segundo y reducir los costos computacionales y económicos del sistema (Sutton et al., 1997; Wilson et al., 1997). Es considerado un simulador laparoscópico no procedimental con tareas que permiten adquirir destrezas psicomotoras básicas y no conocimiento teórico (Aggarwal et al., 2004; Carter et al., 2005). Según Wilson et al. (1997), las gráficas abstractas no distraen a los cirujanos con la apariencia de los órganos virtuales (fidelidad física vs. fidelidad psicológica). El MIST-VR no proporciona retroalimentación táctil (haptics), pero tiene un código de colores que sirve como guía visual. Por otra parte, es portátil, proporciona un análisis detallado del desempeño y permite el entrenamiento en solitario sin necesidad de instructores especializados (Kothari et al., 2002).

En la primera etapa de diseño, se hizo una evaluación ergonómica de las habilidades

psicomotoras para la realización del MIST-VR como resultado del trabajo conjunto entre cirujanos y psicólogos (Moorthy et al., 2003). Este ejercicio permitió identificar una serie de tareas parciales que constituían la caja de herramientas de habilidades necesarias para tomar los tejidos y manipularlos, para controlar los instrumentos con ambas manos y usar de manera apropiada el electrocauterio. La ventaja de trabajar con tareas parciales en vez de simulación anatómica de alta fidelidad, es que estas permiten el entrenamiento y el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas que son transversales a muchas disciplinas quirúrgicas (McCloy & Stone, 2001). Este tipo de tareas permiten a los aprendices novatos progresar de manera rápida en la fase temprana de la curva de aprendizaje de las destrezas psicomotoras básicas antes de aprender maniobras avanzadas.

El modelo original trabajaba sobre un procesador Pentium de 200 MHz con una memoria RAM de 32 Mb que se encontraba conectada a un soporte para dos instrumentos laparoscópicos con sensores de movimiento (Wilson et al., 1997). Se diseñó un área virtual de trabajo representada por un cubo tridimensional con un volumen de 10 cm³. Las gráficas utilizadas son simples y esto se hizo a propósito para facilitar el desempeño gráfico y disminuir el costo de los equipos de cómputo. Por otra parte, el producto se enfocó en la dinámica física de las habilidades psicomotoras más que en la simulación visual realista del ambiente quirúrgico (Sutton et al., 1997). Cada una de las tareas puede programarse con diversos grados de dificultad y el desempeño del aprendiz es grabado para ser evaluado por un experto, para la auto evaluación o para un análisis estadístico.

El MIST-VR tiene cinco módulos: tutorial, entrenamiento, examen, análisis y configuración.

Las tareas son seis: combinaciones de manipulación de instrumental, agarre de objetivos, manipulación y colocación de objetivo, transferencia de objetos entre los instrumentos, contacto con objetivos con o sin diatermia y retiro y recolocación de instrumental (McCloy et al., 1997; Sutton et al., 1997). Estas tareas se relacionan con las destrezas psicomotoras básicas.

La posición de la cámara y el tamaño de los objetivos pueden cambiarse y los objetivos aparecen de manera aleatoria en el espacio de trabajo. La métrica está dada por el tiempo, la

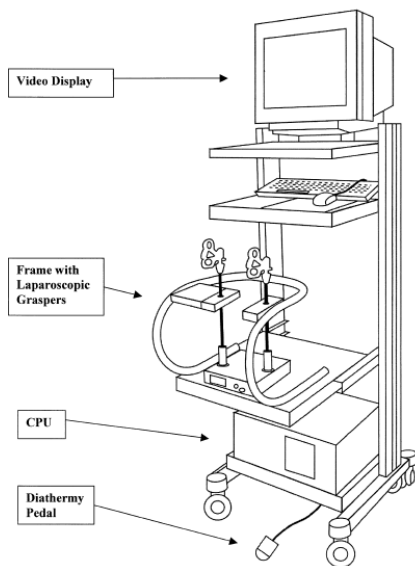
exactitud y los errores. Las tareas pueden ser configuradas con diferentes grados de dificultad y pueden ser guardadas en la librería para su re-uso posterior.

Las habilidades y las destrezas psicomotoras básicas necesarias en MIS son: navegación-coordinación-precisión "*aiming, targeting*", tocar "*touching*", agarrar "*grasping*", transferir "*transfer*", tracción "*stretching-traction*", translocación "*translocation*", navegación transversal "*transversal*", cauterio "*cautery*", manipulación del instrumental y destreza bimanual (Schijven & Jakimowicz, 2003a; Satava, Cuschieri, et al., 2003). Estas destrezas están representadas en las tareas originalmente planteadas en el MIST-VR.

La Tabla 10 describe los ejercicios originales del MIST-VR.

La Tabla 22 en el Anexo 3 resume los múltiples estudios que han sido publicados sobre la validez del MIST-VR.

Figura 7. El "Minimally Invasive Surgery Training -Virtual Reality-" (MIST-VR)



(McNatt & Smith, 2001)



(Kothari et al., 2002)

Tabla 10. Ejercicios originales del MIST-VR (Sutton et al., 1997)El Leap Motion Controller™ -LMC-

Tarea	Descripción	Evalúa la habilidad del estudiante para	Especificaciones de la tarea	Parámetros configurables
<p>Tarea 1. Adquisición (agarrar) y colocación de un objetivo.</p>	<p>La colocación exacta de objetos en un espacio 3-D se aplica a maniobras quirúrgicas tal como la colocación de clips de hemostasia. También se puede aplicar al uso de bolsa extractoras.</p>	<p>Tomar un objeto con una mano y moverlo hacia una nueva locación en el espacio de trabajo.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Centrar los instrumentos tocando una “caja de inicio” que está en el centro del volumen de trabajo. 2. Crear una esfera objetivo en una posición aleatoria en el entorno de trabajo. Pueden ser objetivos derechos o izquierdos. 3. El objetivo se toma con la herramienta apropiada. Solo se puede tomar con la punta de la pinza. 4. El instrumento se bloquea y el objetivo queda asegurado. 5. Se crea un punto objetivo. 6. El objeto se mueve hacia una nueva posición y se libera. Si el ejercicio es exitoso, desaparece el objetivo. 7. La tarea se repite un número definido de veces. 	<p>Posición de la cámara, tamaño del objetivo, tamaño de la caja, repeticiones, lateralidad manual (diestro o zurdo).</p>
<p>Tarea 2. Transferencia y colocación de un objetivo.</p>	<p>En muchos procedimientos quirúrgicos, se debe transferir un objeto de un instrumento a otro. Ej. el traspaso de una aguja entre una pinza y un porta-agujas.</p>	<p>Tomar un objeto, transferirlo a otro instrumento y colocarlo en el sitio adecuado.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Centrar los instrumentos tocando una “caja de inicio” que está en el centro del volumen de trabajo. 2. Crear una esfera objetivo (derecha o izquierda) en una posición aleatoria en el espacio de trabajo. 3. El objetivo se toma con la herramienta apropiada. Sólo se puede tomar con la punta de la pinza. 4. El instrumento se bloquea y el objetivo queda asegurado. 5. El objeto se transfiere a la otra pinza. La interacción del objetivo con sitios diferentes de la pinza a su punta disminuye el puntaje de exactitud. 6. El objeto se toma con la otra pinza. 7. Se hace una caja objetivo en el espacio. 8. El objeto se coloca en esta caja y se libera. 9. La tarea se repite un número definido de veces. 	<p>Posición de la cámara, tamaño del objetivo, tamaño de la caja, repeticiones, lateralidad manual (diestro o zurdo).</p>

Tarea	Descripción	Evalúa la habilidad del estudiante para	Especificaciones de la tarea	Parámetros configurables
Tarea 3. Objetivo transversal.	La transferencia secuencial entre instrumentos de prensión permite “caminar” a lo largo de la vesícula biliar hasta alcanzar el cuello; otro ejemplo es la exploración del intestino delgado. Esta tarea combina las habilidades de la tarea 1 y de la tarea 2.	Avanzar a lo largo de un objeto dentro del campo de trabajo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Centrar los instrumentos tocando una “caja de inicio” que está en el centro del volumen de trabajo. 2. Generar un objeto de manera aleatoria. El objeto consiste en un cilindro dividido en varios segmentos. 3. La parte superior del cilindro se toma con la punta de un instrumento. 4. El instrumento se asegura. 5. El siguiente segmento se toma con el otro instrumento y se libera el instrumento usado con anterioridad. 6. Se repite el procedimiento de manera secuencial hasta que se tomen todos los segmentos. 7. La tarea se repite un número definido de veces. 	Posición de la cámara, tamaño del objetivo, tamaño de la caja, repeticiones, lateralidad manual (diestro o zurdo).
Tarea 4. Retiro y re inserción del instrumental.	El cambiar un instrumento por otro y reinsertar el nuevo instrumental de manera rápida y exacta es una habilidad clave en MIS. Ej. un instrumento estabiliza el cuello de la vesícula biliar mientras se remueve el otro instrumento durante la colocación de clips.	Remover un objeto del campo operatorio y reinsertarlo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Centrar los instrumentos tocando una “caja de inicio” que está en el centro del volumen de trabajo. 2. Generar una esfera objetivo (derecha o izquierda) en una posición aleatoria dentro del espacio de trabajo. 3. El objeto se toma con el instrumento apropiado. 4. El instrumento opuesto hace contacto con el objetivo. Luego del contacto, se retira del campo de trabajo. 5. Una vez esté por fuera del campo de trabajo, el instrumento se reintroduce para hacer contacto con el objetivo. La colisión accidental con el objeto o con el otro instrumento disminuye el puntaje en la exactitud. 6. La tarea se repite un número definido de veces. 	Posición de la cámara, tamaño del objetivo, tamaño de la caja, repeticiones, lateralidad manual (diestro o zurdo).

Tarea	Descripción	Evalúa la habilidad del estudiante para	Especificaciones de la tarea	Parámetros configurables
Tarea 5. Diatermia	Representa el uso preciso de la diatermia para controlar un sangrado	Adquirir un objetivo y aplicar diatermia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Centrar los instrumentos tocando una "caja de inicio" que está en el centro del volumen de trabajo. 2. Generar una esfera objetivo (derecha o izquierda) en una posición aleatoria dentro del espacio de trabajo. 3. La esfera tiene tres sub-objetivos en su superficie y cuando se realice un contacto "limpio" se aplicará la diatermia que hará desaparecer los sub-objetivos. Se utilizarán claves visuales 4. Se deben remover los tres sub-objetivos. 5. La tarea se repite un número definido de veces 	Posición de la cámara, tamaño del objetivo, tamaño de la caja, repeticiones, lateralidad manual (diestro o zurdo).
Tarea 6. Manipulación del objetivo y diatermia.	Reemplazo de un fórceps de disección por un gancho de diatermia para controlar de manera exacta un sangrado. Esta tarea combina las habilidades de las tareas 4 y 5.	Habilidad para obtener un objetivo y manipularlo mientras se sostiene con el otro instrumento dentro de una locación específica.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Centrar los instrumentos tocando una "caja de inicio" que está en el centro del volumen de trabajo. 2. Generar una esfera objetivo en una posición aleatoria dentro del espacio de trabajo. 3. El objeto se toma con el instrumento apropiado. 4. El instrumento opuesto se retira del campo de trabajo y este hecho activa la aparición de sub-objetivos en la esfera. 5. Se reintroduce el instrumento opuesto y se aplica diatermia como en la tarea 5 pero en esta ocasión se debe mantener la posición del objeto dentro de la caja. Contacto accidental con el objetivo principal o con el otro instrumento disminuirá el puntaje de la exactitud. 6. La tarea se repite alternando las manos. 	Posición de la cámara, tamaño del objetivo, tamaño de la caja, repeticiones, lateralidad manual (diestro o zurdo).

Las Interfaces Gráficas de Usuario (*Graphical User Interfaces - GUI*) han evolucionado hasta convertirse en un estándar de la interacción humano-computadora. Las pantallas táctiles son muy populares pero requieren contacto físico. Las Interfaces de Usuario Naturales ("*Natural User Interfaces - NUI*") o las Interfaces de Usuario Basadas en Gestos ("*Gesture-Based User Interfaces - GBUI*") están diseñadas para usar los comportamientos humanos como una manera de interactuar con la computadora y con los entornos virtuales 3D. Uno de estos comportamientos son los gestos de las manos. Los métodos de adquisición de gestos pueden ser divididos en los métodos que incorporan un dispositivo específico que el usuario puede sostener físicamente o anexas a su cuerpo (ej. guantes o marcadores) y en los métodos libres de manos/cuerpo, es decir que no requieren contacto físico. Hasta la aparición de dispositivos de interacción basados en gestos sin contacto, destinados al mercado de los juegos, existían grandes limitaciones para el uso de esta tecnología como el alto costo, la inexactitud y la complejidad de su configuración. Los usuarios pueden interactuar con el entorno virtual de una manera natural con su mano o movimientos del cuerpo sin la necesidad de realizar comandos complejos. Los nuevos dispositivos de interacción tienen como características ser directos, fluidos y de respuesta inmediata (Ren & O'Neill, 2013). En noviembre de 2010, fue lanzado el Microsoft Kinect, un sistema de cámara de profundidad para ser utilizado con la consola de juegos Xbox 360 (Microsoft Corp, USA), en 2010 el LMC y en julio de 2013 el Myo armband™ (Thalmic Labs, USA).

En 2012, fue lanzado el *Leap Motion Controller*™ (LMC) (Leap Motion Inc., San Francisco, CA, USA) que es un sensor para seguimiento óptico infrarrojo, "*Stereo Vision Accuracy*" con unas dimensiones de 76 mm x 30 mm x 13 mm y un peso de 45 grs (Figuras 8 y 9). Junto con su Application Programmer Interface (API) detecta las posiciones de objetos predefinidos (manos, dedos, instrumentos finos, lápices) en un plano Cartesiano en tiempo real y reporta posiciones discretas, gestos y movimiento. El sistema consiste en tres emisores de luz infrarroja y dos cámaras infrarrojas (Weichert et al., 2013; Rosa & Elizondo, 2014; Ogura, Sato, et al., 2014; Bachmann et al., 2015; Ebert et al., 2014). La zona de interacción del LMC es un cono invertido de aproximadamente 0.23 m³ y el rango de detección de movimiento fluctúa entre 20-600 mm

(Mauser & Burgert, 2014) (Ogura, Ishida, et al., 2014; Ogura et al., 2015). Los creadores del dispositivo aseguran que tiene una exactitud de 1.2 mm en todas las direcciones, con un campo de visión de 150° y una actualización de la información de la posición de 200 veces por segundo. El fabricante describe una exactitud de 0.01 mm para la detección de la punta de los dedos. En un estudio experimental en el que se utilizó un brazo robótico con una exactitud de 0.2 mm, se obtuvo una exactitud de menos 2.5 mm (promedio de 1.2 mm) independientemente del plano. La desviación estándar fue menor de 0.7 mm por cada eje; si bien no fue posible replicar la exactitud teórica descrita por los desarrolladores de 0.01 mm la exactitud promedio de 0.7 mm lograda bajo condiciones reales se puede considerar de alta precisión y es superior a la que se puede alcanzar mediante el Microsoft Kinect™ (Weichert et al., 2013; Guna et al., 2014).

Figura 8. El Leap Motion Controller™



Leap Motion Controller™ <https://blog.leapmotion.com/designing-leap-motion-controller/>

Figura 9. Disposición interna de los tres emisores LED de luz infrarroja y de las dos cámaras



Fuente: <https://blog.leapmotion.com/designing-leap-motion-controller/>

Capítulo 3 Publicaciones

El autor principal de los artículos publicados es Fernando Álvarez López, seguido de Marcelo Fabián Maina y de Francesc Saigí Rubió. En el tercer artículo, se incluyó como tercer autor a Fernando Arango Gómez y Saigí Rubió figuró en el cuarto lugar. En todos los casos, el “corresponding author” fue el Profesor Francesc Saigí Rubió. En todos los casos el autor de esta tesis fue el responsable directo y principal de la autoría y escritura de los artículos de investigación y los profesores Saigí y Maina actuaron como primeros revisores y correctores de cada uno de los artículos antes de ser enviados a los editores de las revistas.

La revista *Surgical Innovation: Advances in Minimally Invasive Surgical Science, Technology and Training*, es una publicación Q2 con un SJR de 0.568, que se enfoca en la revolución que la MIS y sus técnicas, nuevos instrumentos como laparoscopios, endoscopios y robots y que las nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, la realidad virtual y la medicina personalizada han traído al arte, la ciencia y el negocio de la cirugía.

El *Journal of Medical Internet Research (JMIR)* es una publicación Q1 líder en informática médica y ocupa el primer puesto entre 26 publicaciones en el área. El factor de impacto en 2019 era 5.03. La publicación se enfoca en tecnologías emergentes, dispositivos médicos, app y aplicaciones de ingeniería e informática para educación de los pacientes, prevención, salud pública y cuidado clínico.

El *JMIR Serious Games (JSG, ISSN 2291-9279)* es una publicación Q2, con un factor de impacto en junio de 2020 de 3.53. Es multidisciplinaria y se dedica a las aplicaciones (para computadoras, web, realidad virtual, teléfonos móviles) que incorporan elementos de juego, o nuevas

plataformas de hardware para resolver problemas como promoción del ejercicio, rehabilitación médica, educación médica, etc.

Las cuatro publicaciones siguen un hilo conductor lógico y una relación de continuidad con respecto a la construcción del conocimiento que se resume en la Tabla 11. El orden de las publicaciones va de lo general a lo particular. Comienza por una carta al editor, (anexo 4) seguida por el estado del arte de los COT mediados por gestos en la cirugía y de la simulación para la enseñanza y aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS. A continuación, de acuerdo con un dispositivo reconocido en la revisión sistemática, el LMC, se desarrolló un prototipo funcional de un simulador con retroalimentación y métrica. Finalmente, fue un estudio fue prospectivo y observacional del artefacto (SIMISGEST-VR) como herramienta para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS. La Tabla 11 describe en detalle las características y relevancia de las publicaciones producidas durante el proyecto doctoral.

Tabla 11.
Relevancia de las publicaciones

	Publicación 1	Publicación 2	Publicación 3	Publicación 4
Título	“Natural User Interfaces: Is It a Solution to Accomplish Ubiquitous Training in Minimally Invasive Surgery?” Alvarez-Lopez, Maina & Saigí-Rubió (Alvarez-Lopez et al., 2016) (Véase Anexo 4).	“Use of commercial off-the-shelf devices for detection of manual gestures in surgery. A Systematic Literature Review” Alvarez-Lopez, Maina & Saigí-Rubió (Alvarez-Lopez et al., 2019).	“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” Alvarez, Maina & Saigí-Rubió (Alvarez, Maina, & Saigí, 2020).	“Use of a Low-Cost Portable 3D Virtual Reality Simulator for Psychomotor Skill Training in Minimally Invasive Surgery: Task Metrics and Score Validity” Alvarez, Maina, Arango & Saigí (Alvarez, Maina, Arango & Saigí, et al., 2020).
Revista	<i>Surgical Innovation</i>	<i>Journal of Medical Internet Research (JMIR)</i>	<i>Journal of Medical Internet Research (JMIR)</i>	<i>JMIR Serious Games</i>
Año	2016	2019	2020	2020
Index y cuartil	Índice de impacto (SCI / SSC): 1.909 Cuartil y área (SCI / SSC): Q2. Surgery Otros indicadores de calidad: SJR 2016: 0536; Q2 Surgery	Índice de impacto 2019 (SCI / SSC): 4.671 Cuartil y área (SCI / SSC): Q1, Health Care Sciences & Services /SCIE; Medical Informatics / SCIE Otros indicadores de calidad: SJR 2019: 2.112 Q1, Health Informatics	Índice de impacto 2018 (SCI / SSC): 5,03 Cuartil y área (SCI / SSC): Q1, Health Care Sciences & Services / SCIE; Medical Informatics / Otros indicadores de calidad: SJR 2017: 2.112 Q1, Health Informatics	Índice de impacto 2020 (SCI / SSC): 3,53 Cuartil y área (SCI / SSC): Q2, Medical Informatics
Objeto de estudio	La carta al editor fue una declaración de interés acerca de trabajar en el campo de las interfaces de usuario mediadas por gestos para el desarrollo de un simulador de realidad virtual y de bajo costo en MIS.	Dispositivos COTS para el reconocimiento de gestos en cirugía y en simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS	Desarrollo de un artefacto simulador de realidad virtual mediado por gestos con el dispositivo LMC para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS	Someter a un proceso de validación un simulador de realidad virtual mediado por gestos con el dispositivo LMC para adquirir destrezas psicomotoras básicas en MIS

Impacto en Google Scholar	(Saigi-Rubio et al., 2017) Saigi-Rubio, F., Novillo-Ortiz, D., & Piette, J. D. (2017). CYTED-RITMOS network: toward the search for solutions to promote mobile health in Latin America. <i>Revista Panamericana de Salud Publica</i> , 41(2).	(Dennis & Patterson, 2020) Dennis, O. P., & Patterson, R. M. (2020). Medical virtual reality. <i>Journal of Hand Therapy</i> , 33(2), 243–245. https://doi.org/10.1016/j.jht.2020.02.003	(Alvarez-Lopez, Maina, Arango, et al., 2020) Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., Arango, F., & Saigi-Rubio, 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. <i>JMIR Serious Games</i> , 8(4), e19723. https://doi.org/10.2196/19723
	(Alvarez-Lopez et al., 2019) Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., & Saigi-Rubio, F. (2019). Use of commercial off-the-shelf devices for the detection of manual gestures in surgery: Systematic literature review. In <i>Journal of Medical Internet Research</i> (Vol. 21, Issue 5, p. e11925). https://doi.org/10.2196/11925	(Bockhacker et al., 2020) Bockhacker, M., Syrek, H., Elstermann Von Elster, M., Schmitt, S., & Roehl, H. (2020). Evaluating Usability of a Touchless Image Viewer in the Operating Room. <i>Applied Clinical Informatics</i> , 11(1), 88–94. https://doi.org/10.1055/s-0039-1701003	
	(Bermello et al., 2019) Bermello, M., Zuñiga, D. O., Zuñiga, V. G., Luna, J. A. S., & Burgos, A. D. E. (2019). La Tecnología y el Compromiso Individual del Autocuidado Sobre Riesgos para Desarrollar Diabetes en Adultos Mayores The Technologies and the Individual Commitment of self-help on Risks to Develop Diabetes in Older Adults. <i>Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información</i> , 18, 181–190.	(Alvarez-Lopez, Maina, & Saigi-Rubio, 2020) Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., & Saigi-Rubio, 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. <i>Journal of Medical Internet Research</i> , 22(7). https://doi.org/10.2196/17491	
	(Ferreira et al., 2020). Ferreira, S. C., Chaves, R. O., Seruffo, M. C. da R., Pereira, A., Azar, A. P. D. S., Dias, Á. V., Santos, A. de A. S. dos, & Brito, M. V. H. (2020). Empirical Evaluation of a 3D Virtual Simulator of Hysteroscopy Using Leap Motion for Gestural Interfacing. <i>Journal of Medical Systems</i> , 44(11), 1–10. https://doi.org/10.1007/s10916-020-01662-y	(Alvarez-Lopez, Maina, Arango, et al., 2020) Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., Arango, F., & Saigi-Rubio, 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. <i>JMIR Serious Games</i> , 8(4), e19723. https://doi.org/10.2196/19723	

<p>(Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020) Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., & 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. <i>Journal of Medical Internet Research</i>, 22(7). https://doi.org/10.2196/17491</p> <p>(Alvarez-Lopez, Maina, Arango, et al., 2020) Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., Arango, F., & 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. <i>JMIR Serious Games</i>, 8(4), e19723. https://doi.org/10.2196/19723</p> <p>(Bermello & Calderón, 2020) Bermello & Calderón (2020). Conocimientos, actitudes y prácticas sobre riesgos para desarrollar diabetes en adultos mayores, Barrio 18 de Octubre. <i>Machala 2018-2019</i>. In <i>Tesis de Maestría en Salud Pública</i>.</p>	<p>No disponible</p>	<p>Simulación en cirugía Dispositivos COTS en cirugía y en simulación en cirugía</p>	<p>Teoría del DBR Simulación para el para el aprendizaje de destrezas en MIS</p>	<p>Teoría del DBR Validación de simuladores en cirugía. Simulación para adquirir destrezas en MIS: principios de diseño de hardware y software</p>	<p>Cuantitativa Metodología del DBR de Manson (2006) y (Vaishnavi et al., 2009) Framework de validez y validación según Messick (1995a) (Messick, 1995b) En el estudio, participaron 100 estudiantes de pregrado, 20 residentes y 28 expertos.</p>
<p>No disponible</p>	<p>No disponible</p>	<p>Cuantitativa AMSTAR (Shea et al., 2007) PRISMA (Liberati et al., 2009)</p>	<p>Cuantitativa Metodología general del DBR propuesta por Manson (Manson, 2006) y (Vaishnavi et al., 2009)</p>	<p>Cuantitativa Validación de validez y validación según Messick (1995a) (Messick, 1995b)</p>	<p>86 artículos 30 participantes respondieron cuestionarios sobre fidelidad al criterio del instrumento y de validez de contenido.</p>
<p>No disponible</p>	<p>No disponible</p>	<p>86 artículos</p>	<p>30 participantes respondieron cuestionarios sobre fidelidad al criterio del instrumento y de validez de contenido.</p>	<p>En el estudio, participaron 100 estudiantes de pregrado, 20 residentes y 28 expertos.</p>	<p>En el estudio, participaron 100 estudiantes de pregrado, 20 residentes y 28 expertos.</p>

El marco teórico de cada artículo varió de acuerdo con el tema estudiado. La revisión sistemática de la literatura incluyó como marcos teóricos los temas de simulación en cirugía en general y el uso de dispositivos COTS de no contacto en cirugía. El artículo sobre el desarrollo del artefacto ("*instantiation*") incluyó como marco teórico la teoría del DBR (Lacerda et al., 2013; Dresch et al., 2015), la metodología general del DBR propuesta por Manson (2006; Vaishnavi et al., 2009) y la simulación para el para el aprendizaje de destrezas en MIS. El tercer artículo incluyó como marcos teóricos el DBR, la validación de simuladores en cirugía (Messick, 1995a; Messick, 1995b) y la simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS.

3.1 Publicación 01: Use of comercial off-the-shelf devices for the detection of manual gestures in surgery: systematic literature review

Review

Use of Commercial Off-The-Shelf Devices for the Detection of Manual Gestures in Surgery: Systematic Literature Review

Fernando Alvarez-Lopez^{1,2*}, MD; Marcelo Fabián Maina^{3*}, PhD; Francesc Saigi-Rubió^{1*}, PhD

¹Faculty of Health Sciences, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Spain

²Faculty of Health Sciences, Universidad de Manizales, Caldas, Colombia

³Faculty of Psychology and Education Sciences, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Spain

*all authors contributed equally

Corresponding Author:

Francesc Saigi-Rubió, PhD

Faculty of Health Sciences

Universitat Oberta de Catalunya

Avinguda del Tibidabo 39-43

Barcelona, 08035

Spain

Phone: 34 933263622

Email: fsaigi@uoc.edu

Abstract

Background: The increasingly pervasive presence of technology in the operating room raises the need to study the interaction between the surgeon and computer system. A new generation of tools known as commercial off-the-shelf (COTS) devices enabling touchless gesture-based human-computer interaction is currently being explored as a solution in surgical environments.

Objective: The aim of this systematic literature review was to provide an account of the state of the art of COTS devices in the detection of manual gestures in surgery and to identify their use as a simulation tool for motor skills teaching in minimally invasive surgery (MIS).

Methods: For this systematic literature review, a search was conducted in PubMed, Excerpta Medica dataBASE, ScienceDirect, Espacenet, OpenGrey, and the Institute of Electrical and Electronics Engineers databases. Articles published between January 2000 and December 2017 on the use of COTS devices for gesture detection in surgical environments and in simulation for surgical skills learning in MIS were evaluated and selected.

Results: A total of 3180 studies were identified, 86 of which met the search selection criteria. Microsoft Kinect (Microsoft Corp) and the Leap Motion Controller (Leap Motion Inc) were the most widely used COTS devices. The most common intervention was image manipulation in surgical and interventional radiology environments, followed by interaction with virtual reality environments for educational or interventional purposes. The possibility of using this technology to develop portable low-cost simulators for skills learning in MIS was also examined. As most of the articles identified in this systematic review were proof-of-concept or prototype user testing and feasibility testing studies, we concluded that the field was still in the exploratory phase in areas requiring touchless manipulation within environments and settings that must adhere to asepsis and antisepsis protocols, such as angiography suites and operating rooms.

Conclusions: COTS devices applied to hand and instrument gesture-based interfaces in the field of simulation for skills learning and training in MIS could open up a promising field to achieve ubiquitous training and presurgical warm up.

(*J Med Internet Res* 2019;21(5):e11925) doi:[10.2196/11925](https://doi.org/10.2196/11925)

KEYWORDS

minimally invasive surgery; user-computer interface; operating room; education; medical; computer-assisted surgery



Introduction

Background

The increasingly pervasive presence of technology in the operating room raises the need to study the interaction between the surgeon and computer system. In sterile environments, using the hand to operate a mouse, keyboard, or touchscreen is unacceptable as it alters the normal pace of surgery and breaks asepsis and antisepsis protocols [1-6]. Using a physical barrier between the surgeon's gloves and the interaction device [7], or the foot for manipulation, are not practical solutions either, as they do not allow fine interaction and carry risks of contamination [8]. Moreover, using a person to manipulate images in accordance with the surgeon's verbal instructions has proven difficult and is prone to giving rise to misunderstandings when the visualization of specific areas of the image are requested [9,10].

Early solutions to circumvent any contact between the surgeon and computer were based on voice recognition Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (AESOP) and HERMES (Stryker Europe) [11,12], but these systems were impractical as they were difficult to use when performing complex tasks [13]. Natural user interfaces were first developed in the 1990s to enable interaction with the computer through natural human movements to manipulate radiological images in sterile surgical environments [14]. Gesture-based interfaces were another variant [15]. These enabled touchless manipulations to be performed and held great promise as a viable solution in the operating room and autopsy suites [10,16-19]. However, they could not be employed in sterile environments as they required some contact when gloves or position sensors were used [20-24].

Early attempts to use touchless gestures in minimally invasive surgery (MIS) involved hand and facial gestures [9,25]. Gesture recognition systems with Web and video cameras were later described [26,27] using the time-of-flight principle [28] and achieving interaction with the OsiriX viewer [17,29]. However, these systems were very expensive and inaccurate and required calibration and a complex setup, making them impractical for use in the operating room [30].

A new generation of tools known as commercial off-the-shelf (COTS) devices enabling touchless gesture-based human-computer interaction is currently being explored as a solution in surgical environments. The term COTS refers to a device that can be taken from a shelf, that is, sold over the counter. In addition to being low-cost, wireless, and ergonomic, they facilitate real-time interactivity and allow the user to point to and manipulate objects with 6 degrees of freedom [31]. Hansen et al described the use of the Wii Remote (Nintendo) for the intraoperative modification of resection planes in liver surgery [32], whereas Gallo et al used it for pointing to and manipulating 3-dimensional (3D) medical data in a number of ways [31,33-36]. However, intraoperative manipulation of the device required it to be wrapped in a sterile bag, thus eliminating the concept of contactless. In November 2010, the Microsoft Kinect (MK) 3D depth camera system (Microsoft Corp) was launched as a device for the Xbox 360 games console. The first

descriptions of MK for medical use were in relation to physical and cognitive rehabilitation [37]. Subsequent experiences in this field showed that additional studies were required on issues such as effectiveness, commitment, and usability [38-40]. Its use in an operating room was first reported in 2011, at Sunnybrook Hospital in Toronto, when it was used to view magnetic resonance imaging and computed tomography scans, eventually giving rise to the GestSure system [13]. In 2012, the Leap Motion Controller (LMC; Leap Motion Inc) was launched, and in July 2013, the Myo armband (Thalmic Labs) was launched.

Construct validity [41,42], concurrent validity [43,44], and predictive validity [45,46] studies, as well as systematic reviews [47,48], have shown that simulation in virtual reality environments is an effective tool for motor skills learning in MIS. However, the high cost of virtual reality and augmented reality simulators calls for the development of new, portable low-cost solutions enabling ubiquitous learning. New COTS technologies that allow hand gestures and instrument movements to be detected open up an interesting field of exploration for the development and validation of new simulation models in virtual environments. One of the objectives of this systematic review was to recognize the existence of developments in this area.

Objectives

The aim of this systematic review was to provide an account of the state of the art of COTS devices in the detection of manual gestures in surgery and to identify their use as a simulation tool for motor skills teaching in MIS.

Methods

Article Retrieval

A search was conducted in the electronic databases PubMed, Excerpta Medica database (EMBASE), ScienceDirect, Espacenet, OpenGrey, and the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) for articles published between January 2000 and December 2017, using combinations of the following Medical Subject Headings (MeSH) terms: *surgery*, *computer simulation*, *simulation training*, *laparoscopy*, *minimally invasive surgical procedures*, *robotic surgical procedures*, and *virtual reality*. The following were used as free terms: *commercial off-the-shelf*, *COTS*, *surgical education*, *surgical simulation*, *Wii*, *Microsoft Kinect*, *Xbox Kinect*, *Leap Motion*, *Leap Motion Controller*, *Myo armband*, and *gesture control*. The search strategy used a combination of MeSH terms and free terms. Boolean operators (AND and OR) were used to expand, exclude, or join keywords in the search. The devised strategy was applied first to PubMed and then to the remaining databases.

The search was limited to English-language publications and was complemented using the snowballing technique to identify relevant articles in the references of articles returned by our search [49]. A manual search was also conducted on the indices of the following publications: *Surgical Endoscopy*, *Surgical Innovation*, *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies*, the *Journal of Medical Internet Research*, and the *Journal of Surgical Education*. The snowballing search and

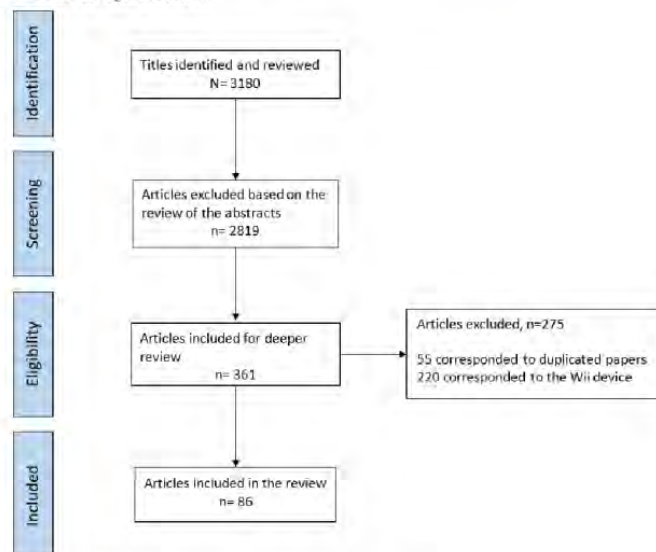
the manual reviews enabled the retrieval of conference proceedings, letters to the editor, and simple concept descriptions. A Measurement Tool to Assess systematic Reviews (AMSTAR) [50] and Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) [51] checklists were used to ensure the quality of the review. In total, 3 authors assessed the risk of bias. Disagreement on bias assessment and the interpretation of results was resolved by consensus discussions.

Study Selection

A total of 3180 studies were identified, and the abstracts were reviewed to determine whether they met the inclusion and exclusion criteria. The inclusion criteria were (1) original research articles, (2) proof-of-concept or prototype user testing and feasibility testing studies, (3) studies conducted in surgical

environments (preoperative, intraoperative, or postoperative), and (4) studies carried out in real or simulated surgical settings. The exclusion criteria were (1) studies on COTS devices requiring hand contact, (2) studies conducted in nonsurgical clinical environments, and (3) studies on the technical description of devices that did not include criteria of clinical usability, feasibility, or acceptance as an outcome. Studies on COTS devices requiring hand contact (ie, Wii) were excluded from the analysis. After the first review of the titles and abstracts, 361 studies were selected, 220 of which corresponded to the Wii device and were therefore discarded. Of the 141 remaining articles, 55 were duplicate references. After reading the full texts of these studies, 86 were deemed to have met the search selection criteria. The search and selection processes are summarized in Figure 1.

Figure 1. Flow diagram of studies through the review.



We used a standardized form for data extraction, which included the following items: study, device on which the study was conducted, year of publication, aim, type of study, intervention, metrics, sample, and results and conclusions; clinical areas in which the study was conducted and types of surgical intervention (Tables 1-4) (see Multimedia Appendices 1-3 for the full Tables 1-3) and use of gesture-based COTS devices in surgery (Table 5). In total, 2 authors (FAL and MM) screened all the articles individually. Discrepancies were always resolved through discussion with the senior author (FSR) whenever necessary. All the data were analyzed qualitatively and quantitatively.

Results

Of the 86 articles identified, 43 (50%) were on MK, 31 (36%) were on the LMC, 2 compared MK with the LMC [77,113], 1 compared the LMC with the Myo armband [58], 1 compared MK with the LMC and the Myo armband [52], 6 were on web, video, or commercial cameras (7%), and 2 reviewed gesture interaction in general [59,65]. The data and detailed information on the studies reviewed are shown in Tables 1-3 (see Multimedia Appendices 1-3 for the full Tables 1-3). The results are organized by the type of COTS device used (Tables 1-3, see Multimedia Appendices 1-3 for the full Tables 1-3), by the type of surgical specialties in which COTS devices were used (Table 4), and by the type of use made of COTS devices in surgery, including simulation for motor skills learning (Table 5).

Table 1. Summary of included studies evaluating Microsoft Kinect.

Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[17]	To describe a system for the interactive exploration of medical images through a gesture-controlled interface using MK ^a .	Proof-of-concept.	Manipulation of CT ^b , MRI ^c and Positron emission tomography images.	Not described.	As the interface does not require direct contact or calibration, it is suitable for use in the operating room.
[99]	To explore the potential simplifications derived from using 3D ^d sensors in medical augmented reality applications by designing a low-cost system.	Proof-of-concept.	Augmented reality in Medicine.	Not described.	The concept is feasible but the whole process is still too time-consuming to be executed in real time.
[101]	To present an augmented reality magic mirror for anatomy teaching.	Proof-of-concept.	Augmented reality in Medicine, Anatomy education.	A hospital and a school.	The system can be used for educational purposes, to improve communication between doctor and patients. A possible use for anatomy teaching in surgery is not mentioned.
[5]	To evaluate the response time and usability (gestures and voice commands) compared with mouse and keyboard controls.	Prototype user testing and feasibility testing.	Manipulation of CT images.	2 radiologists and 8 forensic pathologists who recreated 12 images.	Users took 1.4 times longer to recreate an image with gesture control and rated the system 3.4 out of 5 for ease of use in comparison with the keyboard and mouse. The voice recognition system did not work properly.
[84]	To develop a system to allow the surgeon to interact with the standard PACS system during sterile surgical management of orthopedic patients.	Proof-of-concept.	Manipulation of radiological images in orthopedics.	Not described.	This is the first example of this technology being used to control digital X-rays in clinical practice.
[83]	To present a sterile method for the surgeon to manipulate images using touchless freehand gestures.	Experiment.	Manipulation of MRI images.	9 veterinary surgeons, 22 students.	The hypothesis that contextual information integrated with hand trajectory gesture information can significantly improve the overall recognition system performance was validated. The recognition accuracy was 98.7%.
[76]	To evaluate an MK-based interaction system for manipulating imaging data using 'Magic Lens visualization.'	Proof-of-concept in the operating room.	Manipulation of radiological images.	A laryngoplasty.	The surgeon can manipulate the preoperative information with the intraoperative video and the simulations to correctly place the implant.
[79]	To compare the accuracy and speed of interaction of MK with that of a mouse. To study the performance of the interaction methods in rotation tasks and localization of internal structures in a 3D dataset.	User testing.	Manipulation of radiological images.	15 users.	The gesture-based interface outperformed the traditional mouse with respect to time and accuracy in the orientation and rotation task. The mouse was superior in terms of accuracy of localization of internal structures. However, the gesture-based interface was found to have the fastest target localization time.
[74]	To develop a user-friendly touchless system for controlling the presentation of medical images based on hand gesture recognition in the operating room.	Proof-of-concept in the operating room.	Manipulation of radiological images in orthopedic surgery.	Not described.	The system does not require calibration and was adapted to the surgical environment following the principles of asepsis/antisepsis.

Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[30]	To present a touchless gesture interface that allows the surgeon to control medical images using hand gestures.	Proof-of-concept and prototype feasibility testing.	Manipulation of CT images.	Enucleation of 4 tumors in 3 urology patients.	First description in the literature of a gesture user interface using MK in the operating room in vivo surgery, showing that it is an efficient and low-cost solution.
[100]	To develop a low-cost augmented reality interface projected onto a mannequin simulator.	Proof-of-concept.	Augmented reality for education in Medicine.	A physical simulator, video projector, Wii Remote and MK.	The manipulations obtained using MK were similar to those described with the Wii.
[67]	To develop a version of a gesture-based system for controlling images.	Proof-of-concept.	Manipulation of MRI images.	Resection of a glioma.	Except for the scanning movement, each movement was recognized with great accuracy. The algorithm can be installed in the clinical area.
[128]	To use MK to operate an automated operating-room light system.	Prototype user testing.	Manipulation of operating room lights.	18 volunteers.	The gestures were easy to learn and the movement of the light beam was sufficiently precise.
[102]	To create a touchless head tracking system for an immersive virtual operating room.	Proof-of-concept.	Virtual reality for simulation and education in surgery.	A 3D virtual operating room with a virtual operating table.	Using MK, it was possible to implement a very accurate interactive tracking system regardless of the complexity of the virtual reality system.
[85]	To present a new prototype that allows the user to control the OsiriX system with finger gestures using a low-cost depth camera.	Proof-of-concept and prototype feasibility testing.	Manipulation of CT images.	4 forensic pathologists, 1 radiologist and 1 engineer.	On average, 4.5 min were required to learn to use the system. Participants rated the intuitiveness of the gestures with 3.8 out of 5 and control of the images with 3.8 out of 5. The low cost of the system makes it affordable for any potential user.
[104]	To present a new immersive surgical training system.	Proof-of-concept and prototype fidelity testing.	Virtual reality for education in surgery.	Cholecystectomy training on animal tissue blocks.	Initial feedback from the residents showed that the system is much more effective than the conventional videotaped system.
[60]	To test a speech and gesture-controlled interventional radiology system.	User testing.	Manipulation of CT and angiography images.	10 radiology residents used commands under different lighting conditions during 18 angiographies and 10 CT-guided punctures.	93% of commands were recognized successfully. Speech commands were less prone to errors than gesture commands. 60% of participants would use the application in their routine clinical practice.
[86]	To develop an image operation system for image manipulation using a motion sensor.	Proof-of-concept.	Manipulation of angiographic images.	Not described.	The system can be implemented as a useful tool in angiography for controlling image viewing using gestures in the operating room.
[19]	The working hypothesis is that contextual information such as the focus of attention, integrated with gestural information, can significantly improve overall system recognition performance compared with interfaces relying on gesture recognition alone.	Ethnographic study. Experiment. Survey.	Manipulation of MRI images.	10 veterinary surgeons, 20 volunteers.	The surgeon's intention to perform a gesture can be accurately recognized by observing environmental cues (context). The hypothesis was validated by a drop in the false positive rate of gesture recognition from 20.76% to 2.33%. A significant rate of reduction of the mean task completion time indicated that the user operates the interface more efficiently with experience. The tracking algorithm occasionally failed in the presence of several people in the camera's field of view.

Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[96]	To examine the functionality and usability of MK to complete the visualization of 3D anatomical images.	User testing, Survey.	Manipulation of anatomical images.	32 participants: Medical students, professors and anatomy laboratory staff.	MK users reached accuracy levels almost identical to those who used a mouse, and spent less time on performing the same tasks. MK showed potential as a device for interaction with medical images.
[103]	To examine usability for navigating through 3D medical images using MK compared with a traditional mouse.	User testing, Survey.	Manipulation of anatomical images. Education.	17 veterinary students.	Improvements should be made to MK before it can be implemented as a device for medical use. The preferred method was the mouse. MK has the potential to reduce time on the task.
[13]	To develop a prototype and to examine the feasibility of this new device to help bridge the sterility barrier and eliminate the time and space gap that exists between image review and visual correlation with real-time operative field anatomy.	Proof-of-concept and prototype feasibility testing.	Manipulation of CT and MRI images.	2 MIS [®] procedures and 4 open procedures performed by a surgeon.	The system worked well in a wide range of lighting conditions and procedures. There was an increase in the use of intraoperative image consultation. The gesture library was intuitive and easy to learn. Gestures were mastered within 10 min.
[61]	To investigate a solution for manipulating medical images using MK.	Proof-of-concept and prototype feasibility testing.	Manipulation of CT images.	29 radiologists (diagnostic and interventional).	The potential of the device to enhance image-guided treatment in an interventional radiology suite while maintaining a sterile surgical field was demonstrated. 69% of those surveyed believed that the device could be useful in the interventional radiology field.
[112]	To investigate the need for posture and position training during bronchoscopy using a tool called ETrack.	Pilot study.	Analysis of the operator's movements during a bronchoscopy. Education.	Not described.	The results highlight the importance of posture during bronchoscopy and the need to implement a training module for the simulator.
[71]	To evaluate a new touchless, portable, low-cost 3D measurement system for objective breast assessment.	Concurrent validation study.	Calculation of breast implant volumes.	9 silicone implants of known volumes.	The implant volumes were calculated with an error margin of 10%. Reproducibility was satisfactory. The system was validated for clinical use.
[406]	To describe a gesture-controlled 3D teaching tool in which temporal bone anatomy is manipulated without using a mouse or keyboard. To provide a teaching tool for patient-specific anatomy.	Proof-of-concept.	Manipulation of anatomical images. Education.	0.15 mm slice thickness cadaveric temporal bone images.	The interactive 3D model developed seems promising as an educational tool.
[62]	To develop hand recognition software based on MK, linked to an interventional CT, to manipulate images.	Feasibility testing.	Manipulation of CT images in surgery.	10 interventional radiology procedures. 1 operator.	Tested on 10 procedures, feasibility was 100%. The system also allowed information to be obtained without using the CT system interface or a third party, and without the loss of operator sterility.
[131]	To present a novel method for training intentional and nonintentional gesture recognition.	Experiment.	Performance of a simulated brain biopsy on a mannequin assisted by images manipulated using gestures.	19 subjects.	Continuous gesture recognition was successful 92.26% of the time with a reliability of 89.97%. Significant improvements in task completion time were obtained through the context integration effect.



Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[113]	To evaluate 2 contactless hand tracking systems, the LMC ¹ and MK, for their potential to control surgical robots.	Experiment.	Manipulation of robots in surgery.	4 trained surgeons.	Neither system has the high level of accuracy and robustness that would be required for controlling medical robots.
[107]	To use a projector for visualization and to provide intuitive means for direct interaction with the information projected onto the surgical surface, using MK to capture the interaction zone and the surgeon's actions on a deformable surface.	Proof-of-concept.	Augmented reality in surgery.	Not described.	The system eliminates the need for the surgeon to look at a location other than the surgical field. It therefore removes distractions and enhances his or her performance. It not only provides the surgeon with medical data during the intervention, but also allows interaction with such information by using gestures.
[10]	To present an ethnographic study of a system based on MK developed to allow touchless control of medical images during vascular surgery. The study aims to go beyond demonstrating technical feasibility in order to understand the collaborative practices that emerge from its use in this context.	Ethnographic study.	Manipulation of radiological images.	Endovascular suite of a large hospital.	With touchless interaction, the visual resources were embedded and made meaningful in the collaborative practices of surgery. The importance of direct and dynamic control of the images by the clinicians in the context of talks and in the context of other artefact use is discussed.
[130]	To evaluate a system for manipulating an operating table using gestures.	Prototype user testing.	Manipulation of an operating table.	15 participants.	Major problems were encountered during gesture recognition and with obstruction by other people in the interaction area due to the size and layout of the operating room. The system cannot yet be integrated into a surgical environment.
[110]	To study the technical skills of colonoscopists using MK for motion analysis to develop a tool to guide colonoscopy education and to select discriminative motion patterns.	Construct validity study.	Analysis of the movements of the operator during a colonoscopy.	10 experienced and 11 novice endoscopists.	Certain types of metric can be used to discriminate between experienced and novice operators.
[72]	To develop a 3D surface imaging system and to assess the accuracy and repeatability on a female mannequin.	Inter-rater reliability study.	Measurement of the surface distances of the breast on a mannequin.	A female mannequin.	MK seems to be a useful and feasible system for capturing 3D images of the breast. There was agreement between the measurements obtained by the system and those taken manually with a measuring tape.
[105]	To present a new surgical training system.	Proof-of-concept.	Real-time immersive 3D surgical training. Education.	Not described.	Preliminary experiments show that this immersive training system is portable, effective and reliable.
[68]	To present the development and clinical testing of a device that enables intraoperative control of images with hand gestures during neurosurgical procedures.	Proof-of-concept. Initial clinical testing.	Manipulation of MRI images.	30 neurosurgical operations.	OPECT demonstrated high effectiveness, simplicity of use and precise recognition of the individual user profile. In all cases, surgeons were satisfied with the performance of the device.



Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[68]	To test whether an automatic motion analysis system could be used to explore if there is a correlation in scope movements and the level of experience of the surgeon performing the bronchoscopy.	Construct validity study. Prospective, comparative study.	Analysis of the operator's movements during a bronchoscopy. Education.	11 novice, 9 intermediate and 9 experienced bronchoscopy operators performed 3 procedures each on a bronchoscopy simulator.	The motion analysis system could discriminate between different levels of experience. Automatic feedback on correct movements during self-directed training on simulators might help new bronchoscopists learn how to handle the bronchoscope like an expert.
[77]	To compare 2 commercial motion sensors (MK and the LMC) to manipulate CT images, in terms of their utility, usability, speed, accuracy and user acceptance.	Two-strand sequential observational study. Qualitative and quantitative descriptive field study using a semi-structured questionnaire.	Manipulation of CT images.	42 participants: radiologists, surgeons and interventional radiologists.	Marginal to average acceptability of the 2 devices. MK was found to be more useful and easier to use, but the LMC was more accurate. Further research is required to establish the design specifications, installation guidelines and user training requirements to ensure successful implementation in clinical areas.
[57]	To develop an integrated and comprehensive operating room information system compatible with HL7 and DICOM (Medi-Nav). A natural user interface is designed specifically for operating rooms based on MK.	Prototype user testing.	Users tested the application's various modules.	A prototype system is tested in a live operating room at an Iranian teaching hospital. 30 general surgeries.	The results of usability tests are promising, and indicate that integration of these systems into a complete solution is the key. Touchless natural user interfaces can help to collect and visualize medical information in a comprehensive manner.
[75]	To propose a novel system to visualize a surgical scene in augmented reality using the different sources of information provided by a C-arm and MK.	Prototype user testing.	Augmented reality in orthopedic surgery.	Simulations of 12 orthopedic procedures. 5 participating clinicians. 3 experienced surgeons. 2 fourth-year medical students.	The system showed promising results with respect to better surgical scene understanding and improved depth perception using augmented reality in simulated orthopedic surgery.
[114]	To explore 3D perception technologies in the operating room.	Ethnographic, Prototype testing.	Detection of the interaction between operating staff and the robot.	Not described.	The paper described a supervision system for the operating room that enables intention tracking. The system had low latency, good registration accuracy and high tracking reliability, which make it useful for workflow monitoring, tracking and avoiding collisions between medical robots and operating room staff.
[125]	To use MK and color markers to track the position of MIS instruments in real time.	Comparative study between MK and the SmaSim trainer.	Movement of the instrument to position its tip in 81 holes of a Plexiglas plate on 5 occasions.	1 user.	Although the new method had inferior accuracy compared with mechanical sensors, its low cost and portability make it a candidate for replacing traditional tracking methods.
[80]	To compare 3 different interaction modes for image manipulation in a surgery setting: 1) A gesture-controlled approach using MK, 2) verbal instructions to a third party, and 3) direct manipulation using a mouse.	Crossover randomized controlled trial with blocked randomization.	Interaction modes were direct manipulation using a mouse, verbal instructions given to a third party, and gesture-controlled manipulation using MK.	30 physicians and senior medical students	Under the premise that a mouse cannot be used directly during surgery, gesture-controlled approaches were shown to be superior to verbal instructions for image manipulation.

Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[121]	To evaluate the feasibility, validity, and reliability of the training system for motion parameter and ergonomic analyses between different experience levels of surgeons using the NDI Polaris System and MK camera.	Construct validity, concurrent validity and test-retest reliability. Prospective blinded study.	Tying of intra-corporeal MIS knots.	10 MIS novices, 10 intermediate level and 10 experts.	Validity and reliability of the self-developed sensor and expert model-based MIS training system 'iSurgeon' were established.
[73]	To analyze preoperative breast volume in patients with breast cancer in order to predict implant size for reconstruction.	Exploratory study.	MK was used to acquire 3D images of the patients' breasts before surgery and after surgery.	10 patients.	This study showed the feasibility of using fast, simple and inexpensive 3D imaging technology for predicting implant size before surgery, although there were significant technical challenges in determining breast volume by surface imaging.
[52]	To evaluate the feasibility of using 3 different gesture control sensors (MK, the LMC and the Myo armband) to interact in a sterile manner with preoperative data as well as in settings of an integrated operating room during MIS.	Pilot user study.	2 hepatectomies and 2 partial nephrectomies on an experimental porcine model.	3 surgeons.	Natural user interfaces are feasible for directly interacting, in a more intuitive and sterile manner, with preoperative images and integrated operating room functionalities during MIS. The combination of the Myo armband and voice commands provided the most intuitive and accurate natural user interface.

^aMK: Microsoft Kinect.

^bCT: Computed Tomography.

^cMRI: magnetic resonance imaging.

^d3D: 3-dimensional.

^eMIS: minimally invasive surgery.

^fLMC: Leap Motion Controller.



Table 2. Summary of included studies evaluating the Leap Motion Controller.

Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[63]	To evaluate the implementation of a low-cost device for touchless PACS control in an interventional radiology suite. To demonstrate that interaction with gestures can decrease the duration of the procedures, the risk of re-intervention, and improve technical performance.	Proof-of-concept and prototype feasibility testing.	Manipulation of images in interventional radiology.	Interventional radiology suite.	The LMC ^a is a feasible, portable and low-cost alternative to other touchless PACS interaction systems. A decrease in the need for re-intervention was reported, but no explanation was given of how it was measured.
[54]	To present the first experience of using new systems for image control in the operating room: the LMC and OsiriX.	Proof-of-concept.	Manipulation of CT ^b and MRI ^c images.	2 general surgeons, 1 urologist, 3 orthopedic surgeons and 2 surgeons.	The average training time was 5 min. The system is very cost-effective, efficient and prevents contamination during surgery. First experience of using the LMC to control CT and MRI images during surgery.
[116]	To validate the possibility of performing precise telesurgical tasks by means of the LMC.	Comparative study of the Sigma 7 electro-mechanical device and the LMC.	Peg transferring task and answering a questionnaire. The success rate of peg transfers.	10 researchers.	The results allowed the authors to confirm that fine tracking of the hand could be performed with the LMC. The observed performance of the optical interface proved to be comparable with that of traditional electro-mechanical devices.
[87]	To describe a piece of software for image processing with OsiriX using finger gestures.	Proof-of-concept.	Manipulation of radiological images.	Not described.	It is possible to implement gesture control of medical devices with low-cost, minimal resources. The device is very sensitive to surface dirt and this affects performance. The device favors the occlusion phenomenon.
[113]	To evaluate 2 contactless hand tracking systems, the LMC and MR ^d , for their potential to control surgical robots.	Experiment.	Manipulation of robots in surgery.	4 trained surgeons.	Neither system has the high level of accuracy and robustness that would be required for controlling medical robots.
[129]	To evaluate the LMC for simple 2-dimensional interaction and the action of entering a value.	Proof-of-concept and prototype testing.	Manipulation of medical information and operating room lights.	A 90-min conference on computer science and untrained users.	The user cases should be carefully classified and the most appropriate gestures for each application should be detected and implemented. Optimal lighting conditions for the LMC have still not been evaluated as unwanted light with deterioration of the IR light emitted may lead to a reduction in the recognition rate.
[81]	To compare the average time required by the conventional method using a mouse and an operating method with a finger-motion sensor.	Observational study.	Manipulation of angiographic images.	11 radiologists who observed a simulated clinical case.	After a practice time of 30 min, the average operation time by the finger method was significantly shorter than that by the mouse method.
[14]	To develop a workstation that allows intraoperative touchless control of diagnostic and surgical images in dentistry.	Prototype user testing.	Manipulation of radiological images.	2 surgeons. A case series of 11 dental surgery procedures.	The system performed very well. Its low cost favors its incorporation into clinical facilities of developing countries, reducing the number of staff required in operating rooms.

Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[88]	To propose an interface to control hand gestures and gestures with hand-held tools. In this approach, hand-held tools can become gesture devices that the user can use to control the images.	Prototype user testing.	Manipulation of ultrasound images.	12 participants.	Users were able to significantly improve their performance with practice.
[56]	To develop a software application for the manipulation of a 3D ^f pancreatic or liver tumor model by using CT and real-time elastography data.	Proof-of-concept.	Manipulation of CT and real-time elastography images.	15 patients with liver cancer and 10 patients with pancreatic cancer.	A 3D model of liver and pancreatic tumors was successfully implemented with a hands-free interaction device suitable for sterile environments and for aiding diagnostic or therapeutic interventions.
[117]	To present a new gesture recognition system for manipulating 2 surgical robots in a virtual simulator.	Proof-of-concept.	Manipulation of robots in surgery.	2 surgical robots in a virtual simulator.	The device provided satisfactory accuracy and speed. It requires a more complete Application Programming Interface.
[90]	To propose a web-based interface to retrieve medical images using gestures.	User testing. Pilot study.	Manipulation of radiological images.	2 users.	User feedback was positive. Users reported fatigue with prolonged use of gestures. Additional studies are required to validate the interface.
[64]	To describe the use of the LMC for image manipulation during hepatic transarterial chemoembolization and internal radiotherapy procedures.	Proof-of-concept.	Manipulation of images in interventional radiology.	Not described.	Gesture-based imaging control may lead to increased efficacy and safety with decreased radiation exposure during hepatic transarterial chemoembolization procedures.
[77]	To compare 2 commercial motion sensors (MK and the LMC) to manipulate CT images, in terms of their utility, usability, speed, accuracy and user acceptance.	Two-strand sequential observational study. Qualitative and quantitative descriptive field study using a semi-structured questionnaire.	Manipulation of CT images.	42 participants: radiologists, surgeons and interventional radiologists.	Marginal to average acceptability of the 2 devices. MK was found to be more useful and easier to use, but the LMC was more accurate. Further research is required to establish the design specifications, installation guidelines and user training requirements to ensure successful implementation in clinical areas.
[91]	To evaluate a new method for image manipulation using a motion sensor.	Observational study. User testing and proof-of-concept.	Manipulation of radiological images in dentistry.	14 students. 6 images.	Using the system, several processes can be performed quickly with finger movements. Using gestures was significantly superior to using a mouse in terms of time.
[92]	To develop a new system for manipulating images using a motion sensor.	Observational study.	Manipulation of radiological images in dentistry.	14 students. 25 images.	The operation time with the LMC was significantly shorter than with the conventional method using a mouse.
[108]	To design a virtual 3D online environment for motor skills learning in MIS ^f using exercises from the MISR-VR. The environment is designed in Unity, and the LMC is used as the device for interaction with the MIS forceps.	Letter to the editor.	None.	Not described.	If it can be shown that 3D online environments mediated by natural user interfaces enable motor skills learning in MIS, a new field of research and development in the area of surgical simulation will be opened up.
[124]	Patent for accurate 3D instrument positioning.	Patent.	None.	Not described.	Representing, on an output display, 3D positions and orientations of an instrument while medical procedures are being performed.



Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[69]	To describe the configuration for using the LMC in neurosurgery for image manipulation during a surgical procedure.	User testing.	Manipulation of images during a surgical procedure.	Resection of a meningioma and sarcoma surgery.	The learning curve only took 30 min. Although the main disadvantage was the lack of standardization of the gestures, the LMC is a low-cost, reliable and easily personalized device for controlling images in the surgical environment.
[109]	To develop skills in students and professionals using computer simulation technologies based on hand gesture capture systems.	User testing.	Description of the virtual environment.	Not described.	Simulation and new gesture recognition technologies open up new possibilities for the generation of computer-mediated procedures for medical training.
[93]	To present a gesture-controlled projection display that enables a direct and natural physician-machine interaction during CT-based interventions.	User testing (pilot and main).	8 tasks manipulating CT images.	12 participants (biomedical engineers, medical students and radiologists).	Gesture recognition is robust, although there is potential for improvement. The gesture training times are less than 10 min, but vary considerably between study participants.
[94]	To develop an anatomy learning system using the LMC.	User testing.	Manipulation of 220 anatomical images.	30 students and lecturers from an anatomy department.	The anatomy learning system using the LMC was successfully developed and it is suitable and acceptable as a support tool in an anatomy learning system.
[123]	To study the possibility of tracking laparoscopic instruments using the LMC in a box trainer.	Experiment.	3 static experiments and 1 dynamic experiment.	1 user.	The LMC had acceptable precision for tracking laparoscopic instruments in a box trainer.
[126]	To assess the potential of the LMC to track the movement of hands using MIS instruments.	Construct validity, concurrent validity, Comparative study with the InsTrac.	Passing a thread through pegs using the eoSim simulator.	3 experts and 10 novices.	The LMC is able to track the movement of hands using instruments in a MIS box simulator. Construct validity was demonstrated. Concurrent validity was only demonstrated for time and instrument path distance. A number of limitations to the tracking method used by LMC have been identified.
[118]	To explore the use of the LMC in endonasal pituitary surgery and to compare it with the Phantom Omni.	Comparative study between the LMC and the Phantom Omni.	16 resections of simulated pituitary gland tumors using a robot manipulated by the Phantom Omni and by the LMC.	3 neurosurgeons.	Users were able to achieve a very similar percentage of resection and procedure duration using the LMC.
[95]	To try to interact with medical images via a web browser using the LMC.	Prototype user testing.	Rotation, panning, scaling and selection of slices of a reconstructed 3D model based on CT or MRI.	1 user.	It is feasible to build this system and interaction can be carried out in real time.
[58]	To analyze the value of 2 gesture input modalities (the Myo armband and the LMC) versus 2 clinically established methods (task delegation and joystick control).	User study, Comparative study.	Simulating a diagnostic neuroradiological vascular treatment with 2 frequently used interaction tasks in an experimental operating room.	10 neuroradiologists	Novel input modalities have the potential to carry out single tasks more efficiently than clinically established methods.
[120]	To investigate the potential of a virtual reality simulator for the assessment of basic laparoscopic skills, based on the LMC	Face and construct validity.	3 basic tasks: camera navigation, instrument navigation, and two-handed operation.	2 groups of surgeons (28 experts and 21 novices).	This study provides evidence of the potential use of the LMC for assessing basic laparoscopic skills. The proposed system allows the dexterity of hand movements to be evaluated.



Study	Aim	Type of study	Intervention	Sample	Results/Conclusions
[52]	To evaluate the feasibility of using 3 different gesture control sensors (MK, the LMC and the Myo armband) to interact in a sterile manner with preoperative data as well as in settings of an integrated operating room during MIS.	Pilot user study.	2 hepatectomies and 2 partial nephrectomies on an experimental porcine model.	3 surgeons	Natural user interfaces are feasible for directly interacting, in a more intuitive and sterile manner, with preoperative images and integrated operating room functionalities during MIS. The combination of the Myo armband and voice commands provided the most intuitive and accurate natural user interface.
[127]	To evaluate the LMC as a tool for the objective measurement and assessment of surgical dexterity among users at different experience levels.	Construct validity study.	Surgical knot tying and manual transfer of objects.	11 participants.	The study showed 100% accuracy in discriminating between expert and novice performances.
[66]	To design an affordable and easily accessible endoscopic third ventriculostomy simulator based on the LMC, and to compare it with the Neuro-Touch for its usability and training effectiveness.	Concurrent and construct validity study.	4 ellipsoid practice targeting tasks and 36 ventricle targeting tasks.	16 novice users and 2 expert neurosurgeons	An easy-access simulator was created, which has the potential to become a training tool and a surgical training assessment tool. This system can be used for planning procedures using patient datasets.
[119]	To present the LMC as a novel control device to manipulate the RAVEN-II robot.	Comparative study between the LMC and the electro-mechanical Sigma.7.	Comparison of peg manipulations during a training task with a contact-based device (Sigma.7).	3 operators.	With contactless control, manipulability is not as good as it is with contact-based control. Complete control of the surgical instruments is feasible. This work is promising for the development of future human-machine interfaces dedicated to robotic surgical training systems.
[98]	To evaluate the effect of using virtual reality surgery on the self-confidence and knowledge of surgical residents (the LMC and Oculus Rift).	Multisite, single-blind, parallel, randomized controlled trial.	The study group used the virtual reality surgery application. The control group used similar content in a standard presentation.	95 residents from 7 dental schools.	Immersive virtual reality experiences improve the knowledge and self-confidence of the surgical residents.
[97]	To develop and validate a novel training tool for Le Fort I osteotomy based on immersive virtual reality (the LMC and Oculus Rift).	Face and content validity.	A pre-intervention questionnaire to understand training needs and a postintervention feedback questionnaire.	7 consultant oral and maxillofacial surgeons.	The results confirmed the clinical applicability of virtual reality for delivering training in orthognathic surgery.
[70]	To investigate the feasibility and practicability of a low-cost multimodal head-mounted display system in neuroendoscopic surgery (the LMC and Oculus Rift).	Proof-of-concept in the operating room.	Ventriculocysto-cisternostomy. Ventriculostomy. Tumoral biopsy.	21 patients with ventricular diseases. 1 neurosurgeon.	The head-mounted display system is feasible, practical, helpful, and relatively cost efficient in neuroendoscopic surgery.

^aLMC: Leap Motion Controller.

^bCT: Computed Tomography.

^cMRI: magnetic resonance imaging.

^d3D: 3-dimensional.

^eMK: Microsoft Kinect.

^fMIS: minimally invasive surgery.



Table 3. Summary of included studies evaluating other devices.

Study	Device	Aim	Type of study	Intervention	Results/Conclusions
[53]	Camera with Complementary Metal-Oxide-Semiconductor sensor	To propose an architecture for a real-time multimodal system to provide a touchless user interface in surgery.	Prototype user testing.	Gesture detection in computer-assisted surgery.	The preliminary results show good usability and rapid learning. The average time to click anywhere on the screen was less than 5 seconds. Lighting conditions affected the performance of the system. The surgeon showed strong interest in the system and satisfactorily assessed the use of gestures within the operating room.
[82]	Webcam	To describe a vision-based system that can interpret gestures in real time to manipulate objects within a medical data visualization environment.	Prototype user testing.	Manipulation of medical data (radiology images and selection of medical records) and movement of objects and windows on the screen.	The system implemented in a sterile environment demonstrated performance rates between 95% and 100%.
[27]	Canon VC-C4 color camera	To describe a vision-based gesture capture system that interprets gestures in real time to manipulate medical images.	Beta testing during a surgical procedure. Experiment.	A beta test of a system prototype was conducted during a live brain biopsy operation, where neurosurgeons were able to browse through MRI ¹⁸ images of the patient's brain using the sterile hand gesture interface.	Gesture recognition accuracy was 96%. For every repeat of trials, the task completion time decreased by 28% and the learning curve levelled off at the 10th attempt. The gestures were learned very quickly and there was a significant decrease in the number of excess gestures. Rotation accuracy was reasonable. The surgeons rated the system as easy to use, with a rapid response, and useful in the surgical environment.
[26]	Canon VC-C4 camera	To evaluate the Gestix system.	Prototype user testing.	Manipulation of MRI images during a neurosurgical biopsy.	The system setup time was 20 min. The surgeons found the Gestix system easy to use, with a rapid response, and easy to learn. The system does not require the use of wearable devices.
[59]	Interaction with gestures in general	Fieldwork focusing on work practices and interactions in an angiography suite and on understanding the collaborative work practices in terms of image production and use.	Ethnographic study of minimally invasive image-guided procedures within an interventional radiology department.	Manipulation of radiological images.	The paper discusses the implications of the findings in the work environment for touchless interaction technologies, and suggests that these will be of importance in considering new input techniques in other medical settings.
[115]	Commercial video camera	To describe the development of Gestourse, a robotic system for surgical instruments.	Proof-of-concept.	Surgical instrumentation using a robot.	95% of gestures were recognized correctly. The system was only 0.83 seconds slower when compared with the performance of a human instrument handler.

Study	Device	Aim	Type of study	Intervention	Results/Conclusions
[65]	Touchless interaction systems in general	To understand and use common practices in the surgical setting from a proxemics point of view to uncover implications for the design of touchless interaction systems. The aim is to think of touchlessness in terms of its spatial properties. What does spatial separation imply for the introduction of the touchless control of medical images?	Ethnographic study.	Field observations of work practices in neurosurgery.	Alternative ideas, such as multiple cameras, are the kind of solution that these findings suggest. Such reflections and considerations can be revealed through careful analysis of the spatial organization of activity and proxemics of particular interaction mechanisms. However, it is very important to study current practice in order to speculate about new systems, because they in turn may alter practice.
[122]	Webcam	To present a system for tracking the movement of MIS ^b instruments based on an orthogonal webcam system installed in a physical simulator.	Experiment.	Recording the movements of the instrument within an imaginary cube.	The results showed a resolution of 0.616 mm on each axis of work, linearity and repeatability in motion tracking, as well as automatic detection of the 3D position of the tip of the surgical instruments with sufficient accuracy. The system is a low-cost and portable alternative to traditional instrument tracking devices.
[52]	MK, the LMC ^c , the Myo armband and voice control	To evaluate the feasibility of using 3 different gesture control sensors (MK, the LMC and the Myo armband) to interact in a sterile manner with preoperative data as well as in settings of an integrated operating room during MIS.	Pilot user study.	2 hepatectomies and 2 partial nephrectomies on an experimental porcine model.	Natural user interfaces are feasible for directly interacting, in a more intuitive and sterile manner, with preoperative images and integrated operating room functionalities during MIS. The combination of the Myo armband and voice commands provided the most intuitive and accurate natural user interface.
[58]	The Myo armband and the LMC	To analyze the value of 2 gesture input modalities (the Myo armband and the LMC) versus 2 clinically established methods (task delegation and joystick control).	User study. Comparative study.	Simulating a diagnostic neuroradiological vascular treatment with 2 frequently used interaction tasks in an experimental operating room.	Novel input modalities have the potential to carry out single tasks more efficiently than clinically established methods.

^aMRI: magnetic resonance imaging.

^bMIS: minimally invasive surgery.

^cLMC: Leap Motion Controller.

Table 4. Clinical areas and types of surgical intervention in which gesture-based commercial off-the-shelf devices were used.

Clinical areas	Types of surgical intervention	Studies
General surgery (N=7)	Intraoperative image control, image-guided minimally invasive surgery (adrenalectomy, pancreatectomy, liver resection, a Whipple procedure, as well as liver and pancreatic cancer and renal carcinoma resection), open and laparoscopic bile duct surgery, cholecystectomy, and hepatectomy and nephrectomy in an animal model.	[13,52-57]
Interventional radiology and angiography (N=7)	Arterial dilatation with balloon and umbrella devices, hepatic arterial chemoembolization and selective internal radiation therapy, abdominal computed tomography, and interventional neuroradiology.	[58-64]
Neurosurgery (N=7)	Biopsies, resection of brain gliomas, resection of a meningioma, ventriculostomy, and intraoperative image control.	[26,65-70]
Plastic surgery (N=3)	Measurement of breast implant volumes and measurement of distances on the breast surface.	[71-73]
Orthopedics (N=3)	Intraoperative image control.	[55,74,75]
Ear, nose, and throat (N=1)	Laryngoplasty.	[76]
Urology (N=2)	Enucleation of renal tumors and intraoperative image control.	[30,54]

Table 5. Use of gesture-based commercial off-the-shelf devices in surgery.

Use	Studies
Manipulation of images in interventional radiology environments or in the operating room (N=42)	
Image manipulation	[513,1417,19,2627,30525456,58-64,67-69,74,76-95]
Education and training	
Virtual or augmented reality for educational or interventional purposes (N=16)	[75,94,96-109]
Training in endoscopy (bronchoscopy and colonoscopy; N=3)	[110-112]
Robotic surgery (N=7)	
Robotics in surgery and in surgical instrumentation	[113-119]
Tracking of hand or instrument movements during open or minimally invasive surgery	
Instrument tracking in MIS ^a (N=7)	[108,120-125]
Tracking of hand movements during MIS (N=2)	[109,126]
Tracking of hand movements during open surgical knot tying (N=1)	[127]
Simulation for skills learning in MIS (N=4)	
Simulation for motor skills learning in MIS	[66,108,120]
Using patient-specific 3-dimensional images during MIS in real patients or simulators, and presurgical warm-up	[52,66,70,108]
Other uses	
Ethnographic studies (N=5)	[59,65,78,83,114]
Measurement of breast implant volumes and measurement of distances on the breast surface (N=3)	[71-73]
Manipulation of the operating table and lights (N=4)	[128-130]

^aMIS: minimally invasive surgery.

Aims, Types of Study, Metrics, Samples, Results and Conclusions

In 78% (67/86) of the articles, the aim was to develop, create, present, describe, propose, examine, or explore a COTS-based system for gesture recognition in surgery. Most of the articles [65] identified in this systematic review were proof-of-concept or prototype user testing and observational and feasibility testing studies (Tables 1-3, see Multimedia Appendices 1-3 for the full Tables 1-3). In the 5 ethnographic studies included, the aim was

to identify interactions between the staff and gesture-based COTS systems in interventional radiology departments or in the operating room [19,59,65,78,114]. In 4 studies, the aim was to compare the performance of MK with that of a mouse [5,79,80,96]; in 1 study, it was to compare the performance of the LMC with that of a mouse [81]; and in 4 studies, it was to compare different COTS devices [52,58,77,113]. In 10 studies, the aim was to evaluate face validity [97,120], content validity [97], construct validity [66,110,111,120,121,126,127,132], or concurrent validity of the devices [66,71,121,126]. A total of 7



studies involved experiments [19,26,113,115,122,123,131] and there was 1 patent application for an LMC-based application [124] and 1 interrater reliability study [72]. In addition, 1 study was a quasi-experimental prospective, blinded study with test-retest reliability [121]. Only 2 randomized controlled trials were identified [80,98], and when a tool for assessing risk of bias in randomized trials [133] was applied to them, it was found to be low in both.

In total, 25 out of 86 (29%) articles failed to describe the metric used, whereas 23 out of 86 (27%) used time as the main one. Given the varied nature of the design of the studies, the remaining 38 articles described multiple metrics such as performance rates, percentage of gesture recognition, accuracy of gesture recognition and/or speed of transmission thereof, measures of volume or distance, and questionnaires or interviews. Similarly, the sample types and numbers were very dissimilar: 17.4% of the articles did not describe the sample type, and the remainder stated that the samples comprised medical or veterinary students or specialists in several radiological or surgical specialties (Table 4).

Interventions

The most common intervention (42 studies) was image manipulation in general radiology, ultrasound imaging, interventional radiology, angiography, computed tomography, magnetic resonance imaging, and real-time elastography (in the operating room, in the operative dentistry setting, or in the interventional radiology suites; Tables 1-3; see Multimedia Appendices 1-3 for the full Tables 1-3). Table 5 shows other uses identified for gesture-based COTS devices in surgical environments.

Use of Commercial Off-The-Shelf Devices as Simulation Tools for Motor Skills Teaching in Minimally Invasive Surgery

In the field of skills learning in MIS, in 2013, Pérez et al first described the tracking of laparoscopic instruments using webcams, with encouraging results [122]. From 2016, several authors proposed the interesting possibility of using COTS devices for tracking laparoscopic instruments. Such devices include both the LMC [108,121,123,124] and MK [125]. In 2017, a portable low-cost simulator using the LMC [120] for basic motor skills learning in MIS was described, and so too were a simulator for endoscopic third ventriculostomy learning [66] and a head-mounted display system using Oculus Rift and the LMC to guide neuroendoscopic surgery by manipulating 3D images [70]. Others used the approach of tracking hand movements during MIS training [109,126]. Only 1 study explored the use of the LMC to assess surgical dexterity in tying surgical knots in open surgery [127].

Furthermore, 1 study compared 3 natural user interfaces (MK, the LMC, and the Myo armband) in combination with voice control to perform 2 hepatectomies and 2 partial nephrectomies on an experimental porcine model [52]: similar to the studies by Wright [66] and Xu [70], this study used 3D reconstructions of preoperative images of the patient, which were manipulated by gestures during surgery. However, the application of gesture

control technology in these cases is not for training purposes but for surgical assistance and planification.

Discussion

Principal Findings

Using commercial devices to detect manual gestures in surgery is a very topical issue, given the need to manipulate medical images and for real-time 3D reconstructions during procedures without breaking asepsis and antiseptis protocols. Early studies published on this possibility used COTS systems with webcams, Complementary Metal-Oxide-Semiconductor-sensor cameras, and commercial digital cameras [26,27,53,82]. These pioneering studies showed that contactless interaction with images and medical information in environments such as operating rooms was possible using low-cost devices.

In this systematic review, MK and the LMC were identified as the most widely used COTS systems. MK was rated as a useful tool for the manipulation of medical data in sterile environments, with a positive rate of acceptance in 85% (39/46) of the studies on it. The LMC had a positive rate of acceptance in 83% (29/35) of the studies on it. The Myo armband was used to manipulate interventional neuroradiology images [58]. In addition, in a comparative study of the Myo armband, MK, and the LMC, they were used to manipulate images while hepatectomies and partial nephrectomies were being performed on an animal model [52]. In both cases, the device was rated highly. The main positive characteristics identified for the devices were the following: there was no need for contact; they were low-cost and portable; there was no need for calibration at the time of use; the gesture learning curve was easy; and the gesture recognition rates were high.

Performance of Individual Devices

MK [30] and the LMC [14,81,87,134,135] both use infrared cameras. The MK system is based on the time-of-flight principle [61], whereas the LMC is based on a sensor for infrared optical tracking with stereo vision accuracy. The MK depth sensor works at a distance between 0.8 m and 3.5 m, and the interface tracks the skeleton of the system operator. The wide range of distances at which the device recognizes gestures presents problems when using it in close interaction. The LMC detects the positions of fine objects such as finger tips or pen tips in a Cartesian plane. Its interaction zone is an inverted cone of approximately 0.23 m² and the motion detection range fluctuates between 20 mm and 600 mm [91,129]. The manufacturer reports an accuracy of 0.01 mm for fingertip detection, although 1 study showed an accuracy of 0.7 mm, which is considered superior to that achieved using MK [134,136]. The dimensions of the MK device are 280 mm (width), 71 mm (depth), and 66 mm (height) and its weight is 556 g, whereas those of the LMC are 76 mm (width), 30 mm (depth), and 13 mm (height) and its weight is 45 g.

Only 5 of the 46 (11%) studies that evaluated MK identified disadvantages relating to a longer latency time, difficulty in recreating an image when compared with a keyboard or mouse [5], limited gesture recognition, interference between the movements of different people in small environments

[85,89,130], and the users' preference for a mouse in a comparative study [96]. Various studies have highlighted the inaccuracy of MK in detecting finger movements [5,17,85,137], and the system also requires the use of large format screens [14,24,54,85,90]. The system was taken off the market in October 2017.

With regard to the LMC, once the 6 studies on robotics had been discarded, 4 articles were identified that presented limitations derived from using the device (18%). These studies noted alterations in performance when there was dirt on the surface of the device, as well as the limited number of gestures recognized owing to the occlusion phenomenon [87], alterations caused by ambient lighting [129], fatigue in some users [90], and a lack of studies validating the device for medical use [77].

The Myo armband was launched in 2013. This wearable wireless device is able to record electromyography via 8 stainless steel dry surface electrodes. It has a 9-axis inertial measurement unit sensor, haptic feedback, and Bluetooth communication capability. The main disadvantage is its limited sampling frequency of 200 Hz [138-140]. In total, 2 studies on the Myo armband were identified. The first concluded that the combination of the Myo armband and voice commands provided the most intuitive and accurate natural user interface [141]. The second compared the Myo armband and LMC with traditional image manipulation methods in surgery and concluded that the new input modalities had the potential to become more efficient [58].

Commercial Off-The-Shelf Devices in Robotic Surgery

Studies on the application of gesture-based COTS devices in robot-assisted surgery failed to demonstrate usefulness, owing to either the high cost of the robotic arm when using commercial cameras in surgical instrumentation [115] or, in the case of the LMC, the need for a more robust Application Programming Interface [116,117] and the lack of sufficient accuracy and robustness for manipulating a medical robot [113]. However, an ethnographic study found that MK was useful for workflow monitoring and for avoiding collisions between medical robots and operating room staff [114]. A simulation study of endonasal pituitary surgery comparing the LMC with the Phantom Omni showed that surgeons achieved a very similar percentage of tumor mass resection and procedure duration using the LMC to control the robot [118]. Another study found that the robotic tools could be controlled by gestures for training purposes but that the level of control had yet to reach that of a contact-based robotic controller [119].

Commercial Off-The-Shelf Devices in Training and Simulation

Studies on the use of COTS devices for gesture-based interfaces using the hand in the field of education in surgery refer to the use of virtual reality and augmented reality for teaching anatomy or for living the immersive experience within a virtual operating room. A total of 3 studies explored the possibility of using MK as a tool for skills learning in bronchoscopy and colonoscopy by means of simulation [110-112].

Various authors explored the possibility of hand tracking [109,126] or instrument tracking [108,121-125] using COTS

devices to assess performance in MIS training. From these 2 approaches, Lahanas [120] eventually presented a portable low-cost model of a virtual reality simulator for basic motor skills learning in MIS, which was based on the LMC and capable of tracking instruments. The author also presented face and contrast validity studies. The original forceps tracking problems noted by the author were probably because of the fact that they were black. Problems caused by this color were also described in the study by Oropesa. This issue had already been raised by our group [108].

In the field of simulation for robotic surgery learning, the first studies published [113,115-117] found that the interfaces did not allow robots to be manipulated by gestures. However, the most recent publications [118,119] have suggested that the LMC could be a low-cost solution for creating control interfaces for surgical robots for the purposes of performing operations or training by means of simulation.

Ethnographic Studies

Ethnographic studies [59,65,78,83,114] deserve a separate mention as they transcend proofs-of-concept and user and prototype testing and approach gesture-based touchless interaction from a holistic viewpoint that includes the social practices of surgery, as well as the way in which medical images and manipulation devices are embedded and made meaningful within the collaborative practices of the surgery [10].

Requirements for the Future

There was found to be a shortage of objective validation studies (face validity: 1 study; concurrent validity: 3 studies; construct validity: 3 studies; discriminant validity: none; and predictive validity: none) of the different applications developed and presented as prototypes or proofs-of-concept for use in the clinical or teaching field. In teaching, the field of hand gesture-based interfaces should prioritize the following research objectives: first, to transcend studies on technical feasibility and individual hand gesture-based interaction with medical images so as to tackle the issue systematically within a framework of collaborative discussion, as happens in real surgical environments; and second, to conduct experimental studies in simulated surgical environments that allow hand gestures to be validated as a useful tool for touchless interaction in real operating rooms. To that end, the language of hand gestures for medical use would have to be standardized, so that the surgeons' cognitive load can be reduced. In turn, algorithms should be developed to allow differentiation between intentional and unintentional gestures (spotting) in the small spaces of the operating room. Finally, the problem of temporal segmentation ambiguity (how to define the gesture start and end points) and that of spatial-temporal variability (gestures can vary significantly from one individual to another) must be resolved.

From the range of evidence found, it is possible to infer that, with regard to the use of COTS devices, there is a very interesting field of study for the development and objective validation (contrast, concurrent, discriminant, and predictive validities) of portable low-cost virtual reality simulators for motor skills learning in MIS and robotic surgery. Such simulators will enable surgeons to do presurgical warm-ups

anywhere at any time based on 3D reconstructions of specific patients' images [52,66,70,108]. Thus, surgeons will be able to practice the surgery the night before they are due to perform it from the comfort of their own homes.

Despite the fact that MK was taken off the market in 2017 and that the LMC software only allows tool tracking up to V2 Tracking, the use of interaction with gesture-based virtual environments in the field of simulation identified in this review will enable new COTS devices (ie, the Myo armband) to be explored for skills learning in MIS and robotic surgery.

Limitations

A number of potential methodological limitations in our systematic review should be discussed. First, our inclusion criteria were limited to English-language publications. Second, although we used the most commonly used search engines in the health field (PubMed, EMBASE, ScienceDirect, Espacenet, OpenGrey, and IEEE) and complemented that by using the snowballing technique to identify relevant articles in the results generated by our search, we may have missed a few articles related to our research question. Finally, there may have been some potential for subjectivity in analyzing the findings, although 2 authors carefully reviewed each study independently and then discussed the results while double-checking each

process and subsequently resolved any discrepancies through discussions with the third author whenever necessary.

Conclusions

As most of the articles identified in this systematic review are proof-of-concept or prototype user testing and feasibility testing studies, we can conclude that the field is still in the exploratory phase in areas requiring touchless manipulation within environments and settings that must adhere to asepsis and antisepsis protocols, such as angiography suites and operating rooms.

Without doubt, COTS devices applied to hand and instrument gesture-based interfaces in the field of simulation for skills learning and training in MIS could open up a promising field to achieve ubiquitous training and presurgical warm-up.

The withdrawal of MK from the market and suspension of the instrument tracking function in the latest LMC software versions constitute threats to the new developments identified in this review. Nevertheless, gesture-based interaction devices are clearly useful for manipulating images in interventional radiology environments or the operating room and for the development of virtual reality simulators for skills training in MIS and robotic surgery.

Authors' Contributions

All the authors contributed substantially to the study conception and design, data analysis and interpretation of the findings, and manuscript drafting. FAL participated in the collection and assembly of data. FSR is the guarantor of the paper. All the authors have read, revised, and approved the final manuscript.

Conflicts of Interest

None declared.

Multimedia Appendix 1

Summary of included studies evaluating Microsoft Kinect.

[PDF File (Adobe PDF File), 176KB - [jmir_v21i5e11925_app1.pdf](#)]

Multimedia Appendix 2

Summary of included studies evaluating the Leap Motion Controller.

[PDF File (Adobe PDF File), 132KB - [jmir_v21i5e11925_app2.pdf](#)]

Multimedia Appendix 3

Summary of included studies evaluating other devices.

[PDF File (Adobe PDF File), 66KB - [jmir_v21i5e11925_app3.pdf](#)]

References

1. Bures S, Fishbain JT, Ueyehara CF, Parker JM, Berg BW. Computer keyboards and faucet handles as reservoirs of nosocomial pathogens in the intensive care unit. *Am J Infect Control* 2000 Dec;28(6):465-471. [doi: [10.1067/mic.2000.107267](#)] [Medline: [11114617](#)]
2. Schultz M, Gill J, Zubairi S, Huber R, Gordin F. Bacterial contamination of computer keyboards in a teaching hospital. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2003 Apr;24(4):302-303. [doi: [10.1086/502200](#)] [Medline: [12725363](#)]
3. Hartmann B, Benson M, Junger A, Quinzio L, Röhrig R, Fengler B, et al. Computer keyboard and mouse as a reservoir of pathogens in an intensive care unit. *J Clin Monit Comput* 2004 Feb;18(1):7-12. [doi: [10.1023/B:JOCM.0000025279.27084.39](#)] [Medline: [15139578](#)]

<https://www.jmir.org/2019/5/e11925/>

J Med Internet Res 2019 | vol. 21 | iss. 5 | e11925 | p.19
(page number not for citation purposes)



4. Lu P, Siu LK, Chen T, Ma L, Chiang W, Chen Y, et al. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and *Acinetobacter baumannii* on computer interface surfaces of hospital wards and association with clinical isolates. *BMC Infect Dis* 2009 Oct 1;9:164 [FREE Full text] [doi: [10.1186/1471-2334-9-164](https://doi.org/10.1186/1471-2334-9-164)] [Medline: [19796381](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19796381/)]
5. Ebert LC, Hatch G, Ampanozi G, Thali MJ, Ross S. You can't touch this: touch-free navigation through radiological images. *Surg Innov* 2012 Sep;19(3):301-307. [doi: [10.1177/1553350611425508](https://doi.org/10.1177/1553350611425508)] [Medline: [22064490](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22064490/)]
6. D'Antonio NN, Rihs JD, Stout JE, Yu VL. Computer keyboard covers impregnated with a novel antimicrobial polymer significantly reduce microbial contamination. *Am J Infect Control* 2013 Apr;41(4):337-339. [doi: [10.1016/j.ajic.2012.03.030](https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.03.030)] [Medline: [23036480](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23036480/)]
7. Ionescu AV. A mouse in the OR. *Ambidextrous*. *Stanford Univ Journal of Design* 2006;30:2 [FREE Full text]
8. van Veelen MA, Snijders CJ, van Leeuwen E, Goossens RH, Kazemier G. Improvement of foot pedals used during surgery based on new ergonomic guidelines. *Surg Endosc* 2003 Jul;17(7):1086-1091. [doi: [10.1007/s00464-002-9185-z](https://doi.org/10.1007/s00464-002-9185-z)] [Medline: [12728372](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12728372/)]
9. Grätzel C, Fong T, Grange S, Baur C. A non-contact mouse for surgeon-computer interaction. *Technol Health Care* 2004;12(3):245-257 [FREE Full text] [Medline: [15328453](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15328453/)]
10. O'Hara K, Dastur N, Carrell T, Gonzalez G, Sellen A, Penney G, et al. Touchless interaction in surgery. *Commun ACM* 2014 Jan 1;57(1):70-77 [FREE Full text] [doi: [10.1145/2541883.2541899](https://doi.org/10.1145/2541883.2541899)]
11. El-Shallaly GE, Mohammed B, Muhtaseb MS, Hamouda AH, Nassar AH. Voice recognition interfaces (VRI) optimize the utilization of theatre staff and time during laparoscopic cholecystectomy. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2005;14(6):369-371. [doi: [10.1080/13645700500381685](https://doi.org/10.1080/13645700500381685)] [Medline: [16754183](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16754183/)]
12. Nathan CO, Chakradeo V, Malhotra K, D'Agostino H, Patwardhan R. The voice-controlled robotic assist scope holder AESOP for the endoscopic approach to the sella. *Skull Base* 2006 Aug;16(3):123-131 [FREE Full text] [doi: [10.1055/s-2006-939679](https://doi.org/10.1055/s-2006-939679)] [Medline: [17268585](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17268585/)]
13. Strickland M, Tremaine J, Brigley G, Law C. Using a depth-sensing infrared camera system to access and manipulate medical imaging from within the sterile operating field. *Can J Surg* 2013 Jun;56(3):E1-E6 [FREE Full text] [doi: [10.1503/cjs.035311](https://doi.org/10.1503/cjs.035311)] [Medline: [23706851](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23706851/)]
14. Rosa GM, Elizondo ML. Use of a gesture user interface as a touchless image navigation system in dental surgery: case series report. *Imaging Sci Dent* 2014 Jun;44(2):155-160 [FREE Full text] [doi: [10.5624/isd.2014.44.2.155](https://doi.org/10.5624/isd.2014.44.2.155)] [Medline: [24944966](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24944966/)]
15. Wachs J. Purdue Equestrian Team. 2007. Optimal Hand-Gesture Vocabulary Design Methodology for Virtual Robotic Control URL: https://web.ics.purdue.edu/~jpwachs/papers/PHD_JUAN_JW.pdf [accessed 2019-04-01] [WebCite Cache ID 77JfnGoX]
16. Yanagihara Y, Hiromitsu H. System for selecting and generating images controlled by eye movements applicable to CT image display. *Med Imaging Technol* 2000;18:725 [FREE Full text] [doi: [10.11409/mit.18.725](https://doi.org/10.11409/mit.18.725)]
17. Gallo L, Placitelli A, Ciampi M. Controller-free exploration of medical image data: experiencing the Kinect. In: Proceedings of the 2011 24th International Symposium on Computer-Based Medical Systems. 2011 Jun 27 Presented at: CMBS'11; June 27-30, 2011; Bristol, UK p. 1-6. [doi: [10.1109/CBMS.2011.5999138](https://doi.org/10.1109/CBMS.2011.5999138)]
18. Coddington J, Xu J, Sridharan S, Rege M, Bailey R. Gaze-based image retrieval system using dual eye-trackers. 2012 Jan 12 Presented at: 2012 IEEE International Conference on Emerging Signal Processing Applications; January 12-14, 2012; Las Vegas, NV, USA p. 37. [doi: [10.1109/ESPA.2012.6152440](https://doi.org/10.1109/ESPA.2012.6152440)]
19. Jacob MG, Wachs JP, Packer RA. Hand-gesture-based sterile interface for the operating room using contextual cues for the navigation of radiological images. *J Am Med Inform Assoc* 2013 Jun;20(e1):e183-e186 [FREE Full text] [doi: [10.1136/amiajnl-2012-001212](https://doi.org/10.1136/amiajnl-2012-001212)] [Medline: [23250787](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23250787/)]
20. Tani B, Maia R, von Wangenheim A. A Gesture Interface for Radiological Workstations. In: Twentieth IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems. Maribor; IEEE; 2007 Jun 20 Presented at: CMBS'07; June 20-22, 2007; Maribor, Slovenia p. 07. [doi: [10.1109/CBMS.2007.6](https://doi.org/10.1109/CBMS.2007.6)]
21. Zudilova-Seinstra E, de Koning P, Suinesiaputra A, van Schooten B, van der Geest R, Reiber J, et al. Evaluation of 2D and 3D glove input applied to medical image analysis. *Int J Hum Comput Stud* 2010 Jun;68(6):355-369 [FREE Full text] [doi: [10.1016/j.ijhcs.2009.08.001](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2009.08.001)]
22. Kirmizibayrak C. Interactive Volume Visualization and Editing Methods for Surgical Applications. Washington, DC: George Washington University; 2001.
23. Bigdelou A, Schwarz A, Navab N. An adaptive solution for intra-operative gesture-based human-machine interaction. In: Proceedings of the 2012 ACM international conference on Intelligent User Interfaces. New York, NY, USA: ACM; 2012 Presented at: IUI'12; February 14-17, 2012; Lisbon, Portugal p. 75-84. [doi: [10.1145/2166966.2166981](https://doi.org/10.1145/2166966.2166981)]
24. Ren G, O'Neill E. 3D selection with freehand gesture. *Comput Graph* 2013 May;37(3):101-120. [doi: [10.1016/j.cag.2012.12.006](https://doi.org/10.1016/j.cag.2012.12.006)]
25. Nishikawa A, Hosoi T, Koara K, Negoro D, Hikita A, Asano S, et al. FAcE MOUSE: a novel human-machine interface for controlling the position of a laparoscope. *IEEE Trans Robot Autom* 2003 Oct;19(5):825-841. [doi: [10.1109/TRA.2003.817093](https://doi.org/10.1109/TRA.2003.817093)]
26. Wachs JP, Stern HI, Edan Y, Gillam M, Handler J, Feied C, et al. A gesture-based tool for sterile browsing of radiology images. *J Am Med Inform Assoc* 2008;15(3):321-323 [FREE Full text] [doi: [10.1197/jamia.M241](https://doi.org/10.1197/jamia.M241)] [Medline: [18451034](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18451034/)]



27. Wachs J, Stern H, Edan Y, Gillam M, Feied C, Smithd M, et al. Real-time hand gesture interface for browsing medical images. *Int J Intell Comput Med Sci Image Process* 2008 Jan;2(1):15-25 [FREE Full text] [doi: [10.1080/1931308X.2008.10644149](https://doi.org/10.1080/1931308X.2008.10644149)]
28. Soutschek S, Penne J, Hornegger J, Kornhuber J. 3-D gesture-based scene navigation in medical imaging applications using Time-of-Flight cameras. In: IEEE. Anchorage, AK: IEEE; 2008 Presented at: 2008 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops; June 23-28, 2008; Anchorage, AK, USA p. 08. [doi: [10.1109/CVPRW.2008.4563162](https://doi.org/10.1109/CVPRW.2008.4563162)]
29. Kipshagen T, Tronnier V, Bonsanto M, Hofmann UG. Touch-marker-free interaction with medical software. Berlin Heidelberg: Springer; 2009 Sep 07 Presented at: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering; September 7-12, 2009; Munich, Germany p. 7-12 URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-03906-5_21 [doi: [10.1007/978-3-642-03906-5_21](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03906-5_21)]
30. Ruppert GC, Reis LO, Amorim PH, de Moraes TF, da Silva JV. Touchless gesture user interface for interactive image visualization in urological surgery. *World J Urol* 2012 Oct;30(5):687-691. [doi: [10.1007/s00345-012-0879-0](https://doi.org/10.1007/s00345-012-0879-0)] [Medline: [22580994](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22580994/)]
31. Gallo L, De Pietro G, Marra I. 3D interaction with volumetric medical data: experiencing the Wiimote. In: Proceedings of the 1st international conference on Ambient media and systems. Quebec, Canada: ICTS, editor; 2008 Presented at: Ambi-Sys'08; February 11-14, 2008; Brussels, Belgium. [doi: [10.1145/1363163.1363177](https://doi.org/10.1145/1363163.1363177)]
32. Hansen C, Köhn A, Schlichting S, Weiler F, Zidowitz S, Kleemann M, et al. Intraoperative modification of resection plans for liver surgery. *Int J CARS* 2008 Jun 4;3(3-4):291-297 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s11548-008-0161-5](https://doi.org/10.1007/s11548-008-0161-5)]
33. Gallo L, De Pietro G, Coronato A. Toward a natural interface to virtual medical imaging environments. In: Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces. New York: ACM; 2008 Presented at: AVI'08; May 28-30, 2008; Napoli, Italy URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1385651>
34. Gallo L, Pietro G. Input devices and interaction techniques for VR-enhanced medicine. In: Jeong J, Damiani E, editors. *Multimedia Techniques for Device and Ambient Intelligence*. Boston, MA: Springer US; 2009:115.
35. Gallo L, Minutolo A, de Pietro G. A user interface for VR-ready 3D medical imaging by off-the-shelf input devices. *Comput Biol Med* 2010 Mar;40(3):350-358. [doi: [10.1016/j.compbiomed.2010.01.006](https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2010.01.006)] [Medline: [20149912](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20149912/)]
36. Gallo L. A glove-based interface for 3D medical image visualization. In: Tshrintzis G, Damiani E, Virvou M, Howlett R, Jain L, editors. *Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services*. Berlin Heidelberg: Springer; 2010:221.
37. Chang Y, Chen S, Huang J. A Kinect-based system for physical rehabilitation: a pilot study for young adults with motor disabilities. *Res Dev Disabil* 2011;32(6):2566-2570. [doi: [10.1016/j.ridd.2011.07.002](https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.07.002)] [Medline: [21784612](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21784612/)]
38. Leiker AM, Miller M, Brewer L, Nelson M, Siow M, Lohse K. The relationship between engagement and neurophysiological measures of attention in motion-controlled video games: a randomized controlled trial. *JMIR Serious Games* 2016 Apr 21;4(1):e4 [FREE Full text] [doi: [10.2196/games.5460](https://doi.org/10.2196/games.5460)] [Medline: [27103052](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27103052/)]
39. Simor FW, Brum MR, Schmidt JD, Rieder R, de Marchi AC. Usability evaluation methods for gesture-based games: a systematic review. *JMIR Serious Games* 2016 Oct 4;4(2):e17 [FREE Full text] [doi: [10.2196/games.5860](https://doi.org/10.2196/games.5860)] [Medline: [27702737](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27702737/)]
40. Dimaguila GL, Gray K, Merolli M. Person-generated health data in simulated rehabilitation using Kinect for stroke: literature review. *JMIR Rehabil Assist Technol* 2018 May 8;5(1):e11 [FREE Full text] [doi: [10.2196/rehab.9123](https://doi.org/10.2196/rehab.9123)] [Medline: [29739739](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29739739/)]
41. Gallagher A, Satava RM. Virtual reality as a metric for the assessment of laparoscopic psychomotor skills. Learning curves and reliability measures. *Surg Endosc* 2002 Dec;16(12):1746-1752. [doi: [10.1007/s00464-001-8215-6](https://doi.org/10.1007/s00464-001-8215-6)] [Medline: [12140641](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12140641/)]
42. Korndorffer J, Clayton J, Tesfay S, Brunner W, Sierra R, Dunne J, et al. Multicenter construct validity for southwestern laparoscopic videotrainer stations. *J Surg Res* 2005 Sep;128(1):114-119. [doi: [10.1016/j.jss.2005.03.014](https://doi.org/10.1016/j.jss.2005.03.014)] [Medline: [15916767](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15916767/)]
43. Ritter E, Kindelan T, Michael C, Pimentel EA, Bowyer MW. Concurrent validity of augmented reality metrics applied to the fundamentals of laparoscopic surgery (FLS). *Surg Endosc* 2007 Aug;21(8):1441-1445. [doi: [10.1007/s00464-007-9261-5](https://doi.org/10.1007/s00464-007-9261-5)] [Medline: [17593461](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17593461/)]
44. Hennessey I, Hewett P. Construct, concurrent, and content validity of the eoSim laparoscopic simulator. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2013 Oct;23(10):855-860. [doi: [10.1089/lap.2013.0229](https://doi.org/10.1089/lap.2013.0229)] [Medline: [23968255](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23968255/)]
45. Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, et al. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg* 2002 Oct;236(4):458-63; discussion 463. [doi: [10.1097/01.SLA.0000028969.51489.B4](https://doi.org/10.1097/01.SLA.0000028969.51489.B4)] [Medline: [12368674](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12368674/)]
46. Schijven M, Jakimowicz J, Broeders IA, Tseng L. The Eindhoven laparoscopic cholecystectomy training course--improving operating room performance using virtual reality training: results from the first E.A.E.S. accredited virtual reality trainings curriculum. *Surg Endosc* 2005 Sep;19(9):1220-1226. [doi: [10.1007/s00464-004-2240-1](https://doi.org/10.1007/s00464-004-2240-1)] [Medline: [16132332](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16132332/)]
47. Gurusamy K, Aggarwal R, Palanivelu L, Davidson B. Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery. *Br J Surg* 2008 Sep;95(9):1088-1097. [doi: [10.1002/bjs.6344](https://doi.org/10.1002/bjs.6344)] [Medline: [18690637](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18690637/)]

48. Larsen C, Oestergaard J, Ottesen B, Soerensen J. The efficacy of virtual reality simulation training in laparoscopy: a systematic review of randomized trials. *Acta Obstet Gynecol Scand* 2012 Sep;91(9):1015-1028. [doi: [10.1111/j.1600-0412.2012.01482.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0412.2012.01482.x)] [Medline: [22693954](#)]
49. Greenhalgh T, Peacock R. Effectiveness and efficiency of search methods in systematic reviews of complex evidence: audit of primary sources. *Br Med J* 2005 Nov 5;331(7524):1064-1065 [FREE Full text] [doi: [10.1136/bmj.38636.593461.68](https://doi.org/10.1136/bmj.38636.593461.68)] [Medline: [16230312](#)]
50. Shea BJ, Grimshaw JM, Wells GA, Boers M, Andersson N, Hamel C, et al. Development of AMSTAR: a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews. *BMC Med Res Methodol* 2007 Feb 15;7:10 [FREE Full text] [doi: [10.1186/1471-2288-7-10](https://doi.org/10.1186/1471-2288-7-10)] [Medline: [17302989](#)]
51. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gotzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *Br Med J* 2009 Jul 21;339:b2700 [FREE Full text] [doi: [10.1136/bmj.b2700](https://doi.org/10.1136/bmj.b2700)] [Medline: [19622552](#)]
52. Sánchez-Margallo FM, Sánchez-Margallo JA, Moyano-Cuevas J, Pérez EM, Maestre J. Use of natural user interfaces for image navigation during laparoscopic surgery: initial experience. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2017 Oct;26(5):253-261. [doi: [10.1080/13645706.2017.1304964](https://doi.org/10.1080/13645706.2017.1304964)] [Medline: [28349758](#)]
53. Grange S, Terrence W, Fong T, Baur C. M/ORIS: A medical/operating room interaction system. In: Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces. 2004 Presented at: ICMI'04; October 13-15, 2004; State College, PA, USA p. 159-166. [doi: [10.1145/1027933.1027962](https://doi.org/10.1145/1027933.1027962)]
54. Bizzotto N, Costanzo A, Bizzotto L, Regis D, Sandri A, Magnan B. Leap motion gesture control with OsiriX in the operating room to control imaging: first experiences during live surgery. *Surg Innov* 2014 Dec;21(6):655-656. [doi: [10.1177/1553350614528384](https://doi.org/10.1177/1553350614528384)] [Medline: [24742500](#)]
55. Bizzotto N, Costanzo A, Maluta T, Dall'Oca C, Lavini F, Sandri A. Preliminary experience with the use of leap motion gesture control to manage imaging in the operating room. *J Orthopaed Traumatol* 2014 Nov;15(Suppl 1):19-20 [FREE Full text]
56. Streba C, Gheonea I, Streba L, Sandulescu L, Saftoiu A, Gheone D. Virtual Palpation Model -combining spiral CT and elastography data: a proof-of-concept study. *Gastroenterology* 2014;146(5):344-345 [FREE Full text] [doi: [10.1016/S0016-5085\(13\)63684-7](https://doi.org/10.1016/S0016-5085(13)63684-7)]
57. Nouei M, Kamyad A, Soroush A, Ghazalbash S. A comprehensive operating room information system using the Kinect sensors and RFID. *J Clin Monit Comput* 2015 Apr;29(2):251-261. [doi: [10.1007/s10877-014-9591-5](https://doi.org/10.1007/s10877-014-9591-5)] [Medline: [25017016](#)]
58. Hettig J, Saalfeld P, Luz M, Becker M, Skalej M, Hansen C. Comparison of gesture and conventional interaction techniques for interventional neuroradiology. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2017 Sep;12(9):1643-1653. [doi: [10.1007/s11548-017-1523-7](https://doi.org/10.1007/s11548-017-1523-7)] [Medline: [28120179](#)]
59. Johnson R, O'Hara K, Sellen A, Cousins C, Crimini C. Exploring the Potential for Touchless Interaction in Image-Guided Interventional Radiology. 2011 Presented at: CHI'11; May 7-12, 2011; Vancouver, BC, Canada p. 3323-3332 URL: https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2011/05/chi2011_paper188.pdf [doi: [10.1145/1978942.1979436](https://doi.org/10.1145/1978942.1979436)]
60. Hötter AM, Pitton MB, Mildnerberger P, Düber C. Speech and motion control for interventional radiology: requirements and feasibility. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2013 Nov;8(6):997-1002. [doi: [10.1007/s11548-013-0841-7](https://doi.org/10.1007/s11548-013-0841-7)] [Medline: [23580026](#)]
61. Tan JH, Chao C, Zawaideh M, Roberts AC, Kinney TB. Informatics in Radiology: developing a touchless user interface for intraoperative image control during interventional radiology procedures. *Radiographics* 2013;33(2):E61-E70. [doi: [10.1148/rg.332125101](https://doi.org/10.1148/rg.332125101)] [Medline: [23264282](#)]
62. Iannessi A, Marcy P, Clatz O, Fillard P, Ayache N. Touchless intra-operative display for interventional radiologist. *Diagn Interv Imaging* 2014 Mar;95(3):333-337 [FREE Full text] [doi: [10.1016/j.diii.2013.09.007](https://doi.org/10.1016/j.diii.2013.09.007)] [Medline: [24176864](#)]
63. Bercu Z, Patil V, Patel RS, Kim E, Nowakowski F, Lookstein R. Abstracts of the BSIR 2013 Annual Scientific Meeting. November 13-15, 2013, Manchester, England. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2014 Jan;37(Suppl 1):1-82 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s00270-013-0835-4](https://doi.org/10.1007/s00270-013-0835-4)] [Medline: [24425448](#)]
64. Bercu Z, Patil VV, Patel R, Kim E, Nowakowski S, Lookstein R, et al. Use of hands free gesture-based imaging control for vessel identification during hepatic transarterial chemoembolization and selective internal radiotherapy procedures. *J Vasc Interv Radiol* 2015 Feb;26(2):S186-S187 [FREE Full text] [doi: [10.1016/j.jvir.2014.12.499](https://doi.org/10.1016/j.jvir.2014.12.499)]
65. Mentis H, O'Hara K, Sellen A, Rikin TR. Interaction proxemics and image use in neurosurgery. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, NY, USA: ACM Conference on Computer-Human Interaction; 2012 Presented at: CHI'12; May 5-10, 2012; New York, NY, USA p. 927-936. [doi: [10.1145/2207676.2208536](https://doi.org/10.1145/2207676.2208536)]
66. Wright T, de Ribaupierre S, Eagleson R. Design and evaluation of an augmented reality simulator using leap motion. *Health Technol Lett* 2017 Oct;4(5):210-215 [FREE Full text] [doi: [10.1049/hlt.2017.0070](https://doi.org/10.1049/hlt.2017.0070)] [Medline: [29184667](#)]
67. Yoshimitsu K, Muragaki Y, Maruyama T, Saito T, Suzuki T, Ikuta S. Clinical trials of the non-touch intraoperative image controllable interface system using KINECT(TM). *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2012;7(Suppl 1):S209-S210.
68. Yoshimitsu K, Muragaki Y, Maruyama T, Yamato M, Iseki H. Development and initial clinical testing of "OPECT": an innovative device for fully intangible control of the intraoperative image-displaying monitor by the surgeon. *Neurosurgery* 2014 Mar;10 Suppl 1:46-50; discussion 50. [doi: [10.1227/NEU.0000000000000214](https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000000214)] [Medline: [24141478](#)]

69. di Tommaso L, Aubry S, Godard J, Katranji H, Pauchot J. A new human machine interface in neurosurgery: The Leap Motion®. Technical note regarding a new touchless interface. *Neurochirurgie* 2016 Jun;62(3):178-181. [doi: [10.1016/j.neuchi.2016.01.006](https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2016.01.006)] [Medline: [27234915](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27234915/)]
70. Xu X, Zheng Y, Yao S, Sun G, Xu B, Chen X. A low-cost multimodal head-mounted display system for neuroendoscopic surgery. *Brain Behav* 2018 Dec;8(1):e00891 [FREE Full text] [doi: [10.1002/brb3.891](https://doi.org/10.1002/brb3.891)] [Medline: [29568688](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29568688/)]
71. Henseler H, Kuznetsova A, Vogt P, Rosenhahn B. Validation of the Kinect device as a new portable imaging system for three-dimensional breast assessment. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2014 Apr;67(4):483-488. [doi: [10.1016/j.bjps.2013.12.025](https://doi.org/10.1016/j.bjps.2013.12.025)] [Medline: [24513562](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24513562/)]
72. Wheat JS, Choppin S, Goyal A. Development and assessment of a Microsoft Kinect based system for imaging the breast in three dimensions. *Med Eng Phys* 2014 Jun;36(6):732-738. [doi: [10.1016/j.medengphy.2013.12.018](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2013.12.018)] [Medline: [24507690](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24507690/)]
73. Pöhlmann ST, Harkness E, Taylor C, Gandhi A, Astley S. Preoperative implant selection for unilateral breast reconstruction using 3D imaging with the Microsoft Kinect sensor. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2017 Aug;70(8):1059-1067. [doi: [10.1016/j.bjps.2017.04.005](https://doi.org/10.1016/j.bjps.2017.04.005)] [Medline: [28595842](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28595842/)]
74. Klumb F, Dubois-Ferriere V, Roduit N, Barea C, Strgar T, Ahmed K. CARS 2017-Computer Assisted Radiology and Surgery Proceedings of the 31st International Congress and Exhibition Barcelona, Spain, June 20-24, 2017. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2017 Jun;12(Suppl 1):1-286 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s11548-017-1588-3](https://doi.org/10.1007/s11548-017-1588-3)] [Medline: [28527024](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28527024/)]
75. Pauly O, Diotte B, Fallavollita P, Weidert S, Euler E, Navab N. Machine learning-based augmented reality for improved surgical scene understanding. *Comput Med Imaging Graph* 2015 Apr;41:55-60. [doi: [10.1016/j.compmedimag.2014.06.007](https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2014.06.007)] [Medline: [24998759](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24998759/)]
76. Jacob MG, Wachs JP. Context-based hand gesture recognition for the operating room. *Pattern Recognit Lett* 2014 Jan;36:196-203. [doi: [10.1016/j.patrec.2013.05.024](https://doi.org/10.1016/j.patrec.2013.05.024)]
77. Hughes P, Nestorov N, Healy N, Sheehy N, O'Hare N. Comparing the utility and usability of the Microsoft Kinect and Leap Motion sensor devices in the context of their application for gesture control of biomedical images. 2015 Presented at: ECR 2015; March 4-8, 2015; Vienna. [doi: [10.1594/ecr2015/B-1192](https://doi.org/10.1594/ecr2015/B-1192)]
78. O'Hara K, Gonzalez G, Penney G, Sellen A, Corish R, Mentis H, et al. Interactional order and constructed ways of seeing with touchless imaging systems in surgery. *Comput Supported Coop Work* 2014 May 7;23(3):299-337 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s10606-014-9203-4](https://doi.org/10.1007/s10606-014-9203-4)]
79. Kirmizibayrak C, Radeva N, Wakid M, Philbeck J, Sibert J, Hahn J. Evaluation of gesture based interfaces for medical volume visualization tasks. *Int J Virtual Real* 2012;1-13 [FREE Full text] [doi: [10.1145/2087756.2087764](https://doi.org/10.1145/2087756.2087764)]
80. Wipfli R, Dubois-Ferrière V, Budry S, Hoffmeyer P, Lovis C. Gesture-controlled image management for operating room: a randomized crossover study to compare interaction using gestures, mouse, and third person relaying. *PLoS One* 2016;11(4):e0153596 [FREE Full text] [doi: [10.1371/journal.pone.0153596](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153596)] [Medline: [27082758](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27082758/)]
81. Ogura T, Sato M, Ishida Y, Hayashi N, Doi K. Development of a novel method for manipulation of angiographic images by use of a motion sensor in operating rooms. *Radiol Phys Technol* 2014 Jul;7(2):228-234. [doi: [10.1007/s12194-014-0259-0](https://doi.org/10.1007/s12194-014-0259-0)] [Medline: [24609904](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24609904/)]
82. Wachs J, Stern H, Edan Y, Gillam M, Feied C, Smith M. A Real-Time Hand Gesture Interface for Medical Visualization Applications. In: Tiwari A, Roy R, Knowles J, Avineri E, Dahal K, editors. *Applications of Soft Computing, Volume 36 of Advances in Intelligent and Soft Computing*. Berlin Heidelberg: Springer; 2006:153.
83. Jacob M, Cange C, Packer R, Wachs J. Intention, context and gesture recognition for sterile MRI navigation in the operating room. In: Alvarez L, Mejail M, Gomez L, Jacobo J, editors. *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications, Volume 7441 of Lecture Notes in Computer Science*. Berlin Heidelberg: Springer; 2012:220-227.
84. Frame M. A novel system for hands free manipulation of digital X-rays in a sterile environment using consumer electronics and software. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2012;7(Supplement 1):S208 [FREE Full text]
85. Ebert L, Hatch G, Thali M, Ross S. Invisible touch—Control of a DICOM viewer with finger gestures using the Kinect depth camera. *J Forensic Radiol Imaging* 2013 Jan;1(1):10-14 [FREE Full text] [doi: [10.1016/j.jofri.2012.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jofri.2012.11.006)]
86. Ogura T, Sato M, Ishida Y, Hayashi N, Doi K. Development of a novel method for manipulation of angiographic images by use of a motion sensor in operating rooms. *Radiol Phys Technol* 2014 Jul;7(2):228-234. [doi: [10.1007/s12194-014-0259-0](https://doi.org/10.1007/s12194-014-0259-0)] [Medline: [24609904](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24609904/)]
87. Ebert L, Flach P, Thali M, Ross S. Out of touch – a plugin for controlling OsiriX with gestures using the leap controller. *J Forensic Radiol Imaging* 2014 Jul;2(3):126-128 [FREE Full text] [doi: [10.1016/j.jofri.2014.05.006](https://doi.org/10.1016/j.jofri.2014.05.006)]
88. Rossol N, Cheng I, Shen R, Basu A. Touchfree medical interfaces. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2014;2014:6597-6600. [doi: [10.1109/EMBC.2014.6945140](https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6945140)] [Medline: [25571508](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25571508/)]
89. Iannesi A, Marcy PY, Clatz O, Ayache N, Fillard P. Touchless user interface for intraoperative image control: almost there. *Radiographics* 2014;34(4):1142-1144. [doi: [10.1148/rg.344135158](https://doi.org/10.1148/rg.344135158)] [Medline: [25019447](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25019447/)]
90. Widmer A, Schaer R, Markonis D, Müller H. Gesture interaction for content-based medical image retrieval. *ACM New York, NY, USA: ACM International Conference on Multimedia Retrieval*. Glasgow; 2014 Presented at: ICMR'14; 2014; Glasgow, United Kingdom. [doi: [10.1145/2578726.2578804](https://doi.org/10.1145/2578726.2578804)]



91. Ogura T, Sato M, Kadowaki Y, Yasumoto Y, Okajima M, Tsutsumi S. Development of a new method for manipulation of dental images using a motion sensor in dentistry. 2015 Presented at: ECR 2015; March 4-8, 2015; Vienna, Austria. [doi: [10.1594/ecr2015/C-0251](https://doi.org/10.1594/ecr2015/C-0251)]
92. Ogura T, Sato M, Ishida Y, Hayashi N, Doi K. Development of a novel method for manipulation of angiographic images by use of a motion sensor in operating rooms. *Radiol Phys Technol* 2014 Jul;7(2):228-234. [doi: [10.1007/s12194-014-0259-0](https://doi.org/10.1007/s12194-014-0259-0)] [Medline: [24609904](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24609904/)]
93. Mewes A, Saalfeld P, Riabikin O, Skalej M, Hansen C. A gesture-controlled projection display for CT-guided interventions. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2016 Jan;11(1):157-164. [doi: [10.1007/s11548-015-1215-0](https://doi.org/10.1007/s11548-015-1215-0)] [Medline: [25958060](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25958060/)]
94. Nainggolan F, Siregar B, Fahmi F. Anatomy learning system on human skeleton using Leap Motion Controller. : IEEE; 2016 Aug 15 Presented at: 2016 3rd International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS); August 15-17, 2016; Kuala Lumpur, Malaysia p. 2016-2013. [doi: [10.1109/ICCOINS.2016.7783260](https://doi.org/10.1109/ICCOINS.2016.7783260)]
95. Virag I, Stoicu-Tivadar L, Crisan-Vida M. Gesture-based interaction in medical interfaces. 2016 Jul 11 Presented at: 2016 IEEE 11th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI); May 12-14, 2016; Timisoara, Romania. [doi: [10.1109/SACI.2016.7507339](https://doi.org/10.1109/SACI.2016.7507339)]
96. Juhnke B, Berron M, Philip A, Williams J, Holub J, Winer E. Comparing the microsoft kinect to a traditional mouse for adjusting the viewed tissue densities of three-dimensional anatomical structures. 2013 Presented at: Medical Imaging 2013: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment; 2013; Baltimore, Maryland, USA p. 86731 URL: <https://doi.org/10.1117/12.2006994> [doi: [10.1117/12.2006994](https://doi.org/10.1117/12.2006994)]
97. Pulijala Y, Ma M, Pears M, Peebles D, Ayoub A. An innovative virtual reality training tool for orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2018 Sep;47(9):1199-1205. [doi: [10.1016/j.ijom.2018.01.005](https://doi.org/10.1016/j.ijom.2018.01.005)] [Medline: [29398172](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29398172/)]
98. Pulijala Y, Ma M, Pears M, Peebles D, Ayoub A. Effectiveness of immersive virtual reality in surgical training-a randomized control trial. *J Oral Maxillofac Surg* 2018 May;76(5):1065-1072. [doi: [10.1016/j.joms.2017.10.002](https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.10.002)] [Medline: [29104028](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29104028/)]
99. Placitelli A, Gallo L. 3D point cloud sensors for low-cost medical in-situ visualization. USA: IEEE; 2011 Presented at: 2011 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine Workshops (BIBMW); November 12-15, 2011; Atlanta, GA, USA p. 596. [doi: [10.1109/BIBMW.2011.6112435](https://doi.org/10.1109/BIBMW.2011.6112435)]
100. Samosky JT, Wang B, Nelson DA, Bregman R, Hosmer A, Weaver RA. BodyWindows: enhancing a mannequin with projective augmented reality for exploring anatomy, physiology and medical procedures. *Stud Health Technol Inform* 2012;173:433-439. [Medline: [22357032](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22357032/)]
101. Blum T, Kleeberger V, Bichlmeier C, Navab N. Miracle: an augmented reality magic mirror system for anatomy education. 2012 Presented at: 2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW); March 4-8, 2012; Costa Mesa, CA, USA p. 433-439. [doi: [10.1109/VR.2012.6180909](https://doi.org/10.1109/VR.2012.6180909)]
102. Dargar S, Nunno A, Sankaranarayanan G, De S. Microsoft Kinect based head tracking for Life Size Collaborative Surgical Simulation Environments (LS-CollaSSE). *Stud Health Technol Inform* 2013;184:109-113. [doi: [10.3233/978-1-61499-209-7-109](https://doi.org/10.3233/978-1-61499-209-7-109)] [Medline: [23400140](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23400140/)]
103. Juhnke B. Iowa State University. 2013. Evaluating the Microsoft Kinect compared to the mouse as an effective interaction device for medical imaging manipulations URL: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4362&context=etd>
104. Guo X, Lopez L, Yu Z, Steiner KV, Barner K, Bauer T, et al. A portable immersive surgery training system using RGB-D sensors. *Stud Health Technol Inform* 2013;184:161-167. [doi: [10.3233/978-1-61499-209-7-161](https://doi.org/10.3233/978-1-61499-209-7-161)] [Medline: [23400150](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23400150/)]
105. Yang Y, Guo X, Yu Z, Steiner KV, Barner KE, Bauer TL, et al. An immersive surgery training system with live streaming capability. *Stud Health Technol Inform* 2014;196:479-485. [doi: [10.3233/978-1-61499-375-9-479](https://doi.org/10.3233/978-1-61499-375-9-479)] [Medline: [24732560](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24732560/)]
106. Hochman JB, Unger B, Kraut J, Pisa J, Hombach-Klonisch S. Gesture-controlled interactive three dimensional anatomy: a novel teaching tool in head and neck surgery. *J Otolaryngol Head Neck Surg* 2014;43:38 [FREE Full text] [doi: [10.1186/s40463-014-0038-2](https://doi.org/10.1186/s40463-014-0038-2)] [Medline: [25286966](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25286966/)]
107. Koccev B, Ritter F, Linsen L. Projector-based surgeon-computer interaction on deformable surfaces. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2014 Mar;9(2):301-312. [doi: [10.1007/s11548-013-0928-1](https://doi.org/10.1007/s11548-013-0928-1)] [Medline: [23888316](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23888316/)]
108. Alvarez-Lopez F, Maïna MF, Saigi-Rubió F. Natural user interfaces: is it a solution to accomplish ubiquitous training in minimally invasive surgery? *Surg Innov* 2016 Aug;23(4):429-430. [doi: [10.1177/15533506166639145](https://doi.org/10.1177/15533506166639145)] [Medline: [27009688](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27009688/)]
109. Juanes JA, Gómez JJ, Peguero PD, Ruisoto P. Digital environment for movement control in surgical skill training. *J Med Syst* 2016 Jun;40(6):133. [doi: [10.1007/s10916-016-0495-4](https://doi.org/10.1007/s10916-016-0495-4)] [Medline: [27091754](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27091754/)]
110. Svendsen MB, Preisler L, Hillingsøe JG, Svendsen LB, Konge L. Using motion capture to assess colonoscopy experience level. *World J Gastrointest Endosc* 2014 May 16;6(5):193-199 [FREE Full text] [doi: [10.4253/wjge.v6.i5.193](https://doi.org/10.4253/wjge.v6.i5.193)] [Medline: [24891932](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24891932/)]
111. Colella S, Svendsen MB, Konge L, Svendsen LB, Sivapalan P, Clementsen P. Assessment of competence in simulated flexible bronchoscopy using motion analysis. *Respiration* 2015;89(2):155-161 [FREE Full text] [doi: [10.1159/000369471](https://doi.org/10.1159/000369471)] [Medline: [25591730](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25591730/)]
112. Coles T, Cao C, Dumas C. SAGES. 2014. ETrack: An affordable Ergonomic assessment tool for surgical settings URL: <http://www.sages.org/meetings/annual-meeting/abstracts-archive/etrack-an-affordable-ergonomic-assessment-tool-for-surgical-settings/> [accessed 2019-04-02] [WebCite Cache ID [77KXM9p9R](https://www.webcitation.org/77KXM9p9R)]

113. Kim Y, Kim P, Selle R, Shademan A, Krieger A. Experimental evaluation of contact-less hand tracking systems for tele-operation of surgical tasks. 2014 May 31 Presented at: 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA); May 31-June 7, 2014; Hong Kong, China p. 2014. [doi: [10.1109/ICRA.2014.6907364](https://doi.org/10.1109/ICRA.2014.6907364)]
114. Beyl T, Schreiter L, Nicolai P, Raczkowski J, Wörn H. 3D perception technologies for surgical operating theatres. *Stud Health Technol Inform* 2016;220:45-50. [Medline: [27046552](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27046552/)]
115. Jacob M, Li Y, Akingba G, Wachs JP. Gestonurse: a robotic surgical nurse for handling surgical instruments in the operating room. *J Robot Surg* 2012 Mar;6(1):53-63. [doi: [10.1007/s11701-011-0325-0](https://doi.org/10.1007/s11701-011-0325-0)] [Medline: [27637980](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27637980/)]
116. Despinoy F, Sánchez A, Zemiti N, Jannin P, Poignet P. Comparative assessment of a novel optical human-machine interface for laparoscopic telesurgery. In: Stoyanov D, editor. *Information Processing in Computer-Assisted Interventions*. Cham: Springer; 2014:21.
117. Vargas H, Vivas O. Gesture recognition system for surgical robot's manipulation. 2014 Presented at: 2014 XIX Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision; September 17-19, 2014; Armenia, Colombia. [doi: [10.1109/STSIVA.2014.7010172](https://doi.org/10.1109/STSIVA.2014.7010172)]
118. Travaglini TA, Swaney PJ, Weaver KD, Webster RJ. Initial experiments with the leap motion as a user interface in robotic endonasal surgery. *Robot Mechatron* (2015) 2016;37:171-179 [FREE Full text] [doi: [10.1007/978-3-319-22368-1_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22368-1_17)] [Medline: [26752501](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26752501/)]
119. Despinoy F, Zemiti N, Forestier G, Sánchez A, Jannin P, Poignet P. Evaluation of contactless human-machine interface for robotic surgical training. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2018 Jan;13(1):13-24. [doi: [10.1007/s11548-017-1666-6](https://doi.org/10.1007/s11548-017-1666-6)] [Medline: [28914409](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28914409/)]
120. Lahanas V, Loukas C, Georgiou K, Lababidi H, Al-Jaroudi D. Virtual reality-based assessment of basic laparoscopic skills using the Leap Motion controller. *Surg Endosc* 2017 Dec;31(12):5012-5023. [doi: [10.1007/s00464-017-5503-3](https://doi.org/10.1007/s00464-017-5503-3)] [Medline: [28466361](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28466361/)]
121. Kowalewski K, Hendrie JD, Schmidt MW, Garrow CR, Bruckner T, Proctor T, et al. Development and validation of a sensor- and expert model-based training system for laparoscopic surgery: the iSurgeon. *Surg Endosc* 2017 Dec;31(5):2155-2165. [doi: [10.1007/s00464-016-5213-2](https://doi.org/10.1007/s00464-016-5213-2)] [Medline: [27604368](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27604368/)]
122. Pérez F, Sossa H, Martínez R, Lorias D. Video-based tracking of laparoscopic instruments using an orthogonal webcams system. *Acad Sci Eng Technol Int J* 2013;7(8):440-443 [FREE Full text] [doi: [10.5281/zenodo.1086517](https://doi.org/10.5281/zenodo.1086517)]
123. Oropesa I, de Jong T, Sánchez-González P, Dankelman J, Gómez E. Feasibility of tracking laparoscopic instruments in a box trainer using a Leap Motion Controller. *Measurement* 2016 Feb;80:115 [FREE Full text] [doi: [10.1016/j.measurement.2015.11.018](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.11.018)]
124. Beck P. Free Patents Online. 2016. Accurate Three-dimensional Instrument Positioning URL: <http://www.freepatentsonline.com/20160354152.pdf> [accessed 2019-04-02] [WebCite Cache ID 77KST95Tx]
125. Owlia M, Khabbazan M, Mirbagheri MM, Mirbagheri A. Real-time tracking of laparoscopic instruments using kinect for training in virtual reality. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2016 Dec;2016:3945-3948. [doi: [10.1109/EMBC.2016.7591590](https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591590)] [Medline: [28269148](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28269148/)]
126. Partridge RW, Brown FS, Brennan PM, Hennessey IA, Hughes MA. The LEAPTM gesture interface device and take-home laparoscopic simulators: a study of construct and concurrent validity. *Surg Innov* 2016 Feb;23(1):70-77. [doi: [10.1177/15533350615594734](https://doi.org/10.1177/15533350615594734)] [Medline: [26178693](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26178693/)]
127. Sun X, Byrns S, Cheng I, Zheng B, Basu A. Smart sensor-based motion detection system for hand movement training in open surgery. *J Med Syst* 2017 Feb;41(2):24. [doi: [10.1007/s10916-016-0665-4](https://doi.org/10.1007/s10916-016-0665-4)] [Medline: [28000118](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28000118/)]
128. Hartmann F, Schlaefler A. Feasibility of touch-less control of operating room lights. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2013 Mar;8(2):259-268. [doi: [10.1007/s11548-012-0778-2](https://doi.org/10.1007/s11548-012-0778-2)] [Medline: [22806717](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22806717/)]
129. Mauser S, Burgert O. Touch-free, gesture-based control of medical devices and software based on the leap motion controller. *Stud Health Technol Inform* 2014;196:265-270. [doi: [10.1371/journal.pone.0176123](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176123)] [Medline: [24732520](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24732520/)]
130. Schröder S, Löffel N, Langmann B, Frank K, Reithmeier E. Contactless operating table control based on 3D image processing. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2014;2014:388-392. [doi: [10.1109/EMBC.2014.6943610](https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6943610)] [Medline: [25569978](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25569978/)]
131. Jacob M, Wachs J. Context-based hand gesture recognition for the operating room. *Pattern Recognit Lett* 2014 Jan;36:196-203 [FREE Full text] [doi: [10.1016/j.patrec.2013.05.024](https://doi.org/10.1016/j.patrec.2013.05.024)]
132. Sweet R, Kowalewski T, Oppenheimer P, Weghorst S, Satava R. Face, content and construct validity of the University of Washington virtual reality transurethral prostate resection trainer. *J Urol* 2004 Nov;172(5 Pt 1):1953-1957. [doi: [10.1097/01.ju.0000141298.06350.4c](https://doi.org/10.1097/01.ju.0000141298.06350.4c)] [Medline: [15540764](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15540764/)]
133. Higgins JP, Altman DG, Gotzsche PC, Juni P, Moher D, Oxman AD, Cochrane Bias Methods Group, Cochrane Statistical Methods Group. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *Br Med J* 2011 Oct 18;343:d5928 [FREE Full text] [doi: [10.1136/bmj.d5928](https://doi.org/10.1136/bmj.d5928)] [Medline: [22008217](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22008217/)]
134. Weichert F, Bachmann D, Rudak B, Fisseler D. Analysis of the accuracy and robustness of the Leap Motion Controller. *Sensors (Switzerland)* 2013 Jan;13(5):6380-6393. [Medline: [23673687](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23673687/)]
135. Bachmann D, Weichert F, Rinkenauer G. Evaluation of the leap motion controller as a new contact-free pointing device. *Sensors (Basel)* 2014 Dec 24;15(1):214-233 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s150100214](https://doi.org/10.3390/s150100214)] [Medline: [25609043](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25609043/)]



136. Guna J, Jakus G, Pogačnik M, Tomažič S, Sodnik J. An analysis of the precision and reliability of the leap motion sensor and its suitability for static and dynamic tracking. *Sensors (Basel)* 2014 Feb 21;14(2):3702-3720 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s140203702](https://doi.org/10.3390/s140203702)] [Medline: [24566635](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24566635/)]
137. Khoshelham K, Elberink SO. Accuracy and resolution of Kinect depth data for indoor mapping applications. *Sensors (Basel)* 2012;12(2):1437-1454 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s120201437](https://doi.org/10.3390/s120201437)] [Medline: [22438718](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22438718/)]
138. Mendez I, Hansen B, Grabow C, Smedegaard E, Skogberg N, Uth X, et al. Evaluation of the Myo armband for the classification of hand motions. *IEEE Int Conf Rehabil Robot* 2017 Dec;2017:1211-1214. [doi: [10.1109/ICORR.2017.8009414](https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009414)] [Medline: [28813986](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28813986/)]
139. Li C, Ren J, Huang H, Wang B, Zhu Y, Hu H. PCA and deep learning based myoelectric grasping control of a prosthetic hand. *Biomed Eng Online* 2018 Aug 6;17(1):107 [FREE Full text] [doi: [10.1186/s12938-018-0539-8](https://doi.org/10.1186/s12938-018-0539-8)] [Medline: [30081927](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30081927/)]
140. Ur Rehman MZ, Waris A, Gilani S, Jochumsen M, Niazi IK, Jamil M, et al. Multiday EMG-based classification of hand motions with deep learning techniques. *Sensors (Basel)* 2018 Aug 1;18(8):1-16 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s18082497](https://doi.org/10.3390/s18082497)] [Medline: [30071617](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30071617/)]
141. Sánchez-Margallo JA, Sánchez-Margallo FM, Pagador Carrasco JB, Oropesa García I, Gómez Aguilera EJ, Moreno del Pozo J. Usefulness of an optical tracking system in laparoscopic surgery for motor skills assessment. *Cir Esp* 2014;92(6):421-428. [doi: [10.1016/j.ciresp.2013.01.006](https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2013.01.006)] [Medline: [23668944](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23668944/)]

Abbreviations

- 3D:** 3-dimensional
COTS: commercial off-the-shelf
EMBASE: Excerpta Medica dataBASE
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
LMC: Leap Motion Controller
MeSH: Medical Subject Headings
MIS: minimally invasive surgery
MK: Microsoft Kinect

Edited by G Eysenbach; submitted 12.08.18; peer-reviewed by K Kowalewski, JA Sánchez Margallo, B Davies; comments to author 13.10.18; revised version received 04.01.19; accepted 25.01.19; published 14.04.19

Please cite as:

Alvarez-Lopez F, Maina MF, Saigi-Rubió F
Use of Commercial Off-The-Shelf Devices for the Detection of Manual Gestures in Surgery: Systematic Literature Review
J Med Internet Res 2019;21(5):e11925
 URL: <https://www.jmir.org/2019/5/e11925/>
 doi: [10.2196/11925](https://doi.org/10.2196/11925)
 PMID: [31066679](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31066679/)

©Fernando Alvarez-Lopez, Marcelo Fabián Maina, Francesc Saigi-Rubió. Originally published in the Journal of Medical Internet Research (<http://www.jmir.org>), 14.04.2019. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work, first published in the Journal of Medical Internet Research, is properly cited. The complete bibliographic information, a link to the original publication on <http://www.jmir.org/>, as well as this copyright and license information must be included.

3.2 Publicación 02. 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

[Original Paper](#)

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

Fernando Alvarez-Lopez^{1*}, MD; Marcelo Fabián Maina^{2*}, PhD; Francesc Saigi-Rubió^{3*}, PhD

¹Faculty of Health Sciences, Universidad de Manizales, Caldas, Colombia

²Faculty of Psychology and Education Sciences, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Spain

³Faculty of Health Sciences, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Spain

*all authors contributed equally

Corresponding Author:

Francesc Saigi-Rubió, PhD
Faculty of Health Sciences
Universitat Oberta de Catalunya
Avinguda Tibidabo, 39-43
Barcelona, 08035
Spain
Phone: 34 933263622
Email: fsaigi@uoc.edu

Abstract

Background: Simulation in virtual environments has become a new paradigm for surgeon training in minimally invasive surgery (MIS). However, this technology is expensive and difficult to access.

Objective: This study aims first to describe the development of a new gesture-based simulator for learning skills in MIS and, second, to establish its fidelity to the criterion and sources of content-related validity evidence.

Methods: For the development of the gesture-mediated simulator for MIS using virtual reality (SIMISGEST-VR), a design-based research (DBR) paradigm was adopted. For the second objective, 30 participants completed a questionnaire, with responses scored on a 5-point Likert scale. A literature review on the validity of the MIS training-VR (MIST-VR) was conducted. The study of fidelity to the criterion was rated using a 10-item questionnaire, while the sources of content-related validity evidence were assessed using 10 questions about the simulator training capacity and 6 questions about MIS tasks, and an iterative process of instrument pilot testing was performed.

Results: A *good enough* prototype of a gesture-based simulator was developed with metrics and feedback for learning psychomotor skills in MIS. As per the survey conducted to assess the fidelity to the criterion, all 30 participants felt that most aspects of the simulator were adequately realistic and that it could be used as a tool for teaching basic psychomotor skills in laparoscopic surgery (Likert score: 4.07-4.73). The sources of content-related validity evidence showed that this study's simulator is a reliable training tool and that the exercises enable learning of the basic psychomotor skills required in MIS (Likert score: 4.28-4.67).

Conclusions: The development of gesture-based 3D virtual environments for training and learning basic psychomotor skills in MIS opens up a new approach to low-cost, portable simulation that allows ubiquitous learning and preoperative warm-up. Fidelity to the criterion was duly evaluated, which allowed a good enough prototype to be achieved. Content-related validity evidence for SIMISGEST-VR was also obtained.

(*J Med Internet Res* 2020;22(7):e17491) doi: [10.2196/17491](https://doi.org/10.2196/17491)

KEYWORDS

simulation training; minimally invasive surgery; user-computer interface; operating rooms; medical education; computer-assisted surgery

<http://www.jmir.org/2020/7/e17491/>

J Med Internet Res 2020 | vol. 22 | iss. 7 | e17491 | p. 1
(page number not for citation purposes)



Introduction

Background

The emergence of minimally invasive surgery (MIS) in the mid-1980s [1] led to an increase in the number of iatrogenic bile duct injuries, as many surgeons worldwide switched from the paradigm of open surgery to these procedures with no previous training [2,3]. In the wake of these developments, simulation became valuable as a tool for learning psychomotor skills in MIS and numerous studies have demonstrated its usefulness [4,5].

Simulators for skill learning in MIS can be classified into 3 large groups: (1) traditional box trainers, (2) augmented reality simulators (hybrids), and (3) virtual reality (VR) simulators [6,7]. The last two are expensive and are unavailable in most universities or hospitals in developing countries [8]. The first VR simulator for MIS training was MIS training-VR (MIST-VR) [9]. In 1998, evidence for the construct validity of the device was established [10]. Later, in 2002, the evidence for prediction validity was added [4,11]. Finally, from 2002 onward, the evidence for concurrent validity was also demonstrated [12,13]. Recent years have seen the development of low-cost, gesture-based touchless devices that can interact with 3D virtual environments, such as the Microsoft Kinect (MS Kinect, Microsoft Corp), Leap Motion Controller (LMC; Leap Motion Inc), and the Myo armband (Thalmic Labs, Kitchener) [14].

For the development of the simulator used in this study, the researchers adopted the design-based research (DBR) paradigm, also known as *design research*. DBR seeks the creation and validation of useful artifacts that do not exist in nature [15] and is described by Manson [16] as “a process of using knowledge to design and create useful artefacts, and then using various rigorous methods to analyze why, or why not, a particular artefact is effective. The understanding gained during the analysis phase feeds back into and builds the body of knowledge of the discipline.” DBR is a solution-oriented process that focuses on solving practical and complex real-world problems [17]. The artifacts created can be constructs (vocabulary and symbols), models (abstractions and representations), methods (algorithms and practices), *instantiations* (implemented and prototype systems), and better design theories [18,19]. To develop the simulator, the study followed the method proposed by Manson [16,20,21], in which using processes of abduction and deduction that detect errors in the design or function of the prototype, supports the development of improved versions until a sufficiently *good enough* functional product is obtained that can be subjected to validation studies [16,20-22]. These *good enough* devices are rarely complete and are functional systems ready to be used in practice; rather, they are innovations that define the ideas, practices, technical capabilities, and products using which systems analysis, design, implementation, and use are achieved effectively and efficiently [17].

Objectives

The first aim of this study was to describe the development of a web-based 3D VR simulator mediated by a gesture interface device (LMC) for learning basic psychomotor skills in MIS,

called gesture-mediated simulator for MIS-VR (SIMISGEST-VR). The device is characterized by its portability and low cost, as well as the possibility of learning and training at any time and place (ubiquitous learning). The second aim of this study was to evaluate fidelity to the criterion and to find sources of content-related validity evidence for SIMISGEST-VR.

Methods

Overview

This is a descriptive report of the development, using a DBR paradigm, of a gesture-mediated simulator for learning basic psychomotor skills and of the prospective evaluation of the data obtained from Likert scale surveys to evaluate fidelity to the criterion and the sources of content-related evidence. To this end, the study participants rated fidelity to the criterion using a 10-item questionnaire about its ease of use, relevance as a tool for simulation in MIS, degree of correspondence between the movements of the forceps and their representation in the virtual space, and feedback. The sources of content-related validity evidence were (1) a literature review on a previously validated tool, the MIST-VR, and (2) an expert panel that answered 10 questions about the training capacity and 6 questions about each proposed task, with responses scored on a 5-point Likert scale that rated the extent to which the test content represented the domain evaluated. An iterative process of simulator development was performed using pilot testing by surgeons, engineers, and education experts until a *good enough* prototype was achieved.

The hypotheses were as follows:

- It is possible to develop a portable, low-cost, gesture-mediated simulator using the LMC for training and learning basic psychomotor skills in MIS.
- The 3D virtual environment and the proposed tasks showed fidelity to the criterion.
- It is possible to demonstrate sources of evidence for the content validity of the test items.

The first step of the validation process was to define the construct and proposed interpretation. In this study, the general construct is psychomotor skills in surgery, specifically basic psychomotor skills in MIS. The assumptions and proposed interpretations are that the 3D virtual environment is faithful to the criterion and the tasks adapted from the MIST-VR represent the construct that is intended to be measured. The instrument under investigation is a contactless, gesture-mediated simulator that uses the LMC (construct context). To determine the current use of gesture-mediated interfaces in surgery, especially in the field of surgical simulation, a systematic literature review was conducted [14]. Finally, as content-related validity evidence was collected, the goal was to identify whether there were any areas of construct underrepresentation or construct irrelevance.

Phase 1: Initial Development of the Gesture-Mediated Simulator for Minimally Invasive Surgery-Virtual Reality

To develop a new type of web-based 3D VR simulator mediated by a gesture interface device (LMC) for learning basic

psychomotor skills in MIS, a group consisting of a pediatric surgeon, systems engineer, industrial designer, and specialists in education was formed. The following technical elements were assembled: an electronic device (LMC), a computer program for the development of the 3D environment, a computer, hardware devices with no electronic components, and a database administrator.

Electronic Device: Leap Motion Controller

In May 2012, a sensor was launched based on the principle of infrared optical tracking, which detects the positions of fine objects as fingertips or pen tips in a Cartesian plane. Its interaction zone is an inverted cone of approximately 0.23 m³, and it has a motion detection range that fluctuates between 20 mm and 600 mm [23,24]. This sensor measures 76 mm × 30 mm × 13 mm and weighs 45 g. It has 3 infrared emitters and 2 infrared cameras that capture the movements generated within the interaction zone [25,26]. The manufacturer reports an accuracy of 0.01 mm for fingertip detection, although one independent study showed an accuracy of 0.7 mm [27]. Although the LMC is designed mainly to detect the motion of the hands, it can track objects such as pencils and laparoscopic surgical forceps [28,29].

The LMC has been used as a tool to manipulate medical images in the fields of interventional radiology and image-guided surgery or when there is a risk of contamination through contact (eg, autopsy rooms). It has also been used for touchless control of operating lights and tables and simulation in MIS and robotic surgery using physical or VR simulators [14,28].

Unity3D and Development of the Web-Based Virtual Environment Based on Minimally Invasive Surgery Training–Virtual Reality Tasks

The 3D virtual environment with MIS tasks was created using a tool for developing games, Unity3D, which allows apps to be developed that are independent of the operating system or device [30].

The basis for the development of this environment was the MIST-VR, presented in 1997. This device is a low-cost, nonprocedural simulator that provides a large variety of metric data for analysis [31] and generates simple and abstract images that allow the training and learning of basic psychomotor maneuvers that cross many surgical disciplines [9,32,33]. The simple images allow novice learners to progress rapidly in the early phase of the basic psychomotor skills learning curve [34–36], although detailed performance analysis and feedback allow them to train alone, with no need for specialized instructors [37].

The basic psychomotor skills in MIS that can be learned using the MIST-VR are navigation-coordination, touching, grasping, stretching-traction, translocation, and electrocautery [38].

Computer

The computer displays the 3D virtual environment, records the metrics, stores them on a database, and provides feedback using graphs that show the score obtained after each exercise. The virtual environment developed runs on both PC and iOS operating systems.

Hardware Devices

The mechanical devices are represented by 2 MIS forceps that do not need to be functional, 2 support devices for the forceps with an entry trocar simulator, 1 support device for the LMC, and 1 pad for mounting the support devices.

During the development of the virtual environment, the types of specificity recommended by Bowman et al [39] were applied:

- *Application:* To design a web-based 3D virtual environment for basic psychomotor skills training in MIS
- *Domain:* Basic psychomotor skills in MIS
- *Tasks:* 6 tasks described in the MIST-VR were adopted
- *Device:* LMC, LEAP
- *Users:* Surgeons in training for learning basic psychomotor skills in MIS

Phase 2: Evaluation of Fidelity to Criterion, Content-Related Validity Evidence

Subjects

The study was performed over a period of 3 months at different locations: XXXIV Brazilian Congress of Paediatric Surgery (Campo Grande, Brazil), Hospital Vall d'Hebron (Barcelona, Spain), and Hospital Infantil de la Cruz Roja (Manizales, Colombia). A total of 22 experienced surgeons (performed more than 100 MIS procedures) and 8 pediatric and general surgery residents (referent group, performed less than 100 MIS procedures) assisted in an informative session on the characteristics of the project, watched a demonstration video of the different tasks supported by the simulator, and had 2 opportunities to perform each of the tasks on the simulator. The performance metrics were not taken into account during this study, as the emphasis was placed on the assessment of the tool by those surveyed.

Content-Related Validity Evidence for a Previously Validated Tool

The first source of content validity for the SIMISGEST-VR sought to identify the main sources of validity evidence for the MIST-VR, as well as the studies that have demonstrated such validity.

Questionnaire

First, a demographic survey was administered that included questions on the level of training as a surgeon and level of experience in MIS, as well as experience with video games. The different factors in the evaluation of fidelity to the criterion and content validity study were assessed using a Likert scale, where 1=strongly disagree, 2=disagree, 3=neither agree nor disagree, 4=agree, and 5=strongly agree [40].

The questionnaire to assess fidelity to the criterion evaluated 10 aspects, while the content validity rated the training capacity and the tasks. In terms of the training capacity, 6 aspects were evaluated, and each of the 6 tasks (Table 1) was assessed based on whether or not it represented a specific surgical maneuver (Multimedia Appendix 1).

Simulator, Hardware, and Software

This study used SIMISGEST-VR with 6 tasks and their respective metrics and feedback. The hardware and software components of the simulator are described in phase 1: Development of SIMISGEST-VR of this paper.

Statistics

Normality was tested using the Shapiro-Wilk test. The distribution of the variables was not normal. The Likert scale median and interquartile range differences between the levels of education and experience were compared using the Kruskal-Wallis test. A statistically significant level <0.05 was established. The analysis was performed using Stata version 15.0 (StataCorp).

Results

Phase 1: Development of Gesture-Mediated Simulator for Minimally Invasive Surgery–Virtual Reality

The Virtual Environment

The virtual environment consists of the following modules:

- *Registration:* Collects the user's demographic information and stores it in the database
- *Tutorial:* Presents demonstration videos of the exercises
- *Test (tasks):* Supports 6 tasks, each of which corresponds to a surgical equivalent (Table 1) [9,41]
- *Performance graphs:* When an exercise is completed, the platform displays the results of the metrics in terms of the time taken to perform the exercise, precision of movement, and presence or absence of errors (immediate feedback: Figure 1). In this module, the student can look up the score obtained after each exercise and check whether or not their performance has improved (terminal feedback: Figure 2).

Except for Task 3, all tasks have the option of configuring the dominant hand during the exercise. Task 3 requires the simultaneous use of both hands and therefore both play a dominant function.

The web-based virtual environment runs on PC and iOS platforms.

These exercises are based on the instructional strategy known as *drill and practice*, which promotes the acquisition of knowledge or skill through repetitive practice [42].

Table 1. Description of the tasks and their surgical equivalents.

Task ^a	Description	Surgical equivalent
Task 1: Grip and placement	Take the sphere with one hand and move it to a new location within the workspace	Gripping and retraction of a tissue to a given position, placement of clips and hemostasis, and use of extractor bags
Task 2: Transfer and placement of an object	Take the sphere, transfer it to another instrument, and place it inside a hollow cylinder	Transfer of a needle between a clamp and a needle holder
Task 3: Cross	Instruments travel along a surface in a 3D cylinder	Small intestine exploration
Task 4: Removal and reinsertion of instruments	Removal of the instruments from the operative site and reinsertion	One instrument stabilizes one organ while the other is removed from the field and reintroduced
Task 5: Diathermy	Cauterize a series of targets located in a fixed sphere	Cauterize a bleeding blood vessel
Task 6: Target manipulation and diathermy	Take the sphere with the instrument and place it inside a virtual space represented by a cube. Cauterize a series of targets with the other hand	Present and set a target to cauterize

^aAdapted from [9].



Figure 1. Immediate feedback.

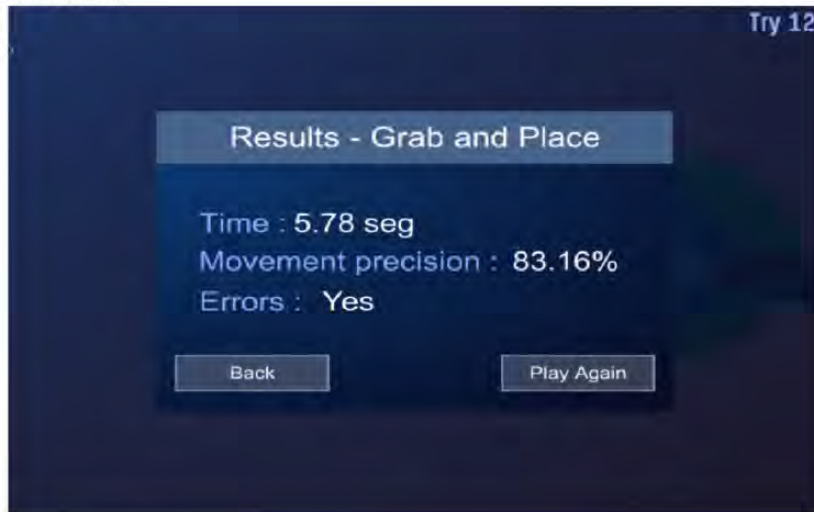
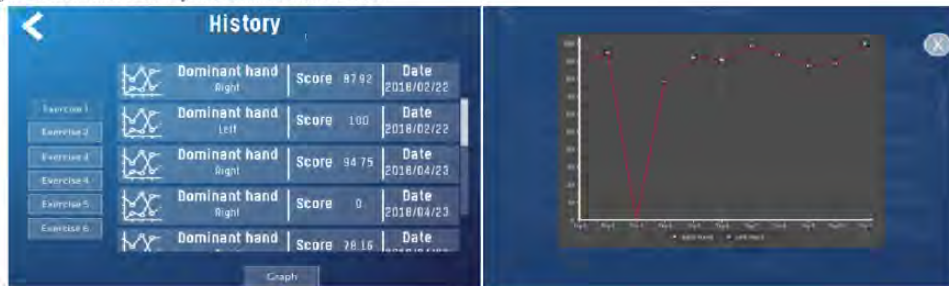


Figure 2. Performance history and terminal feedback curve.



Metrics

The metrics were established using 5 parameters:

1. *Time*: Time taken from starting the task until completion. The time is measured only for each individual task.
2. *Efficiency of movement for the right and left hand*: This is the time during which the tip of the forceps is outside the ideal path, that is, the difference between the actual and the ideal path length [10,43].
3. *Economy of diathermy*: If contact occurs with the target for more than 2 sec during the diathermy, it is considered excess burn time and is penalized as a specific error.
4. *Error*: The following were defined as errors [43,44]: contact of the target with a part of the forceps other than the tip: all exercises; contact of the instrument with the limits of the virtual working space: all exercises; number of contacts of the instrument with the target sphere: exercises 1 and 2; number of contacts of the instrument or the sphere with the container margins: exercises 1 and 2; number of times that the instruments made undue contact between them: exercises 3 and 4; number of times that the instruments exceeded the number of contacts permitted with the oval: exercise 4; time during which the tip of the instrument remained outside the ideal path for the exercise: exercises 1, 2, 4, and 6; diathermy of the sphere outside the stated objectives: exercises 5 and 6; excess burn time: exercises 5 and 6.
5. *Final score*: The final score is obtained from the sum of the results of the efficiency of movement for each hand plus the economy of diathermy and from the errors generated in each exercise. Each exercise generates different types of errors, and each error is assigned a value between 1 and 5, where 1 is the least important and 5 is the most important. For example, diathermy outside the assigned targets means an error with an assigned score of 5. The number of errors committed in each of the exercises is then counted, and this figure is multiplied by the value assigned to each error. Finally, all the figures obtained in each of the errors are added, and the final score results from subtracting the sum obtained from 100. This is expressed in the following formula: $100 - \sum(\text{error} \times \text{value})$. Thus, a higher score indicates better performance.

<http://www.jmir.org/2020/7/e17491/>

J Med Internet Res 2020 | vol. 22 | iss. 7 | e17491 | p. 5
(page number not for citation purposes)



Feedback

The haptic sensation and the concurrent feedback are simulated using sound signals, color changes in the objects, and movement of the object when an undue collision occurs between the different components of the environment or when an error occurs during the exercise. At the end of each task, the system provides information on the presence or absence of errors, the efficacy and efficiency, and the time required (immediate feedback). At the end of each training session, the system provides a series of graphs and tables that show the performance over time; this is the terminal feedback (Figures 1 and 2).

SQLite Database Engine

The data generated by the program were initially stored on an independent Structured Query Language database engine. However, during the development, this database was integrated into the virtual environment, which facilitated the acquisition of the users' demographic data, registration of all the data provided by the metrics, and generation of reports of the users' demographic and performance data. This information is stored on the computer on which the tests are performed.

Hardware

Two laparoscopic forceps were used. These MIS forceps did not need to be functional.

In the initial phase of development, the researchers used a prototype that did not have support devices (Figure 3), but it soon became evident that the fulcrum effect was not being reproduced. For this reason, they designed support devices for the forceps, which simulate the entry portal to the abdomen (Figure 4). These devices, while generating friction when inserting and removing the forceps, limit the moment of the arms, as occurs in real surgical procedures. During the process of designing these devices, principles were prioritized, such as noninterference with the forceps reading by the LMC, portability, and low cost. A pad for mounting the support devices and the LMC was also designed, which had a 45-degree tilt on a horizontal plane.

The final artifact with all its components assembled is shown in Figure 5. It shows the fixing pad (1) for the LMC and the mounting support devices (3) for the MIS laparoscopic forceps (2), which allow simulation of the fulcrum effect; the LMC (4), responsible for detecting the movements of the instruments;

and the computer, which using the software programs administers the virtual environment and the metrics and provides feedback and the final performance score on the screen (5), where the 3D virtual environment is displayed.

In Figure 4, the LMC has a 45-degree tilt toward the screen with respect to the horizontal plane. This arrangement was the result of a process of trial and error, which showed that setting the LMC at this angle with respect to the horizontal plane ostensibly improved the detection of the forceps. Another significant change during the design was that the original black color of the shaft of the forceps did not facilitate reading by the LMC [45]; therefore, they were painted white in the final prototype (Figure 4).

Figures 6-8 show various stages in the development of the prototype for the 3D virtual environment. As in the development of the hardware elements, the 3D virtual environment design process was iterative, so that each new version of the 3D virtual environment became increasingly closer to the version considered *good enough* in terms of the design and function.

Figure 6 shows the initial attempt at the interaction between the forceps and the basic 3D virtual environment. At this stage of the design, the researchers achieved *capture* of the virtual objects by the tip of the instruments and their transfer to a virtual container (Figure 6). The second stage of development accomplished the development of the 5 tasks in a 3D virtual environment characterized by rectangular geometric shapes (Figure 7). Although the researchers did have concurrent feedback based on sounds, color changes, and a sensation of collision, at that time, the metrics had not been developed. Figure 8 shows the final *good enough* result of the 3D virtual environment. On the basis of the feedback provided by the expert surgeons, the environment was redesigned without rectangular geometric shapes, although with abstract circular shapes that were closer to the view of the body cavities during the MIS procedure.

The changes shown in Table 2 reflect the steps in the process described by Manson [16,20], where during the development of the artifact, through iterative processes of deduction and circumscription, errors were recognized in the design or function of the prototype that required further versions to be developed until the study achieved one that was considered *good enough* [16,17] and functional.

Figure 3. Initial version of the prototype without support devices for the forceps.



Figure 4. The final version of the simulator once the nonelectronic hardware devices had been added: the pad and support devices for the forceps and the Leap Motion Controller.



Figure 5. Diagram of the artefact.

1. Support pad:

- Length: 35 cm
- Width: 25 cm
- Height: 1.5 cm

2. Forceps of MIS:

- Length of the stem: 33 cm

3. Forceps support device:

- Height: 22.5 cm
- Distance between the top of the devices: 16.5 cm

4. Leap Motion Controller:

- Length: 8 cm
- Width: 3 cm
- Height: 12 mm

5. Virtual environment

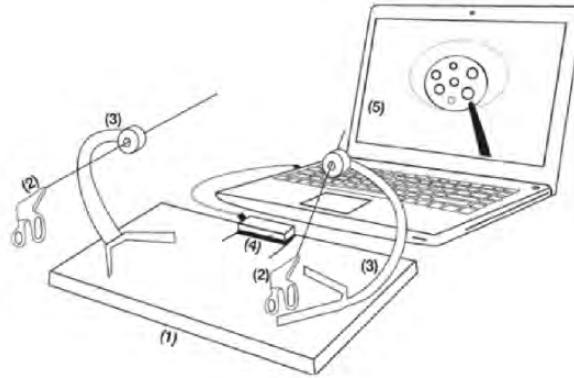


Figure 6. Initial attempts at interaction between minimally invasive surgery forceps and Leap Motion Controller within a basic 3D virtual environment.

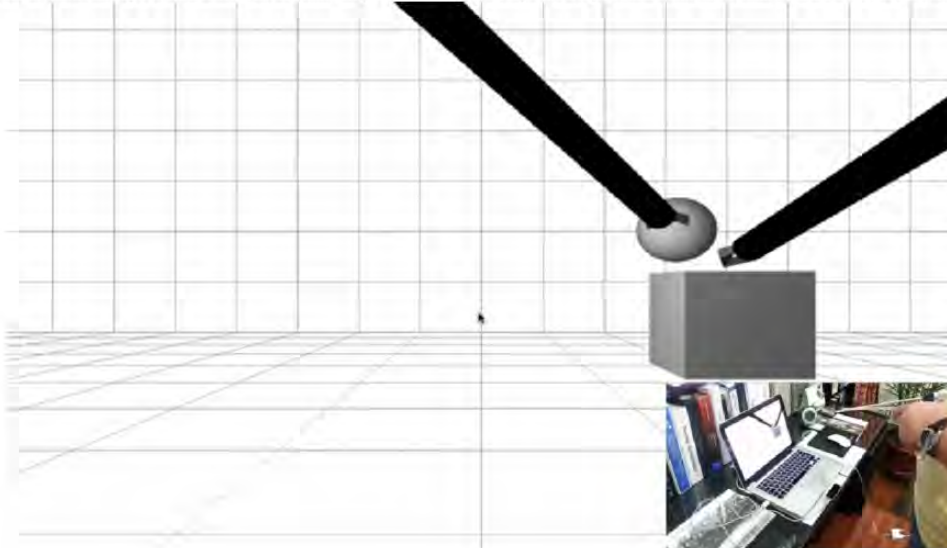


Figure 7. The first functional version of the virtual environment before the feedback given by surgeons with expertise in minimally invasive surgery.

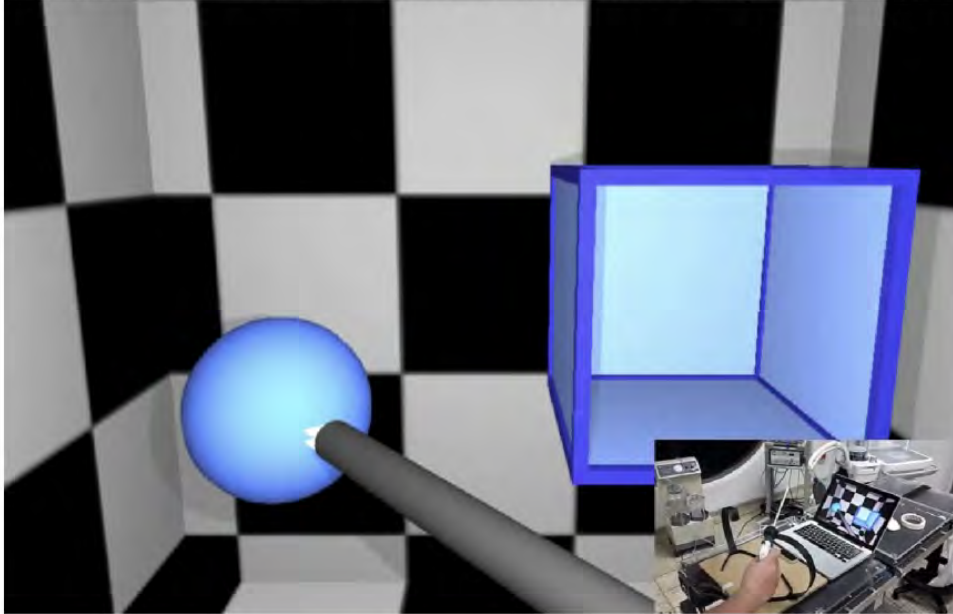


Figure 8. Good enough prototype of the web-based 3D virtual environment: Task 1.

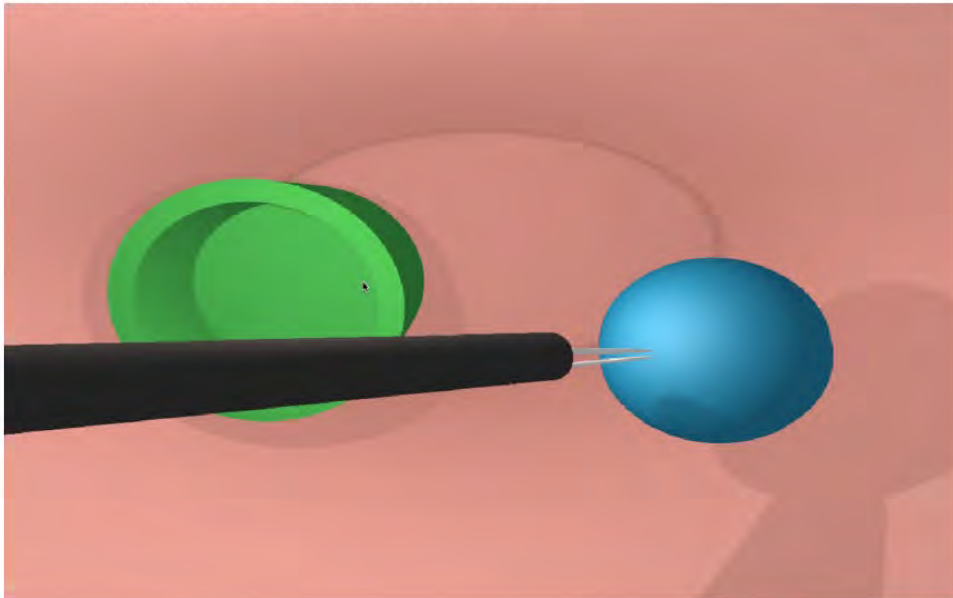


Table 2. Process of obtaining the good enough prototype.

Element	Initial prototype	Problem	Functional prototype	Output
MIS ^a forceps	The shaft of the forceps is black	Difficulties in the detection of the forceps by the LMC ^b	The shaft of the forceps is white	Notable improvement in detection of the forceps by the LMC
Support devices	No support devices	Fulcrum effect not reproduced	Design of support devices	Reproduction of fulcrum effect
Mounting pad	No mounting pad	The hardware pieces (LMC and support devices) are independent, and there is no standard arrangement	Standardized integration of the pieces in the mounting pad	Physical stability of the model
Position of the LMC	Completely horizontal, 90 degree with regard to the screen	Difficulties in the detection of the forceps by the LMC	A forward 45-degree angle was applied with regard to the screen	Interference between the forceps when detected by the LMC was eliminated
First prototype of the 3D virtual environment (Figure 6)	Tests on the interaction between the forceps and the objects in the virtual environment	Difficulty for interaction between the forceps and the objects in the environment	Trial and error tests on interaction by modifying LMC and instrumental variables	Complete interaction achieved
Second prototype of the 3D virtual environment (Figure 7)	Functional environment in the 6 tasks	Quadrangular shapes in the environment	Circular shapes in the <i>good enough</i> environment (Figure 8)	An abstract 3D virtual environment with circular shapes
<i>Good enough</i> environment (Figure 8)	SQL ^c database engine not integrated into the simulation software	A software program should be installed in addition to the simulation program	Redesign of the model and data capture and storage	Feedback and metrics complete and integrated into the SQLite Integration of the SQL database engine into the simulation software

^aMIS: minimally invasive surgery.

^bLMC: Leap Motion Controller.

^cSQL: Structured Query Language.

Phase 2: Evaluation of Fidelity to the Criterion and Subjective Validation of SIMISGEST-VR (Content Validity)

The next step in the process was the evaluation of fidelity to the criterion and the process of subjective content validity. The results are described below.

Demographics

A total of 30 people with an average age of 42 years (SD 2.2) participated in the study; 53% (n=16/30) were men. Those surveyed came from Colombia (n=14), Spain (n=8), Argentina (n=3), Brazil (n=2), Uruguay (n=2), and France (n=1).

Table 3 summarizes the participants' profiles according to the level of training and experience. The residents belonged to training programs in general and pediatric surgery; one of the participants was a biomedical engineer with extensive experience in the design of devices and simulators in MIS. The vast majority (n=28/30, 93%) of participants were right-handed, 1 was left-handed (n=9/30, 3%), and the other, ambidextrous (n=9/30, 3%).

In terms of the use of video games, most (n=22/30, 73%) of those surveyed had no experience with these apps; 62% (n=5/8)

of those who used video games were women. Of those with experience in video games (n=8), only 1 played them weekly, while the rest played them once a month (n=3) or occasionally (n=4). The mean age of those with no experience in video games was 44 years (SD 2.7), compared with 37 years (SD 3.5) for those with experience ($P=.16$).

Only 33% (n=10/30) of the participants had experience with VR devices, and only one-third used them occasionally.

Most of the surveyed participants had previous experience with simulators. In terms of the level of operating experience, 54% (n=14/26) of the respondents with experience with simulators had an intermediate or advanced operating level, followed by those with a basic operating level (n=10/26, 38%). Among participants who had experience with simulators [26], 62% (n=16/26) had used physical simulators, 23% (n=6/26) had used hybrid simulators, and only 15% (n=4/26) had used VR simulators. The average age of those who had no experience with simulators was 40 years (SD 6.7), compared with 42 years (SD 2.4) for those with previous experience ($P=.83$).

The demographic profile questionnaire can be found in [Multimedia Appendix 1](#).

Table 3. Demographic profile according to the level of experience and training (N=30).

Demographic variable	Level of experience				Level of training		
	Basic manipulation (n=3) ^a	Basic operating level (n=11) ^b	Intermediate operating level (n=8) ^c	Advanced operating level (n=8) ^d	Practicing surgeon (n=21)	Resident (n=8)	Other (n=1) ^e
Age (years), mean (SD)	26 (0.6)	40 (4.3)	43 (3.3)	49 (2.9)	47 (2.2)	27 (0.6)	49 (—) ^f
Sex, n							
Male	0	3	5	8	15	0	1
Female	3	8	3	0	6	8	0
Do you have regular experience with video games?, n							
Yes	1	1	4	2	6	1	1
No	2	10	4	6	16	6	0
Do you have previous experience with MIS^g simulators?, n							
Yes	2	10	6	8	19	7	0
No	1	1	2	0	3	0	1
What type of simulator?, n							
Physical	2	6	3	5	12	3	1
Hybrid and augmented reality	0	2	2	2	4	2	0
Virtual reality	0	2	1	1	2	2	0
No experience	1	1	2	0	3	1	0

^aBasic manipulation of the camera and/or retraction with forceps.

^bBasic operating level (cholecystectomy and appendectomy).

^cIntermediate operating level (fundoplication).

^dAdvanced operating level.

^eOther: an engineer highly experienced in the design of instruments and devices for minimally invasive surgery simulation.

^fNot available because there was only one observation.

^gMIS: minimally invasive surgery.

Evaluation of Fidelity to Criterion

Tables 4 and 5 show that there were no significant differences in the different ratings when the level of training (Table 4) or experience (Table 5) was considered.

In terms of the fidelity to the criterion, none of the respondents strongly disagreed with any of the items asked. The rating of *disagree* was given by one participant to the question about relevance, by another to the assessment of how the movements of the physical instruments were represented in the virtual environment, and 3 assigned this score when rating the fulcrum effect.

In terms of ease of use, 73% (n=22/30) and 27% (n=8/30) assigned a rating of 5 and 4, respectively. The same results were obtained when the navigation menu was assessed. With regard to the relevance of the tool as a simulator, 73% (n=22/30) assigned a score of 5 and 20% (n=6/30) assigned a score of 4.

When assessing the capacity of the physical devices to simulate the fulcrum effect, 73% (22/30) assigned a score between 4 and 5; 17% (n=5/30) assigned a score of 3, and 10% (n=3/30) assigned a score of 2. For this last rating, in terms of the level

of training, 2 were practicing surgeons and 1 was a resident, whereas in terms of the level of experience, one corresponded to basic manipulation, one to intermediate operating level, and another to advanced level.

In terms of how the movements of the forceps were represented in the virtual environment, 73% (n=22/30) rated this as 4 or 5. 23% (n=7/30) assigned a score of 3, and only one of the participants (n=9/30, 3%) assigned a score of 2 (level of training=practicing surgeon and level of experience=intermediate).

When assessing how appropriately the tool simulates the movements of MIS, 83% (n=25/30) rated the question as 4 or 5. All respondents (n=30/30, 100%) rated the design as attractive, with scores of 4 or 5. Almost all surveyed respondents (n=29/30, 97%) assigned ratings of 4 or 5 to the innovation factor, the capacity to provide feedback, and to the question of whether the latter was adequate.

The fidelity to the criterion study questions can be found in [Multimedia Appendix 1](#). The fidelity to the criterion study result tables can be found in [Multimedia Appendix 2](#).



Table 4. Fidelity to the criterion and content validity according to the level of training.

Variable	Resident (n=8)		Practicing surgeon (n=21)		Other ^a (n=1)		P value
	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	
Fidelity to the criterion^b							
Ease of use	5	4.5-5	5	4-5	5	5-5	.88
Navigation menu	5	5-5	5	4-5	5	5-5	.62
Relevance as a learning tool	5	4-5	5	5-5	5	5-5	.73
Fulcrum effect	3.5	3-4	5	4-5	4	4-4	.13
Representation of the physical forceps in the virtual environment	4	3-5	4	4-5	5	5-5	.56
Simulation of the movements in MIS ^c	4	4-4	4	4-5	5	5-5	.18
Innovation	5	4.5-5	5	5-5	5	5-5	.90
Graphic design	4.5	4-5	5	4-5	5	5-5	.69
Feedback	5	4-5	5	5-5	5	5-5	.79
Relevance of the feedback	4	4-5	5	4-5	5	5-5	.43
Content validity^d							
Hand-eye coordination	4.5	4-5	5	4-5	5	5-5	.66
Depth perception	4	3.5-5	5	4-5	5	5-5	.41
Basic psychomotor skills learning	4.5	4-5	5	5-5	5	5-5	.42
Basic steps of MIS	4	4-5	5	4-5	5	5-5	.64
Metrics	4	3-5	4	4-5	5	5-5	.43
Ubiquitous learning	4	4-5	5	4-5	5	5-5	.31
Tasks^e							
Task 1	3.5	3-4	4	4-5	5	5-5	.19
Task 2	4	4-4.5	4	3-5	5	5-5	.41
Task 3	4	3.5-4	4	3-5	5	5-5	.40
Task 4	4	3-5	5	4-5	2	2-2	.21
Task 5	4.5	4-5	5	4-5	5	5-5	.65
Task 6	4	4-4	5	4-5	5	5-5	.02

^aOther: An engineer highly experienced in the design of instruments and devices for minimally invasive surgery simulation.

^bFor fidelity to the criterion questions, see [Multimedia Appendix 1](#).

^cMIS: minimally invasive surgery.

^dFor content validity questions, see [Multimedia Appendix 1](#).

^eFor task descriptions, see [Table 1](#).

Table 5. Fidelity to the criterion and content validity according to the level of experience.

Variable	Basic manipulation (n=3)		Basic operating level (n=11)		Intermediate operating level (n=8)		Advanced operating level (n=8)		P value
	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	
Fidelity to the criterion^a									
Ease of use	5	4-5	5	4-5	5	4.5-5	4.5	4-5	.84
Navigation menu	5	4-5	5	5-5	5	4.5-5	4.5	4-5	.51
Relevance as a learning tool	5	2-5	5	4-5	5	5-5	5	4-5	.83
Fulcrum effect	4	2-5	4	3-5	5	4-5	4	4-5	.66
Representation of the physical forceps in the virtual environment	5	3-5	4	4-5	4	3.5-5	4.5	3-5	.96
Simulation of the movements in MIS ^b	4	4-4	4	4-5	4.5	3.5-5	4	3.5-4.5	.70
Innovation	5	3-5	5	5-5	5	4.5-5	5	4.5-5	.95
Graphic design	4	4-5	5	4-5	5	4.5-5	4	4-5	.41
Feedback	5	4-5	5	4-5	5	5-5	4.5	4-5	.42
Relevance of the feedback	4	4-5	5	4-5	5	4.5-5	4.5	4-5	.66
Content validity^c									
Hand-eye coordination	4	4-5	5	4-5	5	5-5	4.5	4-5	.77
Depth perception	5	4-5	5	4-5	5	4-5	4.5	4-5	.95
Basic psychomotor skills learning	4	3-5	5	4-5	5	5-5	5	4-5	.45
Basic steps of MIS	4	4-5	5	4-5	5	4.5-5	4	4-4.5	.33
Metrics	4	3-5	4	3-5	4.5	4-5	4.5	4-5	.75
Ubiquitous learning	4	4-5	5	4-5	5	5-5	4.5	4-5	.46
Tasks^d									
Task 1	3	3-5	4	3-5	4	3.5-5	4	3.5-4.5	.88
Task 2	4	4-5	4	4-5	4	3.5-5	3.5	2-5	.76
Task 3	4	2-5	4	3-4	4.5	3.5-5	4	3.5-5	.76
Task 4	2	2-5	4	4-5	5	5-5	4	3.5-5	.18
Task 5	4	4-5	5	4-5	5	4.5-5	4.5	4-5	.70
Task 6	4	4-4	4	4-5	5	5-5	4.5	4-5	.12

^aFor fidelity to the criterion questions, see Multimedia Appendix 1.

^bMIS: minimally invasive surgery.

^cFor content validity questions, see Multimedia Appendix 1.

^dFor task descriptions, see Table 1.

Content Validity

Table 6 summarizes the sources of validity evidence for the MIST-VR and the studies that have demonstrated such validity.

With regard to content validity, none of the items evaluated for the training capacity were rated as 1, although, in the case of hand-eye coordination by a practicing surgeon with an advanced operating level and the depth perception by a practicing surgeon with an intermediate operating level, the hand-eye coordination and depth perception were rated as 2. Almost all of those surveyed (n=28/30, 93%) rated the hand-eye coordination as 4 or 5, while 87% (n=26/30) gave this score for depth perception.

The highest-rated item was the one that considered that the prototype could be a solution for ubiquitous learning in MIS: 100% (n=30/30) of those surveyed rated it as 4 or 5. With regard to the evaluation of the metrics, 17% (n=5/30) of those surveyed rated them as 3, while the remaining participants (n=25/30) rated them as 4 or 5.

Almost all respondents (n=29/30, 97%) considered that the SIMISGEST-VR enables learning of basic psychomotor skills in MIS, with ratings of 4 and 5; whereas, 93% (n=28/30) agreed that the tasks reflect the basic steps of a minimally invasive procedure, with ratings of 4 and 5.



An analysis of the evaluation of the tasks, in general, showed that the following were rated between 4 and 5: Task 1 received this rating from 70% (n=21/30) of those interviewed; Task 2 from 77% (n=23/30); Task 3 from 73% (n=22/30); Task 4 from 77% (n=23/30); and Task 5 and Task 6 from 90% (n=27/30) of the participants.

For Task 6 (Table 4), a lower score was assigned by individuals with lower levels of training ($P=.02$).

The content validity study questions can be found in [Multimedia Appendix 1](#). The tables of results of the content validity study can be found in [Multimedia Appendix 3](#).

Table 6. Sources of validity evidence for the minimally invasive surgery training–virtual reality.

Source of validity evidence	Studies
Content evidence	[9,10,43,46-51]
Internal structure	[41,43,48,52-62]
Relationship to other variables	[4,10,12,13,37,43,47,50-57,60,63-116]
Consequences	[4,11,13,43,47,49,50,54,56,57,59,69,71,73,78,79,92,104,107,108,114,117-123]

Discussion

Principal Findings

Simulation as a tool for learning psychomotor skills in MIS has become a new model for education in surgery. The use of human or animal cadavers is becoming increasingly controversial for learning surgical maneuvers [124,125], resulting in an immense growth of simulation using virtual environments as a tool for learning psychomotor skills in MIS and for the simulation of full surgical procedures [5,126].

Simulators for psychomotor skills learning in MIS are classified into mechanical, hybrid/augmented reality, or VR [6,7]. Devices for gesture-based human-computer interaction are a new way of interacting with virtual environments. This study's simulator presents a new form of gesture-based simulation that is portable, low-cost, and enables ubiquitous learning and preoperative warm-up [14,127,128].

Development of Gesture-Mediated Simulator for Minimally Invasive Surgery—Virtual Reality

The development of SIMISGEST-VR was based on DBR principles. It was a *pragmatic* process because the researchers tried to resolve the problems of portability and the high cost of simulators for learning psychomotor skills in MIS. It was *grounded* in both theory and the real-world context, as we designed a functional simulator based on theories on simulation-based surgical skills training. It was *interactive*, in that during the simulator design stage, a *good enough* prototype was obtained through the participation of an interdisciplinary team (pediatric surgery, systems engineering, graphic design, and experts in education and psychology), as well as the comments and feedback provided by experts in MIS during the subjective validation study. Finally, the process was *iterative*, in that a process of analysis, design, evaluation, and redesign was applied (Table 1) until a *good enough* protocol was obtained that could be subjected to validation studies [129].

To develop this study's 3D virtual environment, the researchers adopted the principle of low fidelity, given that the model is envisaged for basic psychomotor skills learning. The term fidelity refers to the extent to which a simulation imitates reality (in the case of surgical simulation, the anatomy) and is considered a critical variable in the design of simulators.

However, this statement is not necessarily completely true, as for novice learners, low-fidelity models that reproduce the essential constructs of a procedure allow a faster and more cost-effective learning curve to be achieved [35,130]. Thus, in the field of simulation in aviation, simple images reduce the learner's confusion when learning basic skills [131], while experts benefit from higher fidelity simulations [33,132].

The tasks were adapted from the MIST-VR, which is the only laparoscopic VR trainer that can act as a standard because it is the sole surgical VR system that has been reasonably validated [4,11,65,133]. MIST-VR has been shown to allow the learning of basic skills that can be transferred to the surgical environment at a more reasonable cost [4,11,52,73,134].

Metrics

Performance evaluation is a fundamental part of the learning process and is essential for certification. To obtain an objective evaluation of performance, the simulator should define metrics that must be valid, accurate, and relevant in terms of the procedure that is being taught. Evaluation using metrics and effective feedback are the most important elements of effective learning in a simulation environment [7]. Metrics allow an objective measure of motor performance to be obtained and enable the learning progress to be compared and tracked [10,43,44]. Accordingly, if the metrics lack sensitivity and validity, training on simulators will not be optimal and the learning will be affected [135]. In SIMISGEST-VR, the metrics were determined by time, the efficiency of movement, economy of diathermy, and error. This was an iterative process involving several pilot studies and modifications to the tasks and their metrics based on feedback provided by surgeons and education experts.

Feedback

Feedback is essential [136,137]. Training on a simulator should have 3 purposes: (1) to improve performance; (2) to make the performance consistent; and (3) to reduce the number of errors [57]. The metrics and feedback are essential for achieving these objectives. On the SIMISGEST-VR, the study adopted 3 types of feedback: (1) concurrent, which is provided while the task is being performed; (2) immediate, when the exercise is finished; and (3) terminal, which shows the final score when all the tasks have been completed [136,138-140].

Hardware

The design of the hardware components aimed to simulate the movements made by the surgeon during MIS. These movements are defined by the physical characteristics of the devices and, therefore, require the design of mechanical support devices that simulate the fulcrum effect (entry portals), add friction to the movements of the forceps, and limit arm movement during the performance of the tasks without interfering with the reading of the instrument movements by the LMC [141,142]. The portability and low cost were also taken into account.

Cost of Gesture-Mediated Simulator for Minimally Invasive Surgery-Virtual Reality

The VR or augmented VR simulators currently available in the market are not portable, and their cost ranges from US \$2000 to US \$100,000 (with annual maintenance costs of US \$25,000) for a haptic VR simulator. The LMC costs approximately US \$130, plus a further US \$70 for the hardware elements, adding up to a total cost of approximately US \$200 for the SIMISGEST-VR, software costs excluded.

Subjective Validation of Gesture-Mediated Simulator for Minimally Invasive Surgery-Virtual Reality

The second aim of this study was to evaluate fidelity to the criterion and a content validity study. Validity refers to the quality of the inferences, claims, or decisions taken from the scores given by an instrument, not the instrument itself. Validation for its part is a process through which the evidence that supports the quality, significance, and utility of the decisions and inferences that can be made from the scores provided by the instrument is drawn together and evaluated [143]. Validity is not an all-or-nothing statement, as it reflects a gradual appraisal that depends on the purpose of the measurement and the proper interpretation of the results. Validity is also not in itself a characteristic of the system, but the appropriate interpretation and use of the measurement results of the system. A single instrument may be used for many different purposes, and the resulting scores may be more valid for one purpose than for another [133].

Study of Fidelity to Criterion

Although it has been deemed that *face validity* should no longer be considered a type of validity or used as a term in validation studies [144,145], its assessment is extremely important during the design phase of any evaluation device [146,147]. Therefore, the use of an alternative term to denominate this type of evaluation has been suggested: *fidelity to the criterion* [148]. Despite such warnings, it is very striking to find that the term *face validity* is still being used in published literature on simulation in surgery [149,150].

Fidelity to the criterion evaluates to what point the test reflects the real-life situation, whether the simulator represents what it is supposed to represent (the realism of the simulator) or the extent to which a questionnaire or other measurement reflects the variable to be measured [125,151,152]. In the case of DBR, it is used in the initial phase of the construction of the test. The surveys that assess fidelity to the criterion feedback into the iterative design process, which allows the *good enough*

prototype to be obtained [153]. Fidelity to the criterion is evaluated by experts and novices called referents [154,155].

In this study, the evaluation of fidelity to the criterion provided feedback on the initial design, and this was how the 3D virtual environment was redesigned until a *good enough* prototype was obtained. The quality of this evaluation is improved systematically when structured questionnaires and Likert scales are applied [154].

In all the items evaluated for fidelity to the criterion, most of those surveyed assigned scores of 4 or 5. There were no significant differences between the expert and referent groups (level of training) when rating fidelity to the criterion. The lowest scores were obtained for the item about the relevance (n=9/30, 3% of participants), the representation of the movements of the physical forceps in the virtual environment (n=9/30, 3%), and for the fulcrum effect (n=3/30, 10%).

Evidence Based on Test Content

The latest standards on validity and validation refer to sources of validity evidence, rather than distinct types of validity. Validity therefore refers to the degree to which the evidence and theory support the interpretations of test scores for the proposed uses of tests [156,157].

Evidence based on test content is an issue of representation and may be obtained from an analysis of the relationship between test content and the construct that is intended to be measured. In this study, the test content refers to the simulator's 6 specific tasks. Evidence can be obtained from logical or empirical analyses of how test content represents domain content and of the relevance of domain content to the proposed interpretation of test scores. Evidence may also come from experts' opinions on the relationship between the different test items and the construct when assessing whether the test contains the meaningful steps, skills, and materials used in the actual procedure [158] and determines whether the simulator can realistically teach what it is supposed to represent [159].

The question is, does the simulator realistically teach what it should teach? In other words, does the instrument represent all the ways in which it can be used to measure the content of a given construct? [160]. In summary, evidence based on test content judges the appropriateness of the simulator as a teaching modality or as a training tool within the domain that it seeks to measure [31,151,152].

This type of validation is highly recommended in the practice of DBR during the design phase of the *good enough* prototype. Content validity can be obtained from a literature review, an expert review, using content validity rates, and *Q sorting* [161].

The tasks within the surgical simulation should fulfill 3 criteria: objectivity, clarity, and completeness. To be objective, the definition of the task should refer to observable characteristics of the behavior; for it to be clear, the task should be unambiguous so that it can be read, understood, and reproduced equally by different observers; and finally, to meet the criterion of completeness, the definition of the task should delineate its start and end and make it clear when it was completed [162].

In this study, the 6 skill tasks were chosen for two main reasons: (1) these tasks are well-validated in many clinical studies [4,10,82,117] using the MIST-VR (Table 6); and (2) they contain laparoscopic skills and techniques that are usually present in many laparoscopic procedures (Table 1).

The vast majority of study participants considered that the SIMISGEST-VR was a useful tool for the development of hand-eye coordination and depth perception, with ratings of 4 and 5 on the Likert scale. Similarly, there was consensus about the capacity of the simulator to teach basic psychomotor skills and to reflect the basic steps in MIS. All the respondents considered the metrics to be adequate and envisaged that the simulator could become a solution to achieve ubiquitous learning of basic psychomotor skills in MIS.

In terms of the specific rating for each of the 6 tasks, this varied between 3.97 and 4.53. The participants considered all the items of the SIMISGEST-VR training system as good to excellent.

Finally, the study of fidelity to the criterion and content validity must be proven in the design stage of the artifact, before the criterion (concurrent and predictive) and construct validity (convergent and discriminative) can be confirmed. The evaluation of fidelity to the criterion, although somewhat subjective, is a necessary assessment during the initial phase of any high-stakes test construction and in this study, within the context of DBR, in the design phase of prototypes that will give a *good enough* prototype as a result [154,158,163]. In conclusion, the results of the study of fidelity to the criterion and content-related validity evidence showed overall positive scores.

Threats to Validity

The *Hawthorne effect* occurs when the opinion may be influenced by the attention paid to the respondent during his or her performance with the simulator, which may contribute to the occurrence of favorable responses or scores. This effect can be ameliorated by paying equal attention to each respondent. In addition, the *Pygmalion effect* occurs when the enthusiasm shown by the developers or because of the novelty of the artifact affects the opinion of the respondent; the referent group is more prone to this latter effect [154,164]. In this study, the SIMISGEST-VR developer conducted the interviews and applied the Likert scale questionnaires; this may have influenced the ratings assigned by the participants (*Hawthorne effect*).

Regarding the representation of the construct, in this study there was an underrepresentation—when compared with the learning models based on training boxes—referring to the *cut* skill of the *basic psychomotor skills* construct, which was because of technical reasons associated with the LMC (construct context). There was no overrepresentation of the construct [165].

Limitations

There are, however, limitations to this study. The sample size of this study was one of availability and, for the simulator to be

portable and allow ubiquitous learning, the researchers disregarded some ergonomic principles applied to MIS [166,167]. Further research will be conducted using new motion metrics, new skill tasks, and the development of the web-based virtual environment for download as an app. In addition, the researchers of this study are working on the development of different difficulty levels for each exercise.

Future Work

The researchers of this study are currently conducting another study to show validity evidence for the *good enough* prototype described in this paper, using the new framework for validation in education [168,169]. This new study is expected to verify the sources of validity evidence for the internal structure, relationships between variables, and test consequences.

Once the metrics and the results of the performance scores have been validated as a useful tool for learning basic psychomotor skills in MIS, a model will be obtained to enable ubiquitous learning in MIS and preoperative warm-up by using the 3D reconstruction of patient images [14]. Studies conducted in this area have demonstrated that, generally speaking, preoperative warm-up exercises performed for at least 15 min before the procedure improve the surgeon's handling of soft tissue during cholecystectomy [170], bimanual skill, efficiency and smoothness of movement, and depth perception, at the same time as mistakes and operating time are reduced [171-177].

The large size and elevated costs of VR simulators currently available in the market prohibit their use in the operating theater. A portable, low-cost simulation solution, such as the SIMISGEST-VR, would allow surgeons to perform preoperative warm-up exercises anytime, anywhere (ubiquitous learning). In addition, the researchers aim to enable a surgeon to perform warm-up exercises based on 3D reconstructions of preoperative images of a specific patient, thus, practicing the procedure before performing the actual surgery. This could take place the night before in the surgeon's home or the operating theater on the day of the surgery [178-183].

Conclusions

This study demonstrated the feasibility of a portable, low-cost, gesture-based, functional simulator (SIMISGEST-VR) for learning basic psychomotor skills in MIS.

The results of the evaluation of fidelity to the criterion and content validity showed overall positive scores, which indicates that the SIMISGEST-VR would be acceptable to both the expert group and referent group as a training and learning device (including at home) to achieve ubiquitous learning in MIS.

The participants in the study agreed that content validity was acceptable, accurate, and representative in the field of basic psychomotor skills learning in MIS.



Authors' Contributions

All the authors contributed substantially to the study conception and design, data analysis, and interpretation of the findings and manuscript drafting. Fernando Álvarez López participated in the collection and assembly of data. Francesc Saigí-Rubió is the guarantor of the paper. All the authors have read, revised, and approved the final manuscript.

Conflicts of Interest

None declared.

Multimedia Appendix 1

Application forms of the demographic survey, fidelity to the criterion, and content validity surveys.

[DOCX File, 20 KB-Multimedia Appendix 1]

Multimedia Appendix 2

Results of the fidelity to the criterion survey.

[DOCX File, 26 KB-Multimedia Appendix 2]

Multimedia Appendix 3

Results of the content validity survey.

[DOCX File, 38 KB-Multimedia Appendix 3]

References

- Litynski GS. Profiles in laparoscopy: Mouret, Dubois, and Perissat: the laparoscopic breakthrough in Europe (1987-1988). *JLS-J Soc Laparoend* 1999;3(2):163-167 [FREE Full text] [Medline: 10444020]
- Yamashita Y, Kurohiji T, Kakegawa T. Evaluation of two training programs for laparoscopic cholecystectomy: incidence of major complications. *World J Surg* 1994;18(2):279-85; discussion 285. [doi: 10.1007/BF00294415] [Medline: 8042335]
- Wolfe BM, Gardiner B, Frey CF. Laparoscopic cholecystectomy: a remarkable development. *J Am Med Assoc* 2015 Oct 6;314(13):1406. [doi: 10.1001/jama.2014.12014] [Medline: 26441196]
- Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, et al. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg* 2002 Oct;236(4):458-63; discussion 463. [doi: 10.1097/00000658-200210000-00008] [Medline: 12368674]
- Dawe SR, Pena GN, Windsor JA, Broeders JA, Cregan PC, Hewett PJ, et al. Systematic review of skills transfer after surgical simulation-based training. *Br J Surg* 2014 Aug;101(9):1063-1076. [doi: 10.1002/bjs.9482] [Medline: 24827930]
- Botden SM, Jakimowicz JJ. What is going on in augmented reality simulation in laparoscopic surgery? *Surg Endosc* 2009 Aug;23(8):1693-1700 [FREE Full text] [doi: 10.1007/s00464-008-0144-1] [Medline: 18813987]
- Papanikolaou I. Assessment of medical simulators as a training programme for current surgical education. *Hellenic J Surg* 2013 Aug 9;85(4):240-248 [FREE Full text] [doi: 10.1007/s13126-013-0047-z]
- Escamirosa FP, Flores RM, García IG, Vidal CR, Martínez AM. Face, content, and construct validity of the EndoViS training system for objective assessment of psychomotor skills of laparoscopic surgeons. *Surg Endosc* 2015 Nov;29(11):3392-3403. [doi: 10.1007/s00464-014-4032-6] [Medline: 25515985]
- Sutton C, McCloy R, Middlebrook A, Chater P, Wilson M, Stone R. MIST VR. A laparoscopic surgery procedures trainer and evaluator. *Stud Health Technol Inform* 1997;39:598-607. [Medline: 10173070]
- Taffinder N, Sutton C, Fishwick RJ, McManus IC, Darzi A. Validation of virtual reality to teach and assess psychomotor skills in laparoscopic surgery: results from randomised controlled studies using the MIST VR laparoscopic simulator. *Stud Health Technol Inform* 1998;50:124-130. [Medline: 10180527]
- Ahlberg G, Heikkinen T, Iselius L, Leijonmarck C, Rutqvist J, Arvidsson D. Does training in a virtual reality simulator improve surgical performance? *Surg Endosc* 2002 Jan;16(1):126-129. [doi: 10.1007/s00464-001-9025-6] [Medline: 11961622]
- Debes AJ, Aggarwal R, Balasundaram I, Jacobsen MB. A tale of two trainers: virtual reality versus a video trainer for acquisition of basic laparoscopic skills. *Am J Surg* 2010 Jun;199(6):840-845. [doi: 10.1016/j.amjsurg.2009.05.016] [Medline: 20079480]
- Torkington J, Smith S, Rees B, Darzi A. Skill transfer from virtual reality to a real laparoscopic task. *Surg Endosc* 2001 Oct;15(10):1076-1079. [doi: 10.1007/s004640000233] [Medline: 11727073]
- Alvarez-Lopez F, Maina MF, Saigí-Rubió F. Use of commercial off-the-shelf devices for the detection of manual gestures in surgery: systematic literature review. *J Med Internet Res* 2019 Apr 14;21(5):e11925 [FREE Full text] [doi: 10.2196/11925] [Medline: 31066679]
- Simon H. *The Sciences of the Artificial*. Third Edition. Cambridge, MA: MIT Press; 1996.

16. Manson N. Is operations research really research? *ORiON* 2006 Dec 1;22(2):- [doi: [10.5784/22-2-40](https://doi.org/10.5784/22-2-40)]
17. Hevner AR, March ST, Park J, Ram S. Design science in information systems research. *MIS Q* 2004;28(1):75. [doi: [10.2307/25148625](https://doi.org/10.2307/25148625)]
18. March ST, Smith GF. Design and natural science research on information technology. *Decis Support Syst* 1995 Dec;15(4):251-266. [doi: [10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2)]
19. Hevner A, Chatterjee S. *Design Research in Information Systems: Theory and Practice*. New York, USA: Springer; 2010.
20. Dresch A, Pacheco-Lacerda D, Valle-Antunes J. *Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement*. New York, USA: Springer; 2015.
21. Takeda H, Veerkamp P, Tomiyama T, Yoshikawa H. Modeling design processes. *AI Mag* 1980 Dec 15;11(4):48. [doi: [10.1609/aimag.v11i4.855](https://doi.org/10.1609/aimag.v11i4.855)]
22. Vaishnavi V, Kuechler B, Petter S. *Design Science Research in Information Systems*. DESRIST. 2017. URL: <http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/> [accessed 2020-05-20]
23. Ogura T, Sato M, Ishida Y, Hayashi N, Doi K. Development of a novel method for manipulation of angiographic images by use of a motion sensor in operating rooms. *Radiol Phys Technol* 2014 Jul;7(2):228-234. [doi: [10.1007/s12194-014-0259-0](https://doi.org/10.1007/s12194-014-0259-0)] [Medline: [24609904](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24609904/)]
24. Mauter S, Burgert O. Touch-free, gesture-based control of medical devices and software based on the leap motion controller. *Stud Health Technol Inform* 2014;196:265-270. [Medline: [24732520](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24732520/)]
25. Bachmann D, Weichert F, Rinkebaier G. Evaluation of the leap motion controller as a new contact-free pointing device. *Sensors (Basel)* 2014 Dec 24;15(1):214-233 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s150100214](https://doi.org/10.3390/s150100214)] [Medline: [25609043](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25609043/)]
26. Weichert F, Bachmann D, Rudak B, Fisseler D. Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors (Basel)* 2013 May 14;13(5):6380-6393 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s130506380](https://doi.org/10.3390/s130506380)] [Medline: [23673678](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23673678/)]
27. Guna J, Jakus G, Pogačnik M, Tomažič S, Sodnik J. An analysis of the precision and reliability of the leap motion sensor and its suitability for static and dynamic tracking. *Sensors (Basel)* 2014 Feb 21;14(2):3702-3720 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s140203702](https://doi.org/10.3390/s140203702)] [Medline: [24566635](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24566635/)]
28. Alvarez-Lopez F, Maina MF, Saigi-Rubió F. Natural user interfaces: is it a solution to accomplish ubiquitous training in minimally invasive surgery? *Surg Innov* 2016 Aug;23(4):429-430. [doi: [10.1177/1553350616639145](https://doi.org/10.1177/1553350616639145)] [Medline: [27009688](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27009688/)]
29. Beck P. Accurate Three-dimensional Instrument Positioning. Google Patents. 2016. URL: <https://patents.google.com/patent/US9918798B2/en> [accessed 2020-05-29]
30. Takiyama K, Shinya M. Development of a portable motor learning laboratory (PoMLab). *PLoS One* 2016;11(6):e0157588 [FREE Full text] [doi: [10.1371/journal.pone.0157588](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157588)] [Medline: [27348223](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27348223/)]
31. Moorthy K, Munz Y, Sarker SK, Darzi A. Objective assessment of technical skills in surgery. *Br Med J* 2003 Nov 1;327(7422):1032-1037 [FREE Full text] [doi: [10.1136/bmj.327.7422.1032](https://doi.org/10.1136/bmj.327.7422.1032)] [Medline: [14593041](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14593041/)]
32. McCloy R, Wilson M, Sutton C, Middlebrook A, Chater P, Stone R. MIST VR: a part-task virtual reality trainer for laparoscopic surgery. *J Telemed Telecare* 2016 Dec 2;3(1 Suppl):97. [doi: [10.1258/1357633971930652](https://doi.org/10.1258/1357633971930652)]
33. Seymour NE, Rotnes JS. Challenges to the development of complex virtual reality surgical simulations. *Surg Endosc* 2006 Nov;20(11):1774-1777. [doi: [10.1007/s00464-006-0107-3](https://doi.org/10.1007/s00464-006-0107-3)] [Medline: [16960667](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16960667/)]
34. Carter FJ, Schijven MP, Aggarwal R, Grantcharov T, Francis NK, Hanna GB, Work Group for Evaluation and Implementation of Simulators and Skills Training Programmes. Consensus guidelines for validation of virtual reality surgical simulators. *Surg Endosc* 2005 Dec;19(12):1523-1532. [doi: [10.1007/s00464-005-0384-2](https://doi.org/10.1007/s00464-005-0384-2)] [Medline: [16252077](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16252077/)]
35. Alessi S. Fidelity in the design of instructional simulations. *J Comput Based Instr* 1988;15(2):7. [doi: [10.5555/4675646757](https://doi.org/10.5555/4675646757)]
36. Stone RJ. The (human) science of medical virtual learning environments. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2011 Jan 27;366(1562):276-285 [FREE Full text] [doi: [10.1098/rstb.2010.0209](https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0209)] [Medline: [21149363](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21149363/)]
37. Kothari SN, Kaplan BJ, DeMaria EJ, Broderick TJ, Merrell RC. Training in laparoscopic suturing skills using a new computer-based virtual reality simulator (MIST-VR) provides results comparable to those with an established pelvic trainer system. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2002 Jun;12(3):167-173. [doi: [10.1089/10926420260188056](https://doi.org/10.1089/10926420260188056)] [Medline: [12184901](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12184901/)]
38. Schijven M, Jakimowicz J. Virtual reality surgical laparoscopic simulators. *Surg Endosc* 2003 Dec;17(12):1943-1950. [doi: [10.1007/s00464-003-9052-6](https://doi.org/10.1007/s00464-003-9052-6)] [Medline: [14574546](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14574546/)]
39. Bowman DA, Chen J, Wingrave CA, Lucas J, Ray A, Polys NF, et al. New directions in 3D user interfaces. *Int J Virtual Real* 2006 Jan 1;5(2):3-14. [doi: [10.20870/ijvr.2006.5.2.2683](https://doi.org/10.20870/ijvr.2006.5.2.2683)]
40. Schout BM, Hendriks AJ, Scheele F, Bemelmans BL, Scherpbier AJ. Validation and implementation of surgical simulators: a critical review of present, past, and future. *Surg Endosc* 2010 Mar;24(3):536-546 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s00464-009-0634-9](https://doi.org/10.1007/s00464-009-0634-9)] [Medline: [19633886](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19633886/)]
41. Ali M, Mowery Y, Kaplan B, DeMaria E. Training the novice in laparoscopy. More challenge is better. *Surg Endosc* 2002 Dec;16(12):1732-1736. [doi: [10.1007/s00464-002-8850-6](https://doi.org/10.1007/s00464-002-8850-6)] [Medline: [12140638](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12140638/)]
42. Sullivan K, Kantak S, Burtner P. Motor learning in children: feedback effects on skill acquisition. *Phys Ther* 2008 Jun;88(6):720-732. [doi: [10.2522/ptj.20070196](https://doi.org/10.2522/ptj.20070196)] [Medline: [18339797](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18339797/)]
43. Chaudhry A, Sutton C, Wood J, Stone R, McCloy R. Learning rate for laparoscopic surgical skills on MIST VR, a virtual reality simulator: quality of human-computer interface. *Ann R Coll Surg Engl* 1999 Jul;81(4):281-286 [FREE Full text] [Medline: [10615201](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10615201/)]



44. Stylopoulos N, Vosburgh KG. Assessing technical skill in surgery and endoscopy: a set of metrics and an algorithm (C-PASS) to assess skills in surgical and endoscopic procedures. *Surg Innov* 2007 Jun;14(2):113-121. [doi: [10.1177/1553350607302330](https://doi.org/10.1177/1553350607302330)] [Medline: [17558017](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17558017/)]
45. Oropesa I, de Jong T, Sánchez-González P, Dankelman J, Gómez E. Feasibility of tracking laparoscopic instruments in a box trainer using a leap motion controller. *Measurement* 2016 Feb;80:115-124. [doi: [10.1016/j.measurement.2015.11.018](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.11.018)]
46. Wilson MS, Middlebrook A, Sutton C, Stone R, McCloy RF. MIST VR: a virtual reality trainer for laparoscopic surgery assesses performance. *Ann R Coll Surg Engl* 1997 Nov;79(6):403-404 [FREE Full text] [Medline: [9422863](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9422863/)]
47. Grantcharov TP, Bardram L, Funch-Jensen P, Rosenberg J. Learning curves and impact of previous operative experience on performance on a virtual reality simulator to test laparoscopic surgical skills. *Am J Surg* 2003 Feb;185(2):146-149. [doi: [10.1016/s0002-9610\(02\)01213-8](https://doi.org/10.1016/s0002-9610(02)01213-8)] [Medline: [12559445](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12559445/)]
48. Maithel S, Sierra R, Korndorffer J, Neumann P, Dawson S, Callery M, et al. Construct and face validity of MIST-VR, endotower, and CELTS: are we ready for skills assessment using simulators? *Surg Endosc* 2006 Jan;20(1):104-112. [doi: [10.1007/s00464-005-0054-4](https://doi.org/10.1007/s00464-005-0054-4)] [Medline: [16333535](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16333535/)]
49. Aggarwal R, Grantcharov T, Moorthy K, Hance J, Darzi A. A competency-based virtual reality training curriculum for the acquisition of laparoscopic psychomotor skill. *Am J Surg* 2006 Jan;191(1):128-133. [doi: [10.1016/j.amjsurg.2005.10.014](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.10.014)] [Medline: [16399123](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16399123/)]
50. van Sickle KR, Ritter EM, McClusky DA, Lederman A, Baghai M, Gallagher AG, et al. Attempted establishment of proficiency levels for laparoscopic performance on a national scale using simulation: the results from the 2004 SAGES minimally invasive surgical trainer-virtual reality (MIST-VR) learning center study. *Surg Endosc* 2007 Jan;21(1):5-10. [doi: [10.1007/s00464-006-0011-x](https://doi.org/10.1007/s00464-006-0011-x)] [Medline: [17111280](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17111280/)]
51. Munz Y, Almoudaris AM, Moorthy K, Dosis A, Liddle AD, Darzi AW. Curriculum-based solo virtual reality training for laparoscopic intracorporeal knot tying: objective assessment of the transfer of skill from virtual reality to reality. *Am J Surg* 2007 Jun;193(6):774-783. [doi: [10.1016/j.amjsurg.2007.01.022](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2007.01.022)] [Medline: [17512295](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17512295/)]
52. Grantcharov TP, Rosenberg J, Pahle E, Funch-Jensen P. Virtual reality computer simulation. *Surg Endosc* 2001 Mar;15(3):242-244. [doi: [10.1007/s004640090008](https://doi.org/10.1007/s004640090008)] [Medline: [11344422](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11344422/)]
53. Paisley AM, Baldwin PJ, Paterson-Brown S. Validity of surgical simulation for the assessment of operative skill. *Br J Surg* 2001 Nov;88(11):1525-1532. [doi: [10.1046/j.0007-1323.2001.01880.x](https://doi.org/10.1046/j.0007-1323.2001.01880.x)] [Medline: [11683753](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11683753/)]
54. Torkington J, Smith S, Rees B, Darzi A. The role of the basic surgical skills course in the acquisition and retention of laparoscopic skill. *Surg Endosc* 2001 Oct;15(10):1071-1075. [doi: [10.1007/s004640000183](https://doi.org/10.1007/s004640000183)] [Medline: [11727072](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11727072/)]
55. Gallagher AG, Richie K, McClure N, McGuigan J. Objective psychomotor skills assessment of experienced, junior, and novice laparoscopists with virtual reality. *World J Surg* 2001 Nov;25(11):1478-1483. [doi: [10.1007/s00268-001-0133-1](https://doi.org/10.1007/s00268-001-0133-1)] [Medline: [11760752](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11760752/)]
56. Pearson A, Gallagher A, Rosser J, Satava R. Evaluation of structured and quantitative training methods for teaching intracorporeal knot tying. *Surg Endosc* 2002 Jan;16(1):130-137. [doi: [10.1007/s00464-001-8113-y](https://doi.org/10.1007/s00464-001-8113-y)] [Medline: [11961623](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11961623/)]
57. Gallagher A, Satava R. Virtual reality as a metric for the assessment of laparoscopic psychomotor skills. Learning curves and reliability measures. *Surg Endosc* 2002 Dec;16(12):1746-1752. [doi: [10.1007/s00464-001-8215-6](https://doi.org/10.1007/s00464-001-8215-6)] [Medline: [12140641](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12140641/)]
58. Kozlowski S, de Shon R. Scaled Worlds: development, validation, and applications. In: Inalas E, Elliott LR, Schlett SG, Coovert MD, editors. *A Psychological Fidelity Approach to Simulation-based Training: Theory, Research, and Principles*. Burlington, VT: Ashgate Publishing; 2004.
59. Gor M, McCloy R, Stone R, Smith A. Virtual reality laparoscopic simulator for assessment in gynaecology. *BJOG* 2003 Feb;110(2):181-187 [FREE Full text] [Medline: [12618163](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12618163/)]
60. Gallagher AG, Smith CD, Bowers SP, Seymour NE, Pearson A, McNatt S, et al. Psychomotor skills assessment in practicing surgeons experienced in performing advanced laparoscopic procedures. *J Am Coll Surg* 2003 Sep;197(3):479-488. [doi: [10.1016/S1072-7515\(03\)00535-0](https://doi.org/10.1016/S1072-7515(03)00535-0)] [Medline: [12946803](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12946803/)]
61. Mackay S, Datta V, Chang A, Shah J, Kneebone R, Darzi A. Multiple objective measures of skill (MOMS): a new approach to the assessment of technical ability in surgical trainees. *Ann Surg* 2003 Aug;238(2):291-300. [doi: [10.1097/01.sla.0000080829.29028.c4](https://doi.org/10.1097/01.sla.0000080829.29028.c4)] [Medline: [12894024](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12894024/)]
62. Stefanidis D, Korndorffer JR, Sierra R, Touchard C, Dunne JB, Scott DJ. Skill retention following proficiency-based laparoscopic simulator training. *Surgery* 2005 Aug;138(2):165-170. [doi: [10.1016/j.surg.2005.06.002](https://doi.org/10.1016/j.surg.2005.06.002)] [Medline: [16153423](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16153423/)]
63. Gallagher A, Satava R. Virtual reality as a metric for the assessment of laparoscopic psychomotor skills. Learning curves and reliability measures. *Surg Endosc* 2002 Dec;16(12):1746-1752. [doi: [10.1007/s00464-001-8215-6](https://doi.org/10.1007/s00464-001-8215-6)] [Medline: [12140641](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12140641/)]
64. Taffinder N, McManus I, Gul Y, Russell R, Darzi A. Effect of sleep deprivation on surgeons' dexterity on laparoscopy simulator. *Lancet* 1998 Oct 10;352(9135):1191. [doi: [10.1016/s0140-6736\(98\)00034-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(98)00034-8)] [Medline: [9777838](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9777838/)]
65. Taffinder N, Sutton C, Fishwick RJ, McManus IC, Darzi A. Validation of virtual reality to teach and assess psychomotor skills in laparoscopic surgery: results from randomised controlled studies using the MIST VR laparoscopic simulator. *Stud Health Technol Inform* 1998;50:124-130. [Medline: [10180527](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10180527/)]
66. Jordan J, Gallagher AG, McGuigan J, McGlade K, McClure N. A comparison between randomly alternating imaging, normal laparoscopic imaging, and virtual reality training in laparoscopic psychomotor skill acquisition. *Am J Surg* 2000 Sep;180(3):208-211. [doi: [10.1016/s0002-9610\(00\)00469-4](https://doi.org/10.1016/s0002-9610(00)00469-4)] [Medline: [11084131](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11084131/)]



67. Gallagher AG, Hughes C, Reinhardt-Rutland AH, McGuigan J, McClure N. A case-control comparison of traditional and virtual-reality training in laparoscopic psychomotor performance. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2009 Jul 10;9(5):347-352. [doi: [10.3109/13645700009061457](https://doi.org/10.3109/13645700009061457)]
68. Jordan JA, Gallagher AG, McGuigan J, McClure N. Randomly alternating image presentation during laparoscopic training leads to faster automation to the 'fulcrum effect'. *Endoscopy* 2000 Apr;32(4):317-321. [doi: [10.1055/s-2000-7374](https://doi.org/10.1055/s-2000-7374)] [Medline: [10774973](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10774973/)]
69. Jordan J, Gallagher A, McGuigan J, McClure N. Virtual reality training leads to faster adaptation to the novel psychomotor restrictions encountered by laparoscopic surgeons. *Surg Endosc* 2001 Oct;15(10):1080-1084. [doi: [10.1007/s004640000374](https://doi.org/10.1007/s004640000374)] [Medline: [11727074](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11727074/)]
70. McNatt S, Smith C. A computer-based laparoscopic skills assessment device differentiates experienced from novice laparoscopic surgeons. *Surg Endosc* 2001 Oct;15(10):1085-1089. [doi: [10.1007/s004640080022](https://doi.org/10.1007/s004640080022)] [Medline: [11727075](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11727075/)]
71. Gallagher H, Allan J, Tolley D. Spatial awareness in urologists: are they different? *BJU Int* 2001 Nov;88(7):666-670 [FREE Full text] [doi: [10.1046/j.1464-4096.2001.02440.x](https://doi.org/10.1046/j.1464-4096.2001.02440.x)] [Medline: [11890233](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11890233/)]
72. Grantcharov TP, Bardram L, Funch-Jensen P, Rosenberg J. Laparoscopic performance after one night on call in a surgical department: prospective study. *Br Med J* 2001 Nov 24;323(7323):1222-1223 [FREE Full text] [doi: [10.1136/bmj.323.7323.1222](https://doi.org/10.1136/bmj.323.7323.1222)] [Medline: [11719413](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11719413/)]
73. Hamilton E, Scott D, Fleming J, Rege R, Laycock R, Bergen P, et al. Comparison of video trainer and virtual reality training systems on acquisition of laparoscopic skills. *Surg Endosc* 2002 Mar;16(3):406-411. [doi: [10.1007/s00464-001-8149-z](https://doi.org/10.1007/s00464-001-8149-z)] [Medline: [11928017](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11928017/)]
74. Grantcharov TP, Bardram L, Funch-Jensen P, Rosenberg J. Impact of hand dominance, gender, and experience with computer games on performance in virtual reality laparoscopy. *Surg Endosc* 2003 Jul;17(7):1082-1085. [doi: [10.1007/s00464-002-9176-0](https://doi.org/10.1007/s00464-002-9176-0)] [Medline: [12728373](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12728373/)]
75. Eastridge BJ, Hamilton EC, O'Keefe GE, Rege RV, Valentine RJ, Jones DJ, et al. Effect of sleep deprivation on the performance of simulated laparoscopic surgical skill. *Am J Surg* 2003 Aug;186(2):169-174. [doi: [10.1016/s0002-9610\(03\)00183-1](https://doi.org/10.1016/s0002-9610(03)00183-1)] [Medline: [12885613](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12885613/)]
76. Madan AK, Frantzides CT, Shervin N, Tebbit CL. Assessment of individual hand performance in box trainers compared to virtual reality trainers. *Am Surg* 2003 Dec;69(12):1112-1114. [Medline: [14700302](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14700302/)]
77. Bann S, Kwok K, Lo C, Darzi A, Wong J. Objective assessment of technical skills of surgical trainees in Hong Kong. *Br J Surg* 2003 Oct;90(10):1294-1299. [doi: [10.1002/bjs.4222](https://doi.org/10.1002/bjs.4222)] [Medline: [14515303](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14515303/)]
78. Gonzalez R, Bowers SP, Smith CD, Ramshaw BJ. Does setting specific goals and providing feedback during training result in better acquisition of laparoscopic skills? *Am Surg* 2004 Jan;70(1):35-39. [Medline: [14964544](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14964544/)]
79. Gallagher AG, Lederman AB, McGlade K, Satava RM, Smith CD. Discriminative validity of the minimally invasive surgical trainer in virtual reality (MIST-VR) using criteria levels based on expert performance. *Surg Endosc* 2004 Apr;18(4):660-665. [doi: [10.1007/s00464-003-8176-z](https://doi.org/10.1007/s00464-003-8176-z)] [Medline: [15026925](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15026925/)]
80. Fried MP, Satava R, Weghorst S, Gallagher AG, Sasaki C, Ross D, et al. Identifying and reducing errors with surgical simulation. *Qual Saf Health Care* 2004 Oct;13(Suppl 1):i19-i26 [FREE Full text] [doi: [10.1136/qhc.13.suppl_1.i19](https://doi.org/10.1136/qhc.13.suppl_1.i19)] [Medline: [15465950](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15465950/)]
81. Ström P, Kjellin A, Hedman L, Wredmark T, Felländer-Tsai L. Training in tasks with different visual-spatial components does not improve virtual arthroscopy performance. *Surg Endosc* 2004 Jan;18(1):115-120. [doi: [10.1007/s00464-003-9023-y](https://doi.org/10.1007/s00464-003-9023-y)] [Medline: [14625735](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14625735/)]
82. Uchal M, Raftopoulos Y, Tjugum J, Bergamaschi R. Validation of a six-task simulation model in minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 2005 Jan;19(1):109-116. [doi: [10.1007/s00464-004-8145-1](https://doi.org/10.1007/s00464-004-8145-1)] [Medline: [15531971](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15531971/)]
83. Adamsen S, Funch-Jensen PM, Drewes AM, Rosenberg J, Grantcharov TP. A comparative study of skills in virtual laparoscopy and endoscopy. *Surg Endosc* 2005 Feb;19(2):229-234. [doi: [10.1007/s00464-004-9090-8](https://doi.org/10.1007/s00464-004-9090-8)] [Medline: [15580316](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15580316/)]
84. Avgerinos DV, Goodell KH, Waxberg S, Cao CG, Schwaizberg SD. Comparison of the sensitivity of physical and virtual laparoscopic surgical training simulators to the user's level of experience. *Surg Endosc* 2005 Sep;19(9):1211-1215. [doi: [10.1007/s00464-004-8256-8](https://doi.org/10.1007/s00464-004-8256-8)] [Medline: [16132320](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16132320/)]
85. Huang J, Payandeh S, Doris P, Hajshirmohammadi I. Fuzzy classification: towards evaluating performance on a surgical simulator. *Stud Health Technol Inform* 2005;111:194-200. [Medline: [15718726](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15718726/)]
86. Madan AK, Frantzides CT, Tebbit C, Quiros RM. Participants' opinions of laparoscopic training devices after a basic laparoscopic training course. *Am J Surg* 2005 Jun;189(6):758-761. [doi: [10.1016/j.amjsurg.2005.03.022](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.03.022)] [Medline: [15910733](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15910733/)]
87. McClusky DA, Ritter EM, Lederman AB, Gallagher AG, Smith CD. Correlation between perceptual, visuo-spatial, and psychomotor aptitude to duration of training required to reach performance goals on the MIST-VR surgical simulator. *Am Surg* 2005 Jan;71(1):13-20; discussion 20. [Medline: [15757051](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15757051/)]
88. Arora H, Uribe J, Ralph W, Zeltsan M, Cuellar H, Gallagher A, et al. Assessment of construct validity of the endoscopic sinus surgery simulator. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2005 Mar;131(3):217-221. [doi: [10.1001/archotol.131.3.217](https://doi.org/10.1001/archotol.131.3.217)] [Medline: [15781761](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15781761/)]

89. Uchal M, Tjugum J, Martinsen E, Qiu X, Bergamaschi R. The impact of sleep deprivation on product quality and procedure effectiveness in a laparoscopic physical simulator: a randomized controlled trial. *Am J Surg* 2005 Jun;189(6):753-757. [doi: [10.1016/j.amjsurg.2005.03.021](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.03.021)] [Medline: [15910732](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15910732/)]
90. Takiguchi S, Sekimoto M, Yasui M, Miyata H, Fujiwara Y, Yasuda T, et al. Cyber visual training as a new method for the mastery of endoscopic surgery. *Surg Endosc* 2005 Sep;19(9):1204-1210. [doi: [10.1007/s00464-004-8236-z](https://doi.org/10.1007/s00464-004-8236-z)] [Medline: [15942808](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15942808/)]
91. DeMaria EJ, McBride CL, Broderick TJ, Kaplan BJ. Night call does not impair learning of laparoscopic skills. *Surg Innov* 2005 Jun;12(2):145-149. [doi: [10.1177/155335060501200213](https://doi.org/10.1177/155335060501200213)] [Medline: [16034504](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16034504/)]
92. Hackethal A, Immenroth M, Bürger T. Evaluation of target scores and benchmarks for the traversal task scenario of the minimally invasive surgical trainer-virtual reality (MIST-VR) laparoscopy simulator. *Surg Endosc* 2006 Apr;20(4):645-650. [doi: [10.1007/s00464-004-2224-1](https://doi.org/10.1007/s00464-004-2224-1)] [Medline: [16424991](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16424991/)]
93. Ström P, Hedman L, Särnå L, Kjellin A, Wredmark T, Felländer-Tsai L. Early exposure to haptic feedback enhances performance in a surgical simulator training: a prospective randomized crossover study in surgical residents. *Surg Endosc* 2006 Sep;20(9):1383-1388. [doi: [10.1007/s00464-005-0545-3](https://doi.org/10.1007/s00464-005-0545-3)] [Medline: [16823652](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16823652/)]
94. Goodell KH, Cao CG, Schwaitzberg SD. Effects of cognitive distraction on performance of laparoscopic surgical tasks. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2006 Apr;16(2):94-98. [doi: [10.1089/lap.2006.16.94](https://doi.org/10.1089/lap.2006.16.94)] [Medline: [16646695](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16646695/)]
95. Hackman L, Ström P, Andersson P, Kjellin A, Wredmark T, Felländer-Tsai L. High-level visual-spatial ability for novices correlates with performance in a visual-spatial complex surgical simulator task. *Surg Endosc* 2006 Aug;20(8):1275-1280. [doi: [10.1007/s00464-005-0036-6](https://doi.org/10.1007/s00464-005-0036-6)] [Medline: [16865624](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16865624/)]
96. Hedman L, Klingberg T, Enochsson L, Kjellin A, Felländer-Tsai L. Visual working memory influences the performance in virtual image-guided surgical intervention. *Surg Endosc* 2007 Nov;21(11):2044-2050. [doi: [10.1007/s00464-007-9287-8](https://doi.org/10.1007/s00464-007-9287-8)] [Medline: [17522939](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17522939/)]
97. Madan AK, Frantzides CT. Substituting virtual reality trainers for inanimate box trainers does not decrease laparoscopic skills acquisition. *JLS* 2007;11(1):87-89 [FREE Full text] [Medline: [17651563](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17651563/)]
98. Tanoue K, Ieiri S, Konishi K, Yasunaga T, Okazaki K, Yamaguchi S, et al. Effectiveness of endoscopic surgery training for medical students using a virtual reality simulator versus a box trainer: a randomized controlled trial. *Surg Endosc* 2008 Apr;22(4):985-990. [doi: [10.1007/s00464-007-9554-8](https://doi.org/10.1007/s00464-007-9554-8)] [Medline: [17710487](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17710487/)]
99. Shane MD, Pettitt BJ, Morgenthal CB, Smith CD. Should surgical novices trade their retractors for joysticks? Videogame experience decreases the time needed to acquire surgical skills. *Surg Endosc* 2008 May;22(5):1294-1297. [doi: [10.1007/s00464-007-9614-0](https://doi.org/10.1007/s00464-007-9614-0)] [Medline: [17972136](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17972136/)]
100. Schlickum MK, Hedman L, Enochsson L, Kjellin A, Felländer-Tsai L. Transfer of systematic computer game training in surgical novices on performance in virtual reality image guided surgical simulators. *Stud Health Technol Inform* 2008;132:210-215. [Medline: [18391288](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18391288/)]
101. Windsor JA, Diener S, Zoha F. Learning style and laparoscopic experience in psychomotor skill performance using a virtual reality surgical simulator. *Am J Surg* 2008 Jun;195(6):837-842. [doi: [10.1016/j.amjsurg.2007.09.034](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2007.09.034)] [Medline: [18417084](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18417084/)]
102. Goldberg AE, Neifeld JP, Wolfe LG, Goldberg SR. Correlation of manual dexterity with USMLE scores and medical student class rank. *J Surg Res* 2008 Jun 15;147(2):212-215. [doi: [10.1016/j.jss.2008.02.050](https://doi.org/10.1016/j.jss.2008.02.050)] [Medline: [18498872](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18498872/)]
103. Botden SM, de Hingh IH, Jakimowicz JJ. Suturing training in augmented reality: gaining proficiency in suturing skills faster. *Surg Endosc* 2009 Sep;23(9):2131-2137 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s00464-008-0240-2](https://doi.org/10.1007/s00464-008-0240-2)] [Medline: [19067051](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19067051/)]
104. Grantcharov TP, Funch-Jensen P. Can everyone achieve proficiency with the laparoscopic technique? Learning curve patterns in technical skills acquisition. *Am J Surg* 2009 Apr;197(4):447-449. [doi: [10.1016/j.amjsurg.2008.01.024](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2008.01.024)] [Medline: [19217604](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19217604/)]
105. Schlickum MK, Hedman L, Enochsson L, Kjellin A, Felländer-Tsai L. Systematic video game training in surgical novices improves performance in virtual reality endoscopic surgical simulators: a prospective randomized study. *World J Surg* 2009 Nov;33(11):2360-2367. [doi: [10.1007/s00268-009-0151-y](https://doi.org/10.1007/s00268-009-0151-y)] [Medline: [19649553](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19649553/)]
106. Moore A, Grow D, Bush R, Seymour N. Novices outperform experienced laparoscopists on virtual reality laparoscopy simulator. *JLS* 2008;12(4):358-362 [FREE Full text] [Medline: [19275848](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19275848/)]
107. van Sickle KR, Ritter EM, Baghai M, Goldenberg AE, Huang I, Gallagher AG, et al. Prospective, randomized, double-blind trial of curriculum-based training for intracorporeal suturing and knot tying. *J Am Coll Surg* 2008 Oct;207(4):560-568. [doi: [10.1016/j.jamcollsurg.2008.05.007](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2008.05.007)] [Medline: [18926460](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18926460/)]
108. Kanumuri P, Ganai S, Wohaibi EM, Bush RW, Grow DR, Seymour NE. Virtual reality and computer-enhanced training devices equally improve laparoscopic surgical skill in novices. *JLS* 2008;12(3):219-226 [FREE Full text] [Medline: [18765042](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18765042/)]
109. Madan AK, Harper JL, Frantzides CT, Tichansky DS. Nonsurgical skills do not predict baseline scores in inanimate box or virtual-reality trainers. *Surg Endosc* 2008 Jul;22(7):1686-1689. [doi: [10.1007/s00464-007-9691-0](https://doi.org/10.1007/s00464-007-9691-0)] [Medline: [18071808](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18071808/)]
110. Arora S, Sevdalis N, Aggarwal R, Sirimanna P, Darzi A, Kneebone R. Stress impairs psychomotor performance in novice laparoscopic surgeons. *Surg Endosc* 2010 Oct;24(10):2588-2593. [doi: [10.1007/s00464-010-1013-2](https://doi.org/10.1007/s00464-010-1013-2)] [Medline: [20354878](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20354878/)]

111. Gallagher AG, Boyle E, Toner P, Neary PC, Andersen DK, Satava RM, et al. Persistent next-day effects of excessive alcohol consumption on laparoscopic surgical performance. *Arch Surg* 2011 Apr;146(4):419-426. [doi: [10.1001/archsurg.2011.67](https://doi.org/10.1001/archsurg.2011.67)] [Medline: [21502449](#)]
112. Zhou M, Tse S, Derevianko A, Jones DB, Schwaitzberg SD, Cao CG. Effect of haptic feedback in laparoscopic surgery skill acquisition. *Surg Endosc* 2012 Apr;26(4):1128-1134 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s00464-011-2011-8](https://doi.org/10.1007/s00464-011-2011-8)] [Medline: [22044975](#)]
113. Hedman L, Schlickum M, Felländer-Tsai L. Surgical novices randomized to train in two video games become more motivated during training in MIST-VR and GI Mentor II than students with no video game training. *Stud Health Technol Inform* 2013;184:189-194. [Medline: [23400154](#)]
114. Gallagher AG, Seymour NE, Jordan-Black J, Bunting BP, McGlade K, Satava RM. Prospective, randomized assessment of transfer of training (ToT) and transfer effectiveness ratio (TER) of virtual reality simulation training for laparoscopic skill acquisition. *Ann Surg* 2013 Jun;257(6):1025-1031. [doi: [10.1097/SLA.0b013e318284f658](https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318284f658)] [Medline: [23426342](#)]
115. Schlickum M, Hedman L, Felländer-Tsai L. Visual-spatial ability is more important than motivation for novices in surgical simulator training: a preliminary study. *Int J Med Educ* 2016 Feb 21;7:56-61 [FREE Full text] [doi: [10.5116/ijme.56b1.1691](https://doi.org/10.5116/ijme.56b1.1691)] [Medline: [26897701](#)]
116. Oussi N, Loukas C, Kjellin A, Lahanas V, Georgiou K, Henningsohn L, et al. Video analysis in basic skills training: a way to expand the value and use of BlackBox training? *Surg Endosc* 2018 Jan;32(1):87-95 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s00464-017-5641-7](https://doi.org/10.1007/s00464-017-5641-7)] [Medline: [28664435](#)]
117. Gallagher AG, McClure N, McGuigan J, Crothers I, Browning J. Virtual reality training in laparoscopic surgery: a preliminary assessment of minimally invasive surgical trainer virtual reality (MIST VR). *Endoscopy* 1999 May;31(4):310-313. [doi: [10.1055/s-1999-15](https://doi.org/10.1055/s-1999-15)] [Medline: [10376458](#)]
118. Mackay S, Morgan P, Datta V, Chang A, Darzi A. Practice distribution in procedural skills training: a randomized controlled trial. *Surg Endosc* 2002 Jun;16(6):957-961. [doi: [10.1007/s00464-001-9132-4](https://doi.org/10.1007/s00464-001-9132-4)] [Medline: [12163963](#)]
119. Grantcharov TP, Kristiansen VB, Bendix J, Bardram L, Rosenberg J, Funch-Jensen P. Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training. *Br J Surg* 2004 Feb;91(2):146-150. [doi: [10.1002/bjs.4407](https://doi.org/10.1002/bjs.4407)] [Medline: [14760660](#)]
120. Brunner WC, Korndorffer JR, Sierra R, Massarweh NN, Dunne J, Yau C, et al. Laparoscopic virtual reality training: are 30 repetitions enough? *J Surg Res* 2004 Dec;122(2):150-156. [doi: [10.1016/j.jss.2004.08.006](https://doi.org/10.1016/j.jss.2004.08.006)] [Medline: [15555611](#)]
121. Brunner W, Korndorffer J, Sierra R, Dunne B, Yau L, Corsetti R, et al. Determining standards for laparoscopic proficiency using virtual reality. *Am Surg* 2005 Jan;71(1):29-35. [Medline: [15757053](#)]
122. Madan AK, Frantzides CT, Sasso LM. Laparoscopic baseline ability assessment by virtual reality. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2005 Feb;15(1):13-17. [doi: [10.1089/lap.2005.15.13](https://doi.org/10.1089/lap.2005.15.13)] [Medline: [15772470](#)]
123. Schijven MP, Jakimowicz JJ, Broeders JA, Tseng LN. The Eindhoven laparoscopic cholecystectomy training course--improving operating room performance using virtual reality training: results from the first EAES accredited virtual reality trainings curriculum. *Surg Endosc* 2005 Sep;19(9):1220-1226. [doi: [10.1007/s00464-004-2240-1](https://doi.org/10.1007/s00464-004-2240-1)] [Medline: [16132332](#)]
124. Barnes RW. Surgical handicraft: teaching and learning surgical skills. *Am J Surg* 1987 May;153(5):422-427. [doi: [10.1016/0002-9610\(87\)90783-5](https://doi.org/10.1016/0002-9610(87)90783-5)] [Medline: [3578661](#)]
125. Karaliotas C. When simulation in surgical training meets virtual reality. *Hellenic J Surg* 2012 Feb 19;83(6):303-316. [doi: [10.1007/s13126-011-0055-9](https://doi.org/10.1007/s13126-011-0055-9)]
126. Sturm LP, Windsor JA, Cosman PH, Cregan P, Hewett PJ, Maddern GJ. A systematic review of skills transfer after surgical simulation training. *Ann Surg* 2008 Aug;248(2):166-179. [doi: [10.1097/SLA.0b013e318176b24](https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318176b24)] [Medline: [18650625](#)]
127. Sánchez-Margallo FM, Sánchez-Margallo JA, Moyano-Cuevas JL, Pérez EM, Maestre J. Use of natural user interfaces for image navigation during laparoscopic surgery: initial experience. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2017 Oct;26(5):253-261. [doi: [10.1080/13645706.2017.1304964](https://doi.org/10.1080/13645706.2017.1304964)] [Medline: [28349758](#)]
128. Xu X, Zheng Y, Yao S, Sun G, Xu B, Chen X. A low-cost multimodal head-mounted display system for neuroendoscopic surgery. *Brain Behav* 2018 Jan 14;8(1):e00891 [FREE Full text] [doi: [10.1002/brb3.891](https://doi.org/10.1002/brb3.891)] [Medline: [29568688](#)]
129. Den AJ, Bannan B, Kelly A, Plomp T. SLO Netherlands institute for curriculum development part B: illustrative cases. In: *Educational Design Research*. New York, USA: Springer; 2013.
130. Lahanas V, Loukas C, Georgiou K, Lababidi H, Al-Jaroudi D. Virtual reality-based assessment of basic laparoscopic skills using the leap motion controller. *Surg Endosc* 2017 Dec;31(12):5012-5023. [doi: [10.1007/s00464-017-5503-3](https://doi.org/10.1007/s00464-017-5503-3)] [Medline: [28466361](#)]
131. Noble C. The relationship between fidelity and learning in aviation training and assessment. *J Air Transp* 2002;7(3):33-54 [FREE Full text]
132. Park A, Witzke D. Training and educational approaches to minimally invasive surgery: state of the art. *Semin Laparosc Surg* 2002 Dec;9(4):198-205. [doi: [10.1053/slas.2002.36468](https://doi.org/10.1053/slas.2002.36468)] [Medline: [12522776](#)]
133. Schijven M, Jakimowicz J. Construct validity: experts and novices performing on the Xitact LS500 laparoscopy simulator. *Surg Endosc* 2003 May;17(5):803-810. [doi: [10.1007/s00464-002-9151-9](https://doi.org/10.1007/s00464-002-9151-9)] [Medline: [12582752](#)]
134. Badash I, Burt K, Solorzano CA, Carey JN. Innovations in surgery simulation: a review of past, current and future techniques. *Ann Transl Med* 2016 Dec;4(23):453 [FREE Full text] [doi: [10.21037/atm.2016.12.24](https://doi.org/10.21037/atm.2016.12.24)] [Medline: [28090509](#)]



135. Stefanidis D, Scott DJ, Korndorffer JR. Do metrics matter? Time versus motion tracking for performance assessment of proficiency-based laparoscopic skills training. *Simul Healthc* 2009;4(2):104-108. [doi: [10.1097/SIH.0b013e31819171ec](https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e31819171ec)] [Medline: [19444048](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19444048/)]
136. Archer J. State of the science in health professional education: effective feedback. *Med Educ* 2010 Jan;44(1):101-108. [doi: [10.1111/j.1365-2923.2009.03546.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03546.x)] [Medline: [20078761](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20078761/)]
137. Cook DA, Brydges R, Zendejas B, Hamstra SJ, Hatala R. Technology-enhanced simulation to assess health professionals: a systematic review of validity evidence, research methods, and reporting quality. *Acad Med* 2013 Jun;88(6):872-883. [doi: [10.1097/ACM.0b013e31828ffdcf](https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e31828ffdcf)] [Medline: [23619073](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23619073/)]
138. Hatala R, Cook DA, Zendejas B, Hamstra SJ, Brydges R. Feedback for simulation-based procedural skills training: a meta-analysis and critical narrative synthesis. *Adv Health Sci Educ Theory Pract* 2014 May;19(2):251-272. [doi: [10.1007/s10459-013-9462-8](https://doi.org/10.1007/s10459-013-9462-8)] [Medline: [23712700](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23712700/)]
139. Walsh CM, Ling SC, Wang CS, Carnahan H. Concurrent versus terminal feedback: it may be better to wait. *Acad Med* 2009 Oct;84(10 Suppl):S54-S57. [doi: [10.1097/ACM.0b013e3181b38daf](https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3181b38daf)] [Medline: [19907387](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19907387/)]
140. Stefanidis D, Korndorffer JR, Heniford BT, Scott DJ. Limited feedback and video tutorials optimize learning and resource utilization during laparoscopic simulator training. *Surgery* 2007 Aug;142(2):202-206. [doi: [10.1016/j.surg.2007.03.009](https://doi.org/10.1016/j.surg.2007.03.009)] [Medline: [17689686](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17689686/)]
141. Gallagher AG, McClure N, McGuigan J, Ritchie K, Sheehy NP. An ergonomic analysis of the fulcrum effect in the acquisition of endoscopic skills. *Endoscopy* 1998 Sep;30(7):617-620. [doi: [10.1055/s-2007-1001366](https://doi.org/10.1055/s-2007-1001366)] [Medline: [9826140](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9826140/)]
142. Crothers IR, Gallagher AG, McClure N, James DT, McGuigan J. Experienced laparoscopic surgeons are automated to the 'fulcrum effect': an ergonomic demonstration. *Endoscopy* 1999 Jun;31(5):365-369. [doi: [10.1055/s-1999-26](https://doi.org/10.1055/s-1999-26)] [Medline: [10433045](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10433045/)]
143. Chan E. Standards and guidelines for validation practices: development and evaluation of measurement instruments. In: Zumbo BD, Chan EK, editors. *Validity and Validation in Social, Behavioral, and Health Sciences*. New York, USA: Springer International Publishing; 2014.
144. Mosier CI. A critical examination of the concepts of face validity. *Educ Psychol Meas* 1947;7(2):191-205. [doi: [10.1177/001316444700700201](https://doi.org/10.1177/001316444700700201)] [Medline: [20256558](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20256558/)]
145. Cook DA, Beckman TJ. Current concepts in validity and reliability for psychometric instruments: theory and application. *Am J Med* 2006 Feb;119(2):166.e7-166.16. [doi: [10.1016/j.amjmed.2005.10.036](https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2005.10.036)] [Medline: [16443422](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16443422/)]
146. Sweet RM, Hananel D, Lawrenz F. A unified approach to validation, reliability, and education study design for surgical technical skills training. *Arch Surg* 2010 Feb;145(2):197-201. [doi: [10.1001/archsurg.2009.266](https://doi.org/10.1001/archsurg.2009.266)] [Medline: [20157089](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20157089/)]
147. Broe D, Ridgway PF, Johnson S, Tierney S, Conlon KC. Construct validation of a novel hybrid surgical simulator. *Surg Endosc* 2006 Jun;20(6):900-904. [doi: [10.1007/s00464-005-0530-x](https://doi.org/10.1007/s00464-005-0530-x)] [Medline: [16738979](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16738979/)]
148. Downing SM. Face validity of assessments: faith-based interpretations or evidence-based science? *Med Educ* 2006 Jan;40(1):7-8. [doi: [10.1111/j.1365-2929.2005.02361.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2005.02361.x)] [Medline: [16441314](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16441314/)]
149. Rod J, Marret J, Kohaut J, Aigrain Y, Jais JP, de Vries P, et al. Low-cost training simulator for open dismembered pyeloplasty: development and face validation. *J Surg Educ* 2018;75(1):188-194. [doi: [10.1016/j.jsurg.2017.06.010](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.06.010)] [Medline: [28778782](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28778782/)]
150. Leijte E, Arts E, Witteman B, Jakimowicz J, de Blaauw I, Borden S. Construct, content and face validity of the eoSim laparoscopic simulator on advanced suturing tasks. *Surg Endosc* 2019 Nov;33(11):3635-3643 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s00464-018-06652-3](https://doi.org/10.1007/s00464-018-06652-3)] [Medline: [30671668](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30671668/)]
151. Wanzel KR, Ward M, Reznick RK. Teaching the surgical craft: from selection to certification. *Curr Probl Surg* 2002 Jun;39(6):573-659. [doi: [10.1067/mog.2002.123481](https://doi.org/10.1067/mog.2002.123481)] [Medline: [12037512](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12037512/)]
152. Gallagher AG, Ritter EM, Satava RM. Fundamental principles of validation, and reliability: rigorous science for the assessment of surgical education and training. *Surg Endosc* 2003 Oct;17(10):1525-1529. [doi: [10.1007/s00464-003-0035-4](https://doi.org/10.1007/s00464-003-0035-4)] [Medline: [14502403](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14502403/)]
153. Bajka M, Tuchschnid S, Streich M, Fink D, Székely G, Harders M. Evaluation of a new virtual-reality training simulator for hysteroscopy. *Surg Endosc* 2009 Sep;23(9):2026-2033. [doi: [10.1007/s00464-008-9927-7](https://doi.org/10.1007/s00464-008-9927-7)] [Medline: [18437471](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18437471/)]
154. Ayodeji ID, Schijven M, Jakimowicz J, Greve JW. Face validation of the Symbionix LAP Mentor virtual reality training module and its applicability in the surgical curriculum. *Surg Endosc* 2007 Sep;21(9):1641-1649. [doi: [10.1007/s00464-007-9219-7](https://doi.org/10.1007/s00464-007-9219-7)] [Medline: [17356944](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17356944/)]
155. Schijven MP, Jakimowicz JJ. Validation of virtual reality simulators: key to the successful integration of a novel teaching technology into minimal access surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2005;14(4):244-246. [doi: [10.1080/13645700500221881](https://doi.org/10.1080/13645700500221881)] [Medline: [16754170](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16754170/)]
156. American Educational Research Association, American Psychological Association, National Council on Measurement in Education. *Standards for Educational and Psychological Testing*. Washington, DC: American Educational Research Association; 2014.
157. Korndorffer JR, Kasten SJ, Downing SM. A call for the utilization of consensus standards in the surgical education literature. *Am J Surg* 2010 Jan;199(1):99-104. [doi: [10.1016/j.amjsurg.2009.08.018](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2009.08.018)] [Medline: [20103073](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20103073/)]

158. Nicholson WJ, Cates CU, Patel AD, Niazi K, Palmer S, Helmy T, et al. Face and content validation of virtual reality simulation for carotid angiography: results from the first 100 physicians attending the emory neuroanatomy carotid training (ENACT) program. *Simul Healthc* 2006;1(3):147-150. [doi: [10.1097/01_sih.0000244457.30080.fc](https://doi.org/10.1097/01_sih.0000244457.30080.fc)] [Medline: [19088583](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19088583/)]
159. McDougall EM, Corica FA, Boker JR, Sala LG, Stolar G, Borin JF, et al. Construct validity testing of a laparoscopic surgical simulator. *J Am Coll Surg* 2006 May;202(5):779-787. [doi: [10.1016/j.jamcollsurg.2006.01.004](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2006.01.004)] [Medline: [16648018](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16648018/)]
160. Goodwin LD. Changing conceptions of measurement validity: an update on the new standards. *J Nurs Educ* 2002 Mar;41(3):100-106. [Medline: [11939227](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11939227/)]
161. Straub D, Gefen D. Validation guidelines for IS positivist research. *Commun Assoc Inf Syst* 2004;13:-. [doi: [10.17705/1CAIS.01324](https://doi.org/10.17705/1CAIS.01324)]
162. Gallagher A, O'Sullivan G. Metrics for the measurement of skill. In: *Fundamentals of Surgical Simulation: Principles and Practice*. London, UK: Springer London; 2012:123-153.
163. Fried GM. Simulators for laparoscopic surgery: a coming of age. *Asian J Surg* 2004 Jan;27(1):1-3 [FREE Full text] [doi: [10.1016/S1015-9584\(09\)60235-9](https://doi.org/10.1016/S1015-9584(09)60235-9)] [Medline: [14709418](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14709418/)]
164. Schijven M, Jakimowicz J. Face-, expert, and referent validity of the Xitact LS500 laparoscopy simulator. *Surg Endosc* 2002 Dec;16(12):1764-1770. [doi: [10.1007/s00464-001-9229-9](https://doi.org/10.1007/s00464-001-9229-9)] [Medline: [12098029](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12098029/)]
165. Andreatta P, Gruppen L. Conceptualising and classifying validity evidence for simulation. *Med Educ* 2009 Nov;43(11):1028-1035. [doi: [10.1111/j.1365-2923.2009.03454.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03454.x)] [Medline: [19874494](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19874494/)]
166. Xiao D, Jakimowicz JJ, Albayrak A, Buzink SN, Botden SM, Goossens RH. Face, content, and construct validity of a novel portable ergonomic simulator for basic laparoscopic skills. *J Surg Educ* 2014;71(1):65-72. [doi: [10.1016/j.jsurg.2013.05.003](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.05.003)] [Medline: [24411426](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24411426/)]
167. Emam TA, Hanna GB, Kimber C, Dunkley P, Cuschieri A. Effect of intracorporeal-extracorporeal instrument length ratio on endoscopic task performance and surgeon movements. *Arch Surg* 2000 Jan;135(1):62-5; discussion 66. [doi: [10.1001/archsurg.135.1.62](https://doi.org/10.1001/archsurg.135.1.62)] [Medline: [10636349](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10636349/)]
168. Messick S. Standards of validity and the validity of standards in performance assessment. *Educ Meas Issues Pract* 1995;14(4):5-8. [doi: [10.1111/j.1745-3992.1995.tb00881.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.1995.tb00881.x)]
169. Downing SM. Validity: on meaningful interpretation of assessment data. *Med Educ* 2003 Sep;37(9):830-837. [doi: [10.1046/j.1365-2923.2003.01594.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2003.01594.x)] [Medline: [14506816](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14506816/)]
170. Moldovanu R, Tărcoveanu E, Dimofte G, Lupașcu C, Bradea C. Preoperative warm-up using a virtual reality simulator. *JSLs* 2011;15(4):533-538 [FREE Full text] [doi: [10.4293/108680811X13176785204409](https://doi.org/10.4293/108680811X13176785204409)] [Medline: [22643511](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22643511/)]
171. Calatayud D, Arora S, Aggarwal R, Kruglikova I, Schulze S, Funch-Jensen P, et al. Warm-up in a virtual reality environment improves performance in the operating room. *Ann Surg* 2010 Jun;251(6):1181-1185. [doi: [10.1097/SLA.0b013e3181deb630](https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3181deb630)] [Medline: [20485133](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20485133/)]
172. Abdalla G, Moran-Atkin E, Chen G, Schweitzer MA, Magnuson TH, Steele KE. The effect of warm-up on surgical performance: a systematic review. *Surg Endosc* 2015 Jun;29(6):1259-1269. [doi: [10.1007/s00464-014-3811-4](https://doi.org/10.1007/s00464-014-3811-4)] [Medline: [25149639](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25149639/)]
173. Kahol K, Satava RM, Ferrara J, Smith ML. Effect of short-term pretrial practice on surgical proficiency in simulated environments: a randomized trial of the 'preoperative warm-up' effect. *J Am Coll Surg* 2009 Feb;208(2):255-268. [doi: [10.1016/j.jamcollsurg.2008.09.029](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2008.09.029)] [Medline: [19228538](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19228538/)]
174. Moran-Atkin E, Abdalla G, Chen G, Magnuson TH, Lidor AO, Schweitzer MA, et al. Preoperative warm-up the key to improved resident technique: a randomized study. *Surg Endosc* 2015 May;29(5):1057-1063. [doi: [10.1007/s00464-014-3778-1](https://doi.org/10.1007/s00464-014-3778-1)] [Medline: [25249142](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25249142/)]
175. Pike TW, Pathak S, Mushtaq F, Wilkie RM, Mon-Williams M, Lodge JP. A systematic examination of preoperative surgery warm-up routines. *Surg Endosc* 2017 May;31(5):2202-2214. [doi: [10.1007/s00464-016-5218-x](https://doi.org/10.1007/s00464-016-5218-x)] [Medline: [27633438](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27633438/)]
176. Chen CC, Green IC, Colbert-Getz JM, Steele K, Chou B, Lawson SM, et al. Warm-up on a simulator improves residents' performance in laparoscopic surgery: a randomized trial. *Int Urogynecol J* 2013 Oct;24(10):1615-1622. [doi: [10.1007/s00192-013-2066-2](https://doi.org/10.1007/s00192-013-2066-2)] [Medline: [23575698](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23575698/)]
177. Plerhoples TA, Zak Y, Hernandez-Boussard T, Lau J. Another use of the mobile device: warm-up for laparoscopic surgery. *J Surg Res* 2011 Oct;170(2):185-188. [doi: [10.1016/j.jss.2011.03.015](https://doi.org/10.1016/j.jss.2011.03.015)] [Medline: [21529831](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21529831/)]
178. Soler L, Marescaux J. Patient-specific surgical simulation. *World J Surg* 2008 Feb;32(2):208-212. [doi: [10.1007/s00268-007-9329-3](https://doi.org/10.1007/s00268-007-9329-3)] [Medline: [18066615](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18066615/)]
179. Marescaux J, Clément JM, Tasseti V, Koehl C, Cotin S, Russier Y, et al. Virtual reality applied to hepatic surgery simulation: the next revolution. *Ann Surg* 1998 Nov;228(5):627-634. [doi: [10.1097/00000658-199811000-00001](https://doi.org/10.1097/00000658-199811000-00001)] [Medline: [9833800](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9833800/)]
180. Shiozawa M, Sata N, Endo K, Koizumi M, Yasuda Y, Nagai H, et al. Preoperative virtual simulation of adrenal tumors. *Abdom Imaging* 2009;34(1):113-120. [doi: [10.1007/s00261-008-9364-z](https://doi.org/10.1007/s00261-008-9364-z)] [Medline: [18253779](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18253779/)]
181. Willaert WJ, Aggarwal R, Van Herzele I, Cheshire NJ, Vermassen FE. Recent advancements in medical simulation: patient-specific virtual reality simulation. *World J Surg* 2012 Jul;36(7):1703-1712. [doi: [10.1007/s00268-012-1489-0](https://doi.org/10.1007/s00268-012-1489-0)] [Medline: [22532308](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22532308/)]



182. Endo K, Sata N, Ishiguro Y, Miki A, Sasanuma H, Sakuma Y, et al. A patient-specific surgical simulator using preoperative imaging data: an interactive simulator using a three-dimensional tactile mouse. *J Comput Surg* 2014 Aug 6;1(1):- [doi: [10.1186/s40244-014-0010-5](https://doi.org/10.1186/s40244-014-0010-5)]
183. Makiyama K, Yamanaka H, Ueno D, Ohsaka K, Sano F, Nakaigawa N, et al. Validation of a patient-specific simulator for laparoscopic renal surgery. *Int J Urol* 2015 Jun;22(6):572-576 [FREE Full text] [doi: [10.1111/iju.12737](https://doi.org/10.1111/iju.12737)] [Medline: [25721949](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25721949/)]

Abbreviations

MIS: minimally invasive surgery

MIST-VR: minimally invasive surgery training—virtual reality

LMC: Leap Motion Controller

DBR: design-based research

SIMISGEST-VR: gesture-mediated simulator for minimally invasive surgery—virtual reality

Edited by G Eysenbach; submitted 17.12.19; peer-reviewed by S Jung, Z He; comments to author 13.02.20; revised version received 26.02.20; accepted 29.02.20; published 14.07.20

Please cite as:

Alvarez-Lopez F, Maina MF, Saigi-Rubió F

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

J Med Internet Res 2020;22(7):e17491

URL: <http://www.jmir.org/2020/7/e17491/>

doi: [10.2196/17491](https://doi.org/10.2196/17491)

PMID:

©Fernando Alvarez-Lopez, Marcelo Fabián Maina, Francese Saigi-Rubió. Originally published in the Journal of Medical Internet Research (<http://www.jmir.org>), 14.07.2020. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work, first published in the Journal of Medical Internet Research, is properly cited. The complete bibliographic information, a link to the original publication on <http://www.jmir.org/>, as well as this copyright and license information must be included.



3.3 Publicación 03. Use of a low-cost portable 3D virtual reality simulator for psychomotor skill training in Minimally Invasive Surgery: task metrics and score validity

[Original Paper](#)

Use of a Low-Cost Portable 3D Virtual Reality Simulator for Psychomotor Skill Training in Minimally Invasive Surgery: Task Metrics and Score Validity

Fernando Alvarez-Lopez^{1,2}, MD; Marcelo Fabián Maina³, PhD; Fernando Arango¹, MD; Francesc Saigi-Rubió², PhD

¹Faculty of Health Sciences, Universidad de Manizales, Manizales, Colombia

²Faculty of Health Sciences, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Spain

³Faculty of Psychology and Education Sciences, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Spain

Corresponding Author:

Francesc Saigi-Rubió, PhD
Faculty of Health Sciences
Universitat Oberta de Catalunya
Avinguda Tibidabo, 39-43
Barcelona, 08035
Spain
Phone: 34 933 263 622
Email: fsaigi@uoc.edu

Abstract

Background: The high cost and low availability of virtual reality simulators in surgical specialty training programs in low- and middle-income countries make it necessary to develop and obtain sources of validity for new models of low-cost portable simulators that enable ubiquitous learning of psychomotor skills in minimally invasive surgery.

Objective: The aim of this study was to obtain validity evidence for relationships to other variables, internal structure, and consequences of testing for the task scores of a new low-cost portable simulator mediated by gestures for learning basic psychomotor skills in minimally invasive surgery. This new simulator is called SIMISGEST-VR (Simulator of Minimally Invasive Surgery mediated by Gestures - Virtual Reality).

Methods: In this prospective observational validity study, the authors looked for multiple sources of evidence (known group construct validity, prior videogaming experience, internal structure, test-retest reliability, and consequences of testing) for the proposed SIMISGEST-VR tasks. Undergraduate students (n=100, reference group), surgical residents (n=20), and experts in minimally invasive surgery (n=28) took part in the study. After answering a demographic questionnaire and watching a video of the tasks to be performed, they individually repeated each task 10 times with each hand. The simulator provided concurrent, immediate, and terminal feedback and obtained the task metrics (time and score). From the reference group, 29 undergraduate students were randomly selected to perform the tasks 6 months later in order to determine test-retest reliability.

Results: Evidence from multiple sources, including strong intrarater reliability and internal consistency, considerable evidence for the hypothesized consequences of testing, and partial confirmation for relations to other variables, supports the validity of the scores and the metrics used to train and teach basic psychomotor skills for minimally invasive surgery via a new low-cost portable simulator that utilizes interaction technology mediated by gestures.

Conclusions: The results obtained provided multiple sources of evidence to validate SIMISGEST-VR tasks aimed at training novices with no prior experience and enabling them to learn basic psychomotor skills for minimally invasive surgery.

(JMIR Serious Games 2020;8(4):e19723) doi: [10.2196/19723](https://doi.org/10.2196/19723)

KEYWORDS

simulation training; minimally invasive surgical procedures; medical education; user-computer interface; computer-assisted surgery; Leap Motion Controller



Introduction

Background

The advent of minimally invasive surgery in the mid-1980s [1] led to an increase in the number of iatrogenic bile duct injuries when many surgeons worldwide switched from open surgery to minimally invasive surgery without any prior training [2-8]. As a result, simulation has since become a valuable tool for learning motor skills for minimally invasive surgery. Many studies have demonstrated that simulation is a useful tool for learning motor skills for minimally invasive surgery and that learned skills can be transferred to the operating theatre [9-19].

The first virtual reality (VR) simulator for minimally invasive surgery training was MIST-VR (Minimally Invasive Surgery Training - Virtual Reality) [20]. Evidence for construct validity was established in 1998 [21], and evidence for predictive validity was obtained in 2002 [9,22]. Subsequently, evidence for concurrent validity was also demonstrated [23-25].

Recent years have seen the development of low-cost gesture-based touchless devices that can interact with 3D virtual environments, among them Kinect (Microsoft Corp), the Leap Motion Controller (Leap Motion Inc), and the Myo armband (Thalmic Labs) [26].

The Leap Motion Controller was launched in May 2012. It is based on the principle of infrared optical tracking, which detects the positions of fine objects such as fingertips or pen tips in a Cartesian plane; its interaction zone is an inverted cone of approximately 0.23 m³, and it has a motion detection range between 20 mm and 600 mm [27,28]. It measures 76 mm × 30 mm × 13 mm and weighs 45 g. It has 3 infrared emitters and 2 infrared cameras that capture the movements generated within the interaction zone [29,30]. The manufacturer reports an accuracy of 0.01 mm for fingertip detection, although one independent study showed an accuracy of 0.7 mm [31]. Although the Leap Motion Controller is designed mainly to detect hand motions, it can track objects such as pencils and laparoscopic surgical forceps [32-34].

The Leap Motion Controller has been used as a tool for the manipulation of medical images in the fields of interventional radiology and image-guided surgery or when there is a risk of contamination through contact (autopsy rooms, for example), for touchless control (operating theatre lights and tables) and for simulation (minimally invasive surgery and robotic surgery). Various authors have used the Leap Motion Controller to develop simulators that track hand or instrument movements [26,32-39]. A paper by Lahanas [35] describes using Leap Motion Controller to simulate 3 tasks: camera navigation, instrument navigation, and bimanual operation; 28 expert surgeons and 21 reference individuals took part in the study. The experts significantly outperformed novices in all assessment metrics for instrument navigation and bimanual operation.

Simulators for learning skills for minimally invasive surgery can be classified into 3 types: traditional box trainers, augmented reality simulators (hybrid), and VR simulators [40,41]. Simulation has become a valuable tool for learning basic motor skills in surgery, but access to simulators remains problematic,

especially in low- and middle-income countries, because of their high cost. Consequently, that makes it necessary to develop and validate the metrics and scores of low-cost portable simulators [42-44].

The aim of this study was to evaluate a simulation instrument, SIMISGEST-VR (Simulator of Minimally Invasive Surgery mediated by Gestures - Virtual Reality), and to document the sources of validity evidence for task scores, relations to other variables, internal structure, consequences of testing, and response process.

Hypotheses

To that end, 3 hypotheses were formulated:

Hypothesis 1: Validity Evidence for Relations to Other Variables

The first hypothesis aims to demonstrate that the test scores discriminate between a reference group (no prior experience), surgical residents (less experienced), and surgeons (more experienced), showing that the experts already have the basic psychomotor skills being measured, and similarly, that videogaming experience is correlated with better performance in simulator tasks, regardless of the level of training and experience.

Hypothesis 2: Evidence for Internal Structure

The intrarater test-retest assumes that, if a reference individual is not exposed to simulators in the period of time between the 2 complete simulator exercises, there will be no significant differences in performance between the first and second exercises.

Hypothesis 3: Evidence for Consequences of Testing

Regarding evidence for consequences of testing, the reference group learning will be demonstrated by improvements in the metrics and the final score when comparing the first and the tenth attempt in each task.

Methods

Study Design

This was a prospective observational validity study. The current unified standard considers that all validity is construct validity and, as such, requires evidence from 5 sources [45-52].

Content evidence includes a description of the steps taken to ensure that test content reflects, in a relevant way, the construct or characteristic being measured. The results obtained from the survey assessing fidelity to the criterion and content-related validity evidence for SIMISGEST-VR showed that all 30 participants felt that most aspects of the simulator were adequately realistic and that it could be used as a tool for teaching basic psychomotor skills in laparoscopic surgery (Likert score: range 4.07-4.73). The sources of content-related validity evidence showed that our simulator was a reliable training tool and that the tasks enabled learning of the basic psychomotor skills required in minimally invasive surgery (Likert score: range 4.28-4.67) [53].



Evidence for *relations to other variables* refers to the statistical association between the test scores and other characteristics or external measures that have theoretical relations, such as level of training, level of experience, prior videogaming experience, and scores for other already validated instruments. One of the most common correlations is *known group construct validity* (ie, the correlation between performance scores and level of training and experience) [54]. Relations may be positive (convergent or predictive) or negative (divergent or discriminant) depending on the constructs being measured [55]. This study explored the relations between performance scores and the level of training, experience, and prior videogaming experience.

Evidence for *internal structure* includes data that evaluate the relations between the individual items of the assessment, and how they correlate to the construct. It includes measures of reliability, reproducibility, and factor analysis. Reliability is a necessary but insufficient condition for validity [56]. Intrarater reliability was obtained using the test-retest method, which assesses the stability of responses over time [57]. Test-retest reliability was explored through blinded rerating after an interval of 6 months in the reference group. The randomly selected participants were asked whether they had had additional experience of using simulators during that period of time [56]. The answer was “no” in all cases. The data produced by this second test were not taken into account in the evidence for the construct validity study. Worster and Haines [58] noted that there was no published recommendation for the proportion of data that should be checked but that 10% was common. In this study, 29% of the reference individuals were included in the test-retest study. The demonstration of reliability is mandatory before an evaluation can be shown to be valid [54].

Evidence for *consequences* refers to the impact, benefit, or danger of assessment itself and the resulting decisions and actions. Yet, simply demonstrating consequences, even significant and impressive ones, does not constitute validity evidence unless investigators explicitly demonstrate that these consequences have an impact on score interpretation (validity) [46,55]. Evidence for consequences falls within a spectrum between high-stake examinations, licensing examinations, or low-stake examinations such a self-assessment used for formative feedback alone [54]. In our case, we hoped to obtain evidence to demonstrate that the reference group had managed to achieve the learning curve.

Evidence for *response process* includes theoretical and empirical analyses evaluating the extent to which the assessors' and respondents' responses are aligned to the construct. It includes an evaluation of safety, of quality control, and of the actors' thoughts and actions during the assessment. The response process also includes the accuracy of data collection and entry into the database [54]. This type of evidence can be difficult to demonstrate because data are often qualitative [55].

Participants and Simulator Test Methodology

Participating in this study were minimally invasive surgery expert surgeons (n=28) in a range of surgical specialties, each who had performed more than 100 procedures, surgical residents (n=20) in a range of surgical specialties from the University of

Caldas (in Manizales, Colombia), each who had performed fewer than 50 procedures (basic training: n=15; advanced training: n=5), and medical undergraduate students (n=100) from the University of Caldas and the University of Manizales who had no experience performing minimally invasive surgical procedures. The expert surgeons worked in the following specialties: general surgery 8 (28.5%), pediatric surgery 5 (17.8%), neurosurgery 4 (14.2%), colorectal surgery 3 (10.7%), orthopedic surgery 3 (10.7%), gynecological surgery 2 (7.1%), urological surgery 1 (3.5%), thoracic surgery 1 (3.5%), and vascular surgery 1 (3.5%).

All participants completed a questionnaire providing demographic data (Multimedia Appendix 1) and information about the dominant hand, level of training, levels of minimally invasive surgery skills, prior training with simulators, and experience with videogaming or VR devices.

After the instructor had given basic instructions about using the simulator and had shown a video of each task to be performed, the study participants performed 10 repetitions of tasks 1, 2, 4, 5, and 6 with each hand. Task 3 was repeated 10 times because both hands were considered dominant. The instructor did not give additional feedback, but the simulator did provide concurrent feedback (visual and auditory feedback while performing each task), immediate feedback (displaying the results in terms of time, accuracy and errors at the end of each task), and terminal feedback (performance curve and final score). The participants were able to watch the demonstration videos again at any time. For the test-retest reliability study, 29 participants were randomly selected from the reference group. They repeated the entire exercise 6 months after the first exercise; none were exposed to any type of simulator during that period of time. One of the authors (FAL) supervised and photographically documented each exercise.

SIMISGEST-VR

SIMISGEST-VR was developed using design-based research [59-63]. A previously published article [53] describes in detail the development of the device and a study assessing fidelity to the criterion and content-related validity evidence.

Virtual Environment

The virtual environment consisted of the following modules: registration to collect users' demographic data and a tutorial to show demonstration videos of the tasks to be performed.

SIMISGEST-VR supports 6 tasks, each of which corresponds to a surgical equivalent (Table 1; Figure 1). The tasks were adapted from MIST-VR (Mentice Inc) [20,64,65]. MIST-VR is the simulator on which the highest number of validation studies have been conducted, and they have demonstrated, on multiple occasions, that the skills that are learned can be transferred to the operating theatre [9,21,66-73].

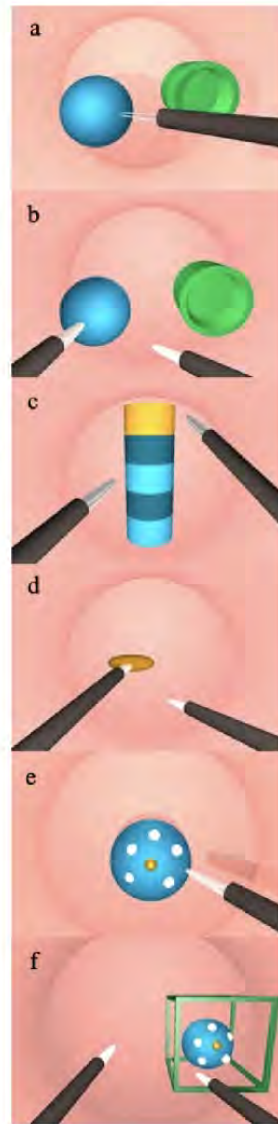
Except for task 3, all tasks had the option of configuring the dominant hand during the exercise; task 3 required the simultaneous use of both hands and therefore both played a dominant function. Given its level of difficulty, this task was performed last in all cases. The online virtual environment ran on Windows (Microsoft Inc) and MacOS (Apple Inc) platforms.



Table 1. Description of the tasks and their surgical equivalents. Adapted from Sutton et al [20].

Task number	Task name	Description	Surgical equivalent	Learning objective
Task 1	Grip and placement	Take the sphere with one hand and move it to a new location within the workspace	Gripping and retraction of tissue to a given position, placement of clips and hemostasis, use of extractor bags	Visual-spatial perception and eye-hand coordination
Task 2	Transfer and placement of an object	Take the sphere, transfer it to another instrument and place it inside a hollow cylinder	Transfer of a needle between a clamp and a needle holder	Visual-spatial perception, eye-hand coordination, and use of both hands in a complementary manner
Task 3	Cross	Instruments travel along a surface in a 3D cylinder	Small intestine exploration	Coordinated use of both the dominant and nondominant hands and ambidexterity
Task 4	Removal and reinsertion of instruments	Removal of instruments from the operative site and reinsertion	One instrument stabilizes one organ while the other is removed from the field and reintroduced	Visual-spatial perception, use of both hands in a complementary manner, and depth perception
Task 5	Diathermy	Cauterize a series of targets located in a fixed sphere	Cauterize a bleeding blood vessel	Visual-spatial perception, time of diathermy, and accuracy of movements
Task 6	Target manipulation and diathermy	Take the sphere with the instrument and place it inside a virtual space represented by a cube and cauterize a series of targets with the other hand.	Present and set a target to cauterize	Visual-spatial perception, time of diathermy, and accuracy of movements

Figure 1. Task screenshots.



Metrics

The metrics were established using 5 parameters: time (velocity), efficiency of movement for the right and left hands [21,74], economy of diathermy, error and accuracy (penalty) [75,76], and final score.

Feedback

Feedback is essential [77]. Training on a simulator should have 3 purposes: to improve performance, to make performance consistent, and to reduce the number of errors [78]. The haptic sensation and concurrent feedback were simulated using sound signals, color changes in the objects, and movement of the object when an undue collision occurred between the different components of the environment or when an error occurred during the task (concurrent feedback). For SIMISGEST-VR,

<http://games.jmir.org/2020/4/e19723/>



JMIR Serious Games 2020 | vol. 8 | iss. 4 | e19723 | p. 5
(page number not for citation purposes)

we adopted 3 types of feedback: concurrent, which was provided while the task is being performed; immediate, which was provided at the end of each task when the system provides information on the presence or absence of errors, efficiency, and the time taken; and terminal, which was provided at the end of each training session when the system provides a series of graphs and tables that show performance over time [79-83]. The data generated by the program were stored on an SQL (structured query language) database engine integrated into the simulation software.

Hardware

Two laparoscopic forceps were used. In fact, we used simulated forceps made using 3D printers. These minimally invasive

surgery forceps did not need to be functional. The final device with all its components assembled is shown in Figure 2. Figure 2 shows the fixing pad (1) for the Leap Motion Controller and the mounting support devices (3) for the minimally invasive surgery laparoscopic forceps (2), which allow simulation of the fulcrum effect; the Leap Motion Controller (4), responsible for detecting the movements of the instruments; and the computer, which, by means of the software programs running on it, administers the virtual environment and the metrics, and provides feedback and the final performance score on the screen (5) where the 3D virtual environment is displayed.

To perform the test, a 13-inch MacBook Pro (Apple Inc) was used, which served as a screen, ran the 3D virtual environment, and stored metrics data.

Figure 2. Diagram of the artifact. MIS: minimally invasive surgery.

1. Support pad:

- Length: 35 cm
- Width: 25 cm
- Height: 1.5 cm

2. Forceps of MIS:

- Length of the stem: 33 cm

3. Forceps support device:

- Height: 22.5 cm
- Distance between the top of the devices: 16.5 cm

4. Leap Motion Controller™:

- Length: 8 cm
- Width: 3 cm
- Height: 12 mm

5. Virtual environment



Data Analysis

Continuous data are presented in a frequency distribution table by mean and standard deviation. The Shapiro-Wilk test was used to assess normality. Categorical data are also presented in a frequency distribution table. Since the metrics data were not normally distributed, nonparametric tests were used to assess the hypotheses. Regarding hypothesis 1, the differences in the scores and time taken to perform the first trial in each task between novices and experts were compared using the Wilcoxon signed-rank test. Among the novices, the final scores of the tenth trial in each task were compared by prior videogaming experience using the Kolmogorov-Smirnov test. To assess hypothesis 2, internal consistency was calculated using Cronbach α . In addition, test-retest reliability was assessed by comparing the tenth trial in each task performed initially and repeated 6 months later using the Spearman correlation coefficient. To assess hypothesis 3, the scores and time taken in the first and last trials in each task were compared by level

of training using the Wilcoxon signed-rank test. In addition, excess diathermy in the first and last trials in tasks 5 and 6 was calculated by level of training using the Wilcoxon signed-rank test. $P < .05$ as level of statistical significance was established. Statistical analysis was performed using Stata (version 15.0; StataCorp LLC).

Results

Demographic Profile

Regarding prior experience with simulators, 35% (7/20) of the surgical residents and 36% (10/28) of the surgeons surveyed said they did not have any. Among the surgical residents, only 15% (3/20) had experience with VR simulators, and none had any experience with hybrid ones.

When videogaming experience was assessed, the low percentage of frequent gaming (daily or weekly) was striking: only 28% (28/100) in the reference group, 20% (4/20) among surgical residents, and 14% (4/28) among experts (Table 2).

Table 2. Demographic profile of study participants.

Variable	Reference group (n=100)	Surgical residents (n=20)	Surgeons (n=28)
Gender, n (%)			
Female	47 (47)	10 (50)	4 (15)
Male	53 (53)	10 (50)	24 (86)
Age	23.5 (0.28)	28.4 (0.54)	47 (2.12)
Dominant hand, n (%)			
Right	89 (89)	19 (95)	27 (96)
Left	11 (11)	1 (5)	1 (4)
Experience with simulators, n (%)			
Yes	1 (1)	13 (65)	18 (64)
No	99 (99)	7 (35)	10 (36)
Type of simulator, n (%)			
Not applicable	99 (99)	7 (35)	10 (25)
Virtual reality	1 (1)	3 (15)	7 (36)
Physical	0 (0)	10 (50)	10 (25)
Hybrid/augmented reality	0 (0)	0 (0)	1 (4)
Videogaming experience, n (%)			
Yes	72 (72)	15 (75)	14 (50)
No	28 (28)	5 (25)	14 (50)
Videogaming frequency, n (%)			
Not applicable	26 (26)	4 (20)	14 (50)
Daily	1 (1)	1 (5)	0 (0)
Weekly	27 (27)	3 (15)	4 (14)
Monthly	6 (6)	3 (15)	3 (11)
Occasionally	40 (40)	9 (45)	7 (25)
Minimally invasive surgery experience, n (%)			
None	37 (37)	3 (15)	0 (0)
Basic camera manipulation	63 (63)	6 (30)	0 (0)
Basic operator level	0 (0)	11 (55)	10 (36)
Intermediate operator level	0 (0)	0 (0)	10 (36)
Advanced operator level	0 (0)	0 (0)	8 (29)

Validity Hypothesis 1: Relations to Other Variables

To explore validity evidence for relations to other variables, we compared the SIMISGEST-VR test scores across experience levels (known group construct validity). No statistically significant differences were found in the scores of the first trial in each task between novices and experts; however, the times taken to perform tasks 3 ($P=.006$) and 6 ($P=.02$) were

statistically significantly lower for experts compared to those of the reference group (Table 3). Performance in task 5 was better for novices who had prior videogaming experience ($P=.01$), as shown in Figure 3. When time was considered as a metric in task 3, a statistically significant difference ($P=.006$) was found between the reference group and the experts in performing the first trial (Figure 4).

Table 3. Trial 1 scores and time between novices and experts.

Metric and task	P value
Score	
Task 1	.58
Task 2	.13
Task 3	.33
Task 4	.18
Task 5	.77
Task 6	.27
Time	
Task 1	.53
Task 2	.34
Task 3	.006
Task 4	.26
Task 5	.28
Task 6	.02

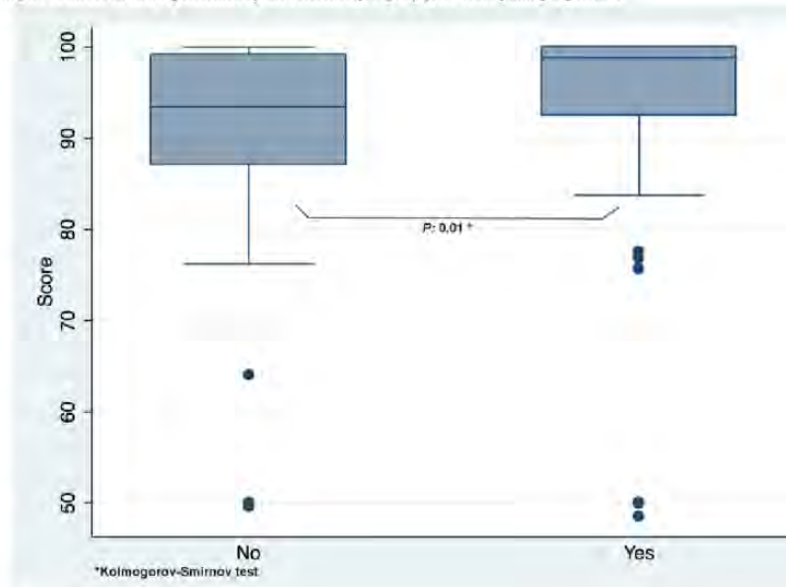
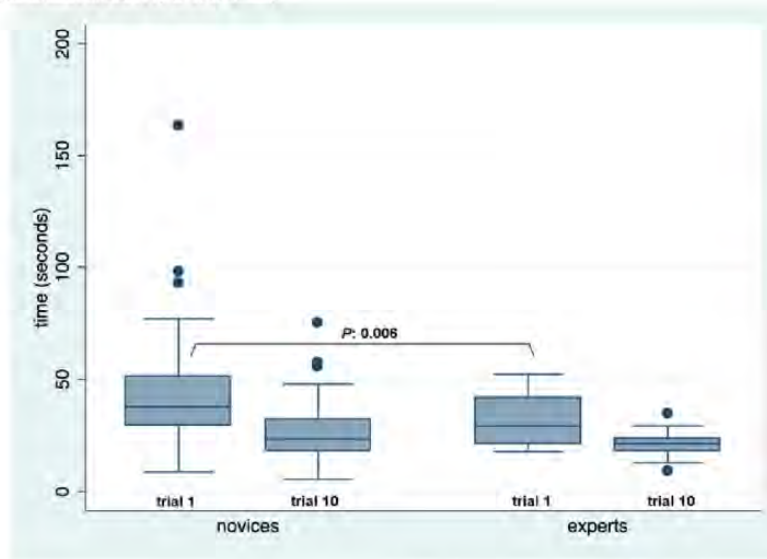
Figure 3. Box plot of scores in task 5 performed by the reference group, by prior videogaming experience.

Figure 4. Box plot of times in task 3, by level of training.



Validity Hypothesis 2: Internal Structure

The items demonstrated high internal consistency (Cronbach $\alpha=.81$). Regarding the final scores in all the tasks, no statistically significant differences were found between the first exercises and those 6 months later for the randomly selected participants

from the reference group (Table 4); when time was assessed as a metric, statistically significant differences were found for tasks 4 (trial 10: $P=.048$) and 6 (trial 10: $P=.03$). This demonstrates full evidence for the internal structure and test-retest reliability with respect to the score and partial evidence with respect to time as a metric (Table 4).

Table 4. Test-retest score for novices showing reliability between trials.

Metric, task, and trial comparison	Spearman correlation coefficient	<i>P</i> value
Score (initial vs 6 months later)		
Task 1		
Trial 1	0.200	.23
Trial 10	-0.294	.12
Task 2		
Trial 1	0.0846	.66
Trial 10	-0.256	.18
Task 3		
Trial 1	-0.036	.85
Trial 10	0.150	.44
Task 4		
Trial 1	0.120	.53
Trial 10	0.338	.07
Task 5		
Trial 1	0.341	.07
Trial 10	0.035	.85
Task 6		
Trial 1	-0.321	.09
Trial 10	-0.030	.88
Time (initial vs 6 months later)		
Task 1		
Trial 1	-0.005	.98
Trial 10	0.243	.20
Task 2		
Trial 1	-0.082	.67
Trial 10	-0.216	.26
Task 3		
Trial 1	0.121	.53
Trial 10	0.359	.06
Task 4		
Trial 1	-0.141	.46
Trial 10	0.370	.048
Task 5		
Trial 1	0.271	.16
Trial 10	0.330	.08
Task 6		
Trial 1	0.097	.62
Trial 10	0.412	.03

Validity Hypothesis 3: Consequences of Testing

Among the reference group, statistically significant differences were found in the scores and the time taken to perform each task between the first and tenth trials. Among the experts,

statistically significant differences were found in the scores in tasks 1 ($P<.001$), 3 ($P=.03$), and 4 ($P=.01$), and in the time taken to perform each task. These findings demonstrate a learning curve (Table 5).

Table 5. Score and time between trial 1 and trial 10, by level of training.

Metric and task	Comparison trials	Novices, <i>P</i> value	Experts, <i>P</i> value
Score			
Task 1	1 vs 10	<.001	<.001
Task 2	1 vs 10	.002	.052
Task 3	1 vs 10	.002	.03
Task 4	1 vs 10	<.001	.01
Task 5	1 vs 10	<.001	.31
Task 6	1 vs 10	.003	.63
Time			
Task 1	1 vs 10	<.001	<.001
Task 2	1 vs 10	<.001	<.001
Task 3	1 vs 10	<.001	<.001
Task 4	1 vs 10	<.001	<.001
Task 5	1 vs 10	<.001	<.001
Task 6	1 vs 10	<.001	<.001

In task 5, the reference group made statistically significantly fewer excess diathermy errors in the tenth trial than they did in the first trial ($P=.003$), which is evidence of a learning curve (Table 6).

Table 6. Excess diathermy errors when doing trials 1 and 10 in tasks 5 and 6, by level of training. Wilcoxon signed-rank test.

Task and group	Trial 1, mean (95% CI)	Trial 10, mean (95% CI)	<i>P</i> value
Task 5			
Novices	0.205 (0.127, 0.282)	0.090 (0.031, 0.148)	.003
Experts	0.125 (0.039, 0.210)	0.089 (0.013, 0.164)	.56
Task 6			
Novices	0.200 (0.105, 0.294)	0.205 (0.120, 0.289)	.90
Experts	0.250 (0.049, 0.450)	0.107 (0.010, 0.203)	.40

Response Process Validity

Study participants had the opportunity to observe each task in advance by watching a video, and they received basic instruction. The only feedback the participants received was from the simulator; they did not receive any other type of feedback from the instructor. Each of the 177 tests performed (148 initial tests and 29 test-retests) was supervised by the same person (FAL). Photographic documentation of every person performing the tasks was obtained. The final performance scores were defined in advance by using the formula described in another study [53]. The exercise results were stored in an SQL database right within the simulator app itself after each test.

SIMISGEST-VR Simulator Cost

The Leap Motion Controller costs approximately US \$130, and the hardware elements cost approximately US \$70. LapSim essence (Surgical Science Sweden AB) is a portable VR simulator that enables people to learn basic skills. It does not include haptics and is not available for sale, but it can be hired for 6 months at an approximate price of US \$5500. To date, there are no publications about the validity of the tasks that this device proposes.

Discussion

General

The aim of this study was to evaluate a simulation instrument—SIMISGEST-VR—and to document the sources of validity evidence for task scores, relations to other variables, internal structure, consequences of testing, and response process.

Technology-enhanced simulation is defined as an “educational tool or device with which the learner physically interacts to mimic an aspect of clinical care for the purpose of teaching or assessment [83,84].” The use of simulators for learning basic psychomotor skills in minimally invasive surgery has been supported by multiple systematic reviews [16,17,85-90].

In the current state-of-the-art conceptual framework, validity is defined as the appropriate interpretation or use of test results and therefore applies only to the scores or interpretation in a specific context. The commonly used term *valid instrument* is inaccurate, and validity must be established for each intended interpretation [46,48,50]. Thus, when an evaluation instrument is said to be “valid” or to have been “validated,” it is essential to take into account the learning context, the performance



context, the domain content, and the exigency of decisions taken on the basis of test results [91].

Validation refers to the process of collecting validity evidence to evaluate the appropriateness of the interpretations, uses, and decisions based on assessment results [52]. Validation is, therefore, a process and not an endpoint, and it involves gathering evidence and taking decisions based on the interpretation of the data obtained. In our case, validation required a series of experiments designed to provide evidence that the scores measured in SIMISGEST-VR reflected the technical skills they purported to measure [92].

The first step in any validity evaluation is to clearly define the construct. The construct we focused on validating was training and learning basic psychomotor skills in minimally invasive surgery using a low-cost portable simulator called SIMISGEST-VR. Several systematic reviews [16,93-96] have found that basic psychomotor skills can be learned in low-cost simulation models; however, low-cost simulators are often box trainers made from cardboard boxes [97], plastic crates [98], folding portable boxes [99], and boxes that require the use of laparoscopic equipment [100,101] or even an iPad [102]. There are no low-cost VR simulators on the market.

An important finding from this study was the high percentage of surgical residents and surgeons that had no experience with simulators, and the very low percentage of surgical residents who had experience with hybrid and VR simulators. This finding can be explained by the high cost of this type of simulator, which, in many countries, prevents the creation of simulation centers for learning basic psychomotor skills in minimally invasive surgery and constitutes an argument in favor of exploring the development of models of low-cost portable VR simulators such as SIMISGEST-VR. Ucelli [44] demonstrated a comparable outcome between supervised simulator practice and unstructured free simulator access without mentoring and, therefore, that “take home” simulation was both viable and economically beneficial.

Validity Hypothesis 1: Relations to Other Variables

It is currently considered that a comparison between reference individuals and experts does not constitute an important validity argument [103,104]. However, it is the type of evidence for relations to other variables that is most often referred to in the literature [105]. The SIMISGEST-VR tasks were unable to demonstrate any difference in the performance scores between the reference group and the experts. A statistically significant difference was found between these 2 groups only in the time taken to complete tasks 3 ($P=.006$) and 6 ($P=.02$), which were the most complex.

Although some studies support the hypothesis that videogaming experience has a positive impact on minimally invasive surgery performance [106-113]. In this study, a significant difference was found for the reference group only in task 5 (diathermy; $P=.003$); in the other tasks, prior experience did not have any impact on performance. The demographic characterization made it clear that frequent videogaming (daily or weekly) was low in all population groups, which can explain the absence of impact on performance.

The lack of evidence for relations to other variables in this study can also be explained by the simplicity and ease of the proposed tasks.

Validity Hypothesis 2: Internal Structure

The items demonstrated high internal consistency (Cronbach $\alpha=.81$). A test should not be used if it has a Cronbach $\alpha<0.7$, and it should not be used for important decisions on an individual unless the Cronbach $\alpha>0.9$ [57,114-116]. In our case, therefore, the result enables us to support the use of SIMISGEST-VR tasks as a self-assessment test used for formative assessment [54].

Test-retest reliability is the correlation between scores for a test administered more than once among a homogeneous group of test takers at 2 different times (temporal stability); the longer the period of time, the less likely it is that a person will remember the simulator tasks and, therefore, the greater the test-retest threat will be [116-119]. In this study, the second exercise was performed 6 months after the first one, and the results obtained demonstrate significant evidence for the temporal stability of scores in the 6 tasks. When the metric used was time, similar results were obtained in all but tasks 4 ($P=.048$) and 6 ($P=.03$) when comparing the tenth trial.

Validity Hypothesis 3: Evidence for Consequences of Testing

The most important finding of this study is that the reference group learned in all the SIMISGEST-VR tasks. Excess diathermy error, defined as a contact time longer than 2 seconds from the moment of initial contact, fell significantly ($P=.003$) between the first and tenth trials for task 5 in the reference group, which also constitutes evidence for a learning curve. The experts group achieved a learning curve in all the tasks when time was taken as a metric, and for tasks 1 ($P<.001$), 3 ($P=.03$), and 4 ($P=.01$) when the final score of the test was taken into account. We, therefore, consider that the SIMISGEST-VR tasks can be used for the purpose of enabling novices without any prior experience to learn basic psychomotor skills in minimally invasive surgery.

This study has several strengths. The reference group sample included 100 students from 2 faculties of medicine, one public and one private; surgeons from a range of specialties; and surgical residents in general surgery and obstetric-gynecologic surgery. Physical simulators require the presence of a specialized tutor, a scarce, high-cost human resource, whereas VR simulators provide metrics and automatic feedback and allow the physical presence of a tutor to be dispensed with. At times of a pandemic such as COVID-19, this concept of education via VR takes on considerable significance because it avoids the need for learners to travel to simulation laboratories and, therefore, avoids close contact between students and instructors. This study also has limitations. Although the size of the reference group was large, a larger expert group would have been desirable. The sample size in our study was one of availability; as such, there are relatively more participants with minimal surgical experience compared to those with a lot of experience, such as senior surgical residents and surgeons. The low number of senior residents prevented significant results



from being obtained when comparing them to the other groups. Another limitation of the data analysis in this study is that there was no statistical analysis performed before the trial to evaluate the proper sample size or to determine the Likert scale.

Conclusions

This study has provided evidence to support the use of SIMISGEST-VR as a low-cost portable tool for the purpose of enabling novices without any prior experience to learn basic psychomotor skills in minimally invasive surgery. The tasks for learning basic motor skills in minimally invasive surgery demonstrated high internal consistency and high test-retest

reliability among the reference group when assessing the task scores. The expert group also managed to obtain a learning curve in all the tasks when assessing the time metric. In this study, we were able to demonstrate partial evidence for relations to other variables and strong evidence for internal structure and test consequences.

Future work streams include the creation of different levels of difficulty in the tasks. We also intend to develop an app that can be downloaded online, which contains the full training program. Finally, we hope to develop simulation models using the Leap Motion Controller and other gesture-recognition devices such as the Myo armband.

Authors' Contributions

All authors contributed substantially to the study conception and design, data analysis, interpretation of the findings, and manuscript drafting. FÁL participated in the collection and assembly of data. FA participated in the data analysis and statistical modeling. FS-R is the guarantor of the paper. All authors read, revised, and approved the final manuscript.

Conflicts of Interest

None declared.

Multimedia Appendix 1

Form for the demographic questionnaire.

[\[DOCX File , 15 KB-Multimedia Appendix 1\]](#)

References

1. Litynski GS. Profiles in laparoscopy: Mouret, Dubois, and Perissat: the laparoscopic breakthrough in Europe (1987-1988). *JLS* 1999;3(2):163-167 [[FREE Full text](#)] [Medline: [10444020](#)]
2. Yamashita Y, Kurohiji T, Kakegawa T. Evaluation of two training programs for laparoscopic cholecystectomy: incidence of major complications. *World J Surg* 1994;18(2):279-85; discussion 285. [doi: [10.1007/BF00294415](#)] [Medline: [8042335](#)]
3. Archer SB, Brown DW, Smith CD, Branum GD, Hunter JG. Bile duct injury during laparoscopic cholecystectomy: results of a national survey. *Ann Surg* 2001 Oct;234(4):549-58; discussion 558. [doi: [10.1097/0000658-200110000-00014](#)] [Medline: [11573048](#)]
4. Berei G. Complications of laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 1998 Apr;12(4):291-293. [doi: [10.1007/s004649900656](#)] [Medline: [9543515](#)]
5. Rogers DA, Elstein AS, Bordage G. Improving continuing medical education for surgical techniques: applying the lessons learned in the first decade of minimal access surgery. *Ann Surg* 2001 Feb;233(2):159-166. [doi: [10.1097/0000658-200102000-00003](#)] [Medline: [11176120](#)]
6. Hugh TB. New strategies to prevent laparoscopic bile duct injury--surgeons can learn from pilots. *Surgery* 2002 Nov;132(5):826-835. [doi: [10.1067/msy.2002.127681](#)] [Medline: [12464867](#)]
7. MacFadyen BV, Vecchio R, Ricardo AE, Mathis CR. Bile duct injury after laparoscopic cholecystectomy: the United States experience. *Surg Endosc* 1998 Apr 10;12(4):315-321. [doi: [10.1007/s004649900661](#)] [Medline: [9543520](#)]
8. Wolfe BM, Gardiner B, Frey CF. Laparoscopic cholecystectomy: a remarkable development. *JAMA* 2015 Oct 06;314(13):1406. [doi: [10.1001/jama.2014.12014](#)] [Medline: [26441196](#)]
9. Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, et al. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg* 2002 Oct;236(4):458-63; discussion 463. [doi: [10.1097/0000658-200210000-00008](#)] [Medline: [12368674](#)]
10. Gallagher AG, Richie K, McClure N, McGuigan J. Objective psychomotor skills assessment of experienced, junior, and novice laparoscopists with virtual reality. *World J Surg* 2001 Nov;25(11):1478-1483. [doi: [10.1007/s00268-001-0133-1](#)] [Medline: [11760752](#)]
11. Gallagher AG, Smith CD, Bowers SP, Seymour NE, Pearson A, McNatt S, et al. Psychomotor skills assessment in practicing surgeons experienced in performing advanced laparoscopic procedures. *J Am Coll Surg* 2003 Sep;197(3):479-488. [doi: [10.1016/S1072-7515\(03\)00535-0](#)] [Medline: [12946803](#)]
12. Korndorffer JR, Dunne JB, Sierra R, Stefanidis D, Touchard CL, Scott DJ. Simulator training for laparoscopic suturing using performance goals translates to the operating room. *J Am Coll Surg* 2005 Jul;201(1):23-29. [doi: [10.1016/j.jamcollsurg.2005.02.021](#)] [Medline: [15978440](#)]



13. Aggarwal R, Ward J, Balasundaram I, Sains P, Athanasiou T, Darzi A. Proving the effectiveness of virtual reality simulation for training in laparoscopic surgery. *Ann Surg* 2007 Nov;246(5):771-779. [doi: [10.1097/SLA.0b013e3180f61b09](https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3180f61b09)] [Medline: [17968168](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17968168/)]
14. Sturm LP, Windsor JA, Cosman PH, Cregan P, Hewett PJ, Maddern GJ. A systematic review of skills transfer after surgical simulation training. *Ann Surg* 2008 Aug;248(2):166-179. [doi: [10.1097/SLA.0b013e318176bf24](https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318176bf24)] [Medline: [18650625](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18650625/)]
15. Seymour NE. VR to OR: a review of the evidence that virtual reality simulation improves operating room performance. *World J Surg* 2008 Feb 3;32(2):182-188. [doi: [10.1007/s00268-007-9307-9](https://doi.org/10.1007/s00268-007-9307-9)] [Medline: [18060453](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18060453/)]
16. Zendejas B, Brydges R, Hamstra SJ, Cook DA. State of the evidence on simulation-based training for laparoscopic surgery: a systematic review. *Ann Surg* 2013 Apr;257(4):586-593. [doi: [10.1097/SLA.0b013e318288c40b](https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318288c40b)] [Medline: [23407298](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23407298/)]
17. Dawe SR, Pena GN, Windsor JA, Broeders JAJL, Cregan PC, Hewett PJ, et al. Systematic review of skills transfer after surgical simulation-based training. *Br J Surg* 2014 Aug;101(9):1063-1076. [doi: [10.1002/bjs.9482](https://doi.org/10.1002/bjs.9482)] [Medline: [24827930](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24827930/)]
18. Hyltander A, Liljegren E, Rhodin P, Lönröth H. The transfer of basic skills learned in a laparoscopic simulator to the operating room. *Surg Endosc* 2002 Sep;16(9):1324-1328. [doi: [10.1007/s00464-001-9184-5](https://doi.org/10.1007/s00464-001-9184-5)] [Medline: [11988802](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11988802/)]
19. Youngblood PL, Srivastava S, Curet M, Heinrichs WL, Dev P, Wren SM. Comparison of training on two laparoscopic simulators and assessment of skills transfer to surgical performance. *J Am Coll Surg* 2005 Apr;200(4):546-551. [doi: [10.1016/j.jamcollsurg.2004.11.011](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2004.11.011)] [Medline: [15804468](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15804468/)]
20. Sutton C, McCloy R, Middlebrook A, Chater P, Wilson M, Stone R. MIST VR. A laparoscopic surgery procedures trainer and evaluator. *Stud Health Technol Inform* 1997;39:598-607. [Medline: [10173070](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10173070/)]
21. Ahlberg G, Heikkinen T, Iselius L, Leijonmarck C, Rutqvist J, Arvidsson D. Does training in a virtual reality simulator improve surgical performance? *Surg Endosc* 2002 Jan 12;16(1):126-129. [doi: [10.1007/s00464-001-9025-6](https://doi.org/10.1007/s00464-001-9025-6)] [Medline: [11961622](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11961622/)]
22. Debes AJ, Aggarwal R, Balasundaram I, Jacobsen MB. A tale of two trainers: virtual reality versus a video trainer for acquisition of basic laparoscopic skills. *Am J Surg* 2010 Jun;199(6):840-845. [doi: [10.1016/j.amjsurg.2009.05.016](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2009.05.016)] [Medline: [20079480](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20079480/)]
23. Kothari SN, Kaplan BJ, DeMaria EJ, Broderick TJ, Merrell RC. Training in laparoscopic suturing skills using a new computer-based virtual reality simulator (MIST-VR) provides results comparable to those with an established pelvic trainer system. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2002 Jun;12(3):167-173. [doi: [10.1089/10926420260188056](https://doi.org/10.1089/10926420260188056)] [Medline: [12184901](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12184901/)]
24. Torkington J, Smith S, Rees B, Darzi A. Skill transfer from virtual reality to a real laparoscopic task. *Surg Endosc* 2001 Oct 15;15(10):1076-1079. [doi: [10.1007/s004640000233](https://doi.org/10.1007/s004640000233)] [Medline: [11727073](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11727073/)]
25. Torkington J, Smith S, Rees B, Darzi A. The role of the basic surgical skills course in the acquisition and retention of laparoscopic skill. *Surg Endosc* 2001 Oct 15;15(10):1071-1075. [doi: [10.1007/s004640000183](https://doi.org/10.1007/s004640000183)] [Medline: [11727072](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11727072/)]
26. Alvarez-Lopez F, Maina MF, Saigi-Rubió F. Use of commercial off-the-shelf devices for the detection of manual gestures in surgery: systematic literature review. *J Med Internet Res* 2019 Apr 14;21(5):e11925 [FREE Full text] [doi: [10.2196/11925](https://doi.org/10.2196/11925)] [Medline: [31066679](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31066679/)]
27. Ogura T, Sato M, Ishida Y, Hayashi N, Doi K. Development of a novel method for manipulation of angiographic images by use of a motion sensor in operating rooms. *Radiol Phys Technol* 2014 Jul;7(2):228-234. [doi: [10.1007/s12194-014-0259-0](https://doi.org/10.1007/s12194-014-0259-0)] [Medline: [24609904](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24609904/)]
28. Mauser S, Burgert O. Touch-free, gesture-based control of medical devices and software based on the leap motion controller. *Stud Health Technol Inform* 2014;196:265-270. [Medline: [24732520](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24732520/)]
29. Bachmann D, Weichert F, Rinkenauer G. Evaluation of the leap motion controller as a new contact-free pointing device. *Sensors (Basel)* 2014 Dec 24;15(1):214-233 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s150100214](https://doi.org/10.3390/s150100214)] [Medline: [25609043](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25609043/)]
30. Weichert F, Bachmann D, Rudak B, Fisseler D. Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors (Basel)* 2013 May 14;13(5):6380-6393 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s130506380](https://doi.org/10.3390/s130506380)] [Medline: [23673678](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23673678/)]
31. Guna J, Jakus G, Pogačnik M, Tomažič S, Sodnik J. An analysis of the precision and reliability of the leap motion sensor and its suitability for static and dynamic tracking. *Sensors (Basel)* 2014 Feb;14(2):3702-3720 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s140203702](https://doi.org/10.3390/s140203702)] [Medline: [24566635](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24566635/)]
32. Alvarez-Lopez F, Maina MF, Saigi-Rubió F. Natural User Interfaces: Is It a Solution to Accomplish Ubiquitous Training in Minimally Invasive Surgery? *Surg Innov* 2016 Aug 09;23(4):429-430. [doi: [10.1177/1553350616639145](https://doi.org/10.1177/1553350616639145)] [Medline: [27009688](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27009688/)]
33. Oropesa I, de Jong T, Sánchez-González P, Dankelman J, Gómez E. Feasibility of tracking laparoscopic instruments in a box trainer using a Leap Motion Controller. *Measurement* 2016 Feb;80:115-124. [doi: [10.1016/j.measurement.2015.11.018](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.11.018)]
34. Beck P. Accurate three-dimensional instrument positioning. Free Patents Online. 2016. URL: <http://www.freepatentsonline.com/20160354152.pdf> [accessed 2020-10-15]
35. Lahanas V, Loukas C, Georgiou K, Lababidi H, Al-Jaroudi D. Virtual reality-based assessment of basic laparoscopic skills using the Leap Motion controller. *Surg Endosc* 2017 Dec 2;31(12):5012-5023. [doi: [10.1007/s00464-017-5503-3](https://doi.org/10.1007/s00464-017-5503-3)] [Medline: [28466361](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28466361/)]
36. Travaglini T, Swaney P, Weaver K, Webster R. Initial experiments with the leap motion as a user interface in robotic endonasal surgery. *Robot Mechatron (2015)* 2016;37:171-179 [FREE Full text] [doi: [10.1007/978-3-319-22368-1_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22368-1_17)] [Medline: [26752501](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26752501/)]



37. Juanes JA, Gómez JJ, Peguero PD, Ruisoto P. Digital environment for movement control in surgical skill training. *J Med Syst* 2016 Jun 18;40(6):133. [doi: [10.1007/s10916-016-0495-4](https://doi.org/10.1007/s10916-016-0495-4)] [Medline: [27091754](#)]
38. Partridge RW, Brown FS, Brennan PM, Hennessey IAM, Hughes MA. The LEAPTM gesture interface device and take-home laparoscopic simulators: a study of construct and concurrent validity. *Surg Innov* 2016 Feb 14;23(1):70-77. [doi: [10.1177/1553350615594734](https://doi.org/10.1177/1553350615594734)] [Medline: [26178693](#)]
39. Wright T, de Ribaupierre S, Eagleson R. Design and evaluation of an augmented reality simulator using leap motion. *Healthc Technol Lett* 2017 Oct;4(5):210-215 [FREE Full text] [doi: [10.1049/hlt.2017.0070](https://doi.org/10.1049/hlt.2017.0070)] [Medline: [29184667](#)]
40. Botden SM, Jakimowicz JJ. What is going on in augmented reality simulation in laparoscopic surgery? *Surg Endosc* 2009 Aug;23(8):1693-1700 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s00464-008-0144-1](https://doi.org/10.1007/s00464-008-0144-1)] [Medline: [18813987](#)]
41. Papanikolaou IG. Assessment of medical simulators as a training programme for current surgical education. *Hellenic J Surg* 2013 Aug 9;85(4):240-248. [doi: [10.1007/s13126-013-0047-z](https://doi.org/10.1007/s13126-013-0047-z)]
42. Hennessey IA, Hewett P. Construct, concurrent, and content validity of the eoSim laparoscopic simulator. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2013 Oct;23(10):855-860. [doi: [10.1089/lap.2013.0229](https://doi.org/10.1089/lap.2013.0229)] [Medline: [23968255](#)]
43. Hruby GW, Sprenkle PC, Abdelshehid C, Clayman RV, McDougall EM, Landman J. The EZ Trainer: validation of a portable and inexpensive simulator for training basic laparoscopic skills. *J Urol* 2008 Feb;179(2):662-666. [doi: [10.1016/j.juro.2007.09.030](https://doi.org/10.1016/j.juro.2007.09.030)] [Medline: [18082210](#)]
44. Uccelli J, Kahol K, Ashby A, Smith M, Ferrara J. The validity of take-home surgical simulators to enhance resident technical skill proficiency. *Am J Surg* 2011 Mar;201(3):315-9; discussion 319. [doi: [10.1016/j.amjsurg.2010.08.028](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2010.08.028)] [Medline: [21367370](#)]
45. Estándares Para Pruebas Educativas y Psicológicas. JSTOR.: American Educational Research Association; 2018. URL: www.jstor.org/stable/j.ctvr43hg2 [accessed 2020-10-17]
46. American Educational Research Association, American Psychological Association, National Council on Measurement in Education. Standards for Educational and Psychological Testing. Washington, DC: American Educational Research Association; 2014.
47. Downing SM. Validity: on meaningful interpretation of assessment data. *Med Educ* 2003 Sep;37(9):830-837. [doi: [10.1046/j.1365-2923.2003.01594.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2003.01594.x)] [Medline: [14506816](#)]
48. Cook DA, Beckman TJ. Current concepts in validity and reliability for psychometric instruments: theory and application. *Am J Med* 2006 Feb;119(2):166.e7-166.16. [doi: [10.1016/j.amjmed.2005.10.036](https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2005.10.036)] [Medline: [16443422](#)]
49. Cook DA, Zendejas B, Hamstra SJ, Hatala R, Brydges R. What counts as validity evidence? Examples and prevalence in a systematic review of simulation-based assessment. *Adv Health Sci Educ Theory Pract* 2014 May;19(2):233-250. [doi: [10.1007/s10459-013-9458-4](https://doi.org/10.1007/s10459-013-9458-4)] [Medline: [23636643](#)]
50. Messick S. Validity of psychological assessment: Validation of inferences from persons' responses and performances as scientific inquiry into score meaning. *American Psychologist* 1995 Sep;50(9):741-749. [doi: [10.1037/0003-066x.50.9.741](https://doi.org/10.1037/0003-066x.50.9.741)]
51. Messick S. Meaning and values in test validation: the science and ethics of assessment. *Educational Researcher* 2016 Jul;18(2):5-11. [doi: [10.3102/0013189x018002005](https://doi.org/10.3102/0013189x018002005)]
52. Cook DA, Hatala R. Validation of educational assessments: a primer for simulation and beyond. *Adv Simul (Lond)* 2016;1:31 [FREE Full text] [doi: [10.1186/s41077-016-0033-y](https://doi.org/10.1186/s41077-016-0033-y)] [Medline: [29450000](#)]
53. Alvarez-Lopez F, Maina MF, Saigi-Rubio F. 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. *J Med Internet Res* 2020 Jul 14;22(7):e17491 [FREE Full text] [doi: [10.2196/17491](https://doi.org/10.2196/17491)] [Medline: [32673217](#)]
54. Ghaderi I, Manji F, Park YS, Juul D, Ott M, Harris I, et al. Technical skills assessment toolbox: a review using the unitary framework of validity. *Ann Surg* 2015 Feb;261(2):251-262. [doi: [10.1097/SLA.0000000000000520](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000520)] [Medline: [24424150](#)]
55. Beckman TJ, Cook DA, Mandrekar JN. What is the validity evidence for assessments of clinical teaching? *J Gen Intern Med* 2005 Dec;20(12):1159-1164. [doi: [10.1111/j.1525-1497.2005.0258.x](https://doi.org/10.1111/j.1525-1497.2005.0258.x)] [Medline: [16423109](#)]
56. Sweet R, Hananel D, Lawrenz F. A unified approach to validation, reliability, and education study design for surgical technical skills training. *Arch Surg* 2010 Feb;145(2):197-201. [doi: [10.1001/archsurg.2009.266](https://doi.org/10.1001/archsurg.2009.266)] [Medline: [20157089](#)]
57. Gallagher AG, Ritter EM, Satava RM. Fundamental principles of validation, and reliability: rigorous science for the assessment of surgical education and training. *Surg Endosc* 2003 Oct 1;17(10):1525-1529. [doi: [10.1007/s00464-003-0035-4](https://doi.org/10.1007/s00464-003-0035-4)] [Medline: [14502403](#)]
58. Worster A, Haines T. Advanced statistics: understanding medical record review (MRR) studies. *Acad Emerg Med* 2004 Feb;11(2):187-192. [Medline: [14759964](#)]
59. Warner B. The sciences of the artificial. *Journal of the Operational Research Society* 2017 Dec 19;20(4):509-510 [FREE Full text] [doi: [10.1057/jors.1969.121](https://doi.org/10.1057/jors.1969.121)]
60. Manson N. Is operations research really research? *ORiON* 2006 Dec 01;22(2). [doi: [10.5784/22-2-40](https://doi.org/10.5784/22-2-40)]
61. Dresch A, Pacheco-Lacerda D, Valle-Antunes J. Design science research. In: *A Method for Science and Technology Advancement*. Switzerland: Springer International Publishing; 2015.
62. Lacerda DP, Dresch A, Proença A, Antunes Júnior JAV. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gest. Prod* 2013 Nov 26;20(4):741-761. [doi: [10.1590/s0104-530x2013005000014](https://doi.org/10.1590/s0104-530x2013005000014)]
63. Hevner A, Chatterjee S. Design research in information systems. In: *Theory and Practice*. Boston, MA: Springer US; 2010.



64. Wilson M, Middlebrook A, Sutton C, Stone R, McCloy R. MIST VR: a virtual reality trainer for laparoscopic surgery assesses performance. *Ann R Coll Surg Engl* 1997 Nov;79(6):403-404 [FREE Full text] [Medline: 9422863]
65. Ali M, Mowery Y, Kaplan B, DeMaria E. Training the novice in laparoscopy. More challenge is better. *Surg Endosc* 2002 Dec 1;16(12):1732-1736. [doi: 10.1007/s00464-002-8850-6] [Medline: 12140638]
66. Grantcharov TP, Rosenberg J, Pahle E, Funch-Jensen P. Virtual reality computer simulation. *Surg Endosc* 2001 Mar;15(3):242-244. [doi: 10.1007/s004640090008] [Medline: 11344222]
67. Hamilton E, Scott D, Fleming J, Rege R, Laycock R, Bergen P, et al. Comparison of video trainer and virtual reality training systems on acquisition of laparoscopic skills. *Surg Endosc* 2002 Mar;16(3):406-411. [doi: 10.1007/s00464-001-8149-z] [Medline: 11928017]
68. Grantcharov TP, Kristiansen VB, Bendix J, Bardram L, Rosenberg J, Funch-Jensen P. Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training. *Br J Surg* 2004 Feb 29;91(2):146-150. [doi: 10.1002/bjs.4407] [Medline: 14760660]
69. Gonzalez R, Bowers SP, Smith CD, Ramshaw BJ. Does setting specific goals and providing feedback during training result in better acquisition of laparoscopic skills? *Am Surg* 2004 Jan;70(1):35-39. [Medline: 14964544]
70. McClusky DA, Gallagher AG, Ritter E, Lederman AB, Van Sickle KR, Baghai M, et al. Virtual reality training improves junior residents' operating room performance: Results of a prospective, randomized, double-blinded study of the complete laparoscopic cholecystectomy. *Journal of the American College of Surgeons* 2004 Sep;199(3):73. [doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2004.05.157]
71. Grantcharov TP, Funch-Jensen P. Can everyone achieve proficiency with the laparoscopic technique? Learning curve patterns in technical skills acquisition. *Am J Surg* 2009 Apr;197(4):447-449. [doi: 10.1016/j.amjsurg.2008.01.024] [Medline: 19217604]
72. Gallagher AG, Seymour NE, Jordan-Black J, Bunting BP, McGlade K, Satava RM. Prospective, Randomized Assessment of Transfer of Training (ToT) and Transfer Effectiveness Ratio (TER) of Virtual Reality Simulation Training for Laparoscopic Skill Acquisition. *Annals of Surgery* 2013;257(6):1025-1031. [doi: 10.1097/sla.0b013e318284f658]
73. Badash I, Burt K, Solorzano CA, Carey JN. Innovations in surgery simulation: a review of past, current and future techniques. *Ann Transl Med* 2016 Dec;4(23):453-453 [FREE Full text] [doi: 10.21037/atm.2016.12.24] [Medline: 28090509]
74. Taffinder N, Sutton C, Fishwick RJ, McManus IC, Darzi A. Validation of virtual reality to teach and assess psychomotor skills in laparoscopic surgery: results from randomised controlled studies using the MIST VR laparoscopic simulator. *Stud Health Technol Inform* 1998;50:124-130. [Medline: 10180527]
75. Chaudhry A, Sutton C, Wood J, Stone R, McCloy R. Learning rate for laparoscopic surgical skills on MIST VR, a virtual reality simulator: quality of human-computer interface. *Ann R Coll Surg Engl* 1999 Jul;81(4):281-286 [FREE Full text] [Medline: 10615201]
76. Stylopoulos N, Vosburgh KG. Assessing technical skill in surgery and endoscopy: a set of metrics and an algorithm (C-PASS) to assess skills in surgical and endoscopic procedures. *Surg Innov* 2007 Jun;14(2):113-121. [doi: 10.1177/1553350607302330] [Medline: 17558017]
77. Hatala R, Cook DA, Zendejas B, Hamstra SJ, Brydges R. Feedback for simulation-based procedural skills training: a meta-analysis and critical narrative synthesis. *Adv Health Sci Educ Theory Pract* 2014 May;19(2):251-272. [doi: 10.1007/s10459-013-9462-8] [Medline: 23712700]
78. Gallagher A, Satava R. Virtual reality as a metric for the assessment of laparoscopic psychomotor skills. Learning curves and reliability measures. *Surg Endosc* 2002 Dec 1;16(12):1746-1752. [doi: 10.1007/s00464-001-8215-6] [Medline: 12140641]
79. Archer J. State of the science in health professional education: effective feedback. *Med Educ* 2010 Jan;44(1):101-108. [doi: 10.1111/j.1365-2923.2009.03546.x] [Medline: 20078761]
80. Walsh CM, Ling SC, Wang CS, Carnahan H. Concurrent versus terminal feedback: it may be better to wait. *Academic Medicine* 2009;84(Supplement):S54-S57. [doi: 10.1097/acm.0b013e3181b38daf] [Medline: 19907387]
81. Grantcharov TP, Schulze S, Kristiansen VB. The impact of objective assessment and constructive feedback on improvement of laparoscopic performance in the operating room. *Surg Endosc* 2007 Dec 13;21(12):2240-2243. [doi: 10.1007/s00464-007-9356-z] [Medline: 17440781]
82. Stefanidis D, Korndorffer JR, Heniford BT, Scott DJ. Limited feedback and video tutorials optimize learning and resource utilization during laparoscopic simulator training. *Surgery* 2007 Aug;142(2):202-206. [doi: 10.1016/j.surg.2007.03.009] [Medline: 17689686]
83. Cook DA, Brydges R, Zendejas B, Hamstra SJ, Hatala R. Technology-enhanced simulation to assess health professionals: a systematic review of validity evidence, research methods, and reporting quality. *Acad Med* 2013 Jun;88(6):872-883. [doi: 10.1097/ACM.0b013e31828ffdef] [Medline: 23619073]
84. Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, et al. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA* 2011 Sep 07;306(9):978-988. [doi: 10.1001/jama.2011.1234] [Medline: 21900138]
85. Haque S, Srinivasan S. A meta-analysis of the training effectiveness of virtual reality surgical simulators. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2006 Jan;10(1):51-58. [doi: 10.1109/titb.2005.855529] [Medline: 16445249]



86. Brydges R, Hatala R, Zendejas B, Erwin PJ, Cook DA. Linking simulation-based educational assessments and patient-related outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Acad Med* 2015 Feb;90(2):246-256. [doi: [10.1097/ACM.0000000000000549](https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000549)] [Medline: [25374041](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25374041/)]
87. Nagendran M, Gurusamy KS, Aggarwal R, Loizidou M, Davidson BR. Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. *Cochrane Database Syst Rev* 2013 Aug 27(8):CD006575 [FREE Full text] [doi: [10.1002/14651858.CD006575.pub3](https://doi.org/10.1002/14651858.CD006575.pub3)] [Medline: [23980026](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23980026/)]
88. Thomas MP. The role of simulation in the development of technical competence during surgical training: a literature review. *Int J Med Educ* 2013 Mar 16;4:48-58. [doi: [10.5116/ijme.513b.2df7](https://doi.org/10.5116/ijme.513b.2df7)]
89. Dawe SR, Windsor JA, Broeders JA, Cregan PC, Hewett PJ, Maddern GJ. A systematic review of surgical skills transfer after simulation-based training: laparoscopic cholecystectomy and endoscopy. *Ann Surg* 2014 Feb;259(2):236-248. [doi: [10.1097/SLA.0000000000000245](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000245)] [Medline: [24100339](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24100339/)]
90. Gurusamy K, Aggarwal R, Palanivelu L, Davidson BR. Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery. *Br J Surg* 2008 Sep;95(9):1088-1097. [doi: [10.1002/bjs.6344](https://doi.org/10.1002/bjs.6344)] [Medline: [18690637](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18690637/)]
91. Andreatta P, Gruppen L. Conceptualising and classifying validity evidence for simulation. *Med Educ* 2009 Nov;43(11):1028-1035. [doi: [10.1111/j.1365-2923.2009.03454.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03454.x)] [Medline: [19874494](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19874494/)]
92. Fried GM, Feldman LS, Vassiliou MC, Fraser SA, Stanbridge D, Ghitulescu G, et al. Proving the value of simulation in laparoscopic surgery. *Ann Surg* 2004 Sep;240(3):518-25; discussion 525. [doi: [10.1097/01.sla.0000136941.46529.56](https://doi.org/10.1097/01.sla.0000136941.46529.56)] [Medline: [15319723](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15319723/)]
93. Li MM, George J. A systematic review of low-cost laparoscopic simulators. *Surg Endosc* 2017 Jan;31(1):38-48 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s00464-016-4953-3](https://doi.org/10.1007/s00464-016-4953-3)] [Medline: [27194266](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27194266/)]
94. Nguyen T, Braga LH, Hoogenes J, Matsumoto ED. Commercial video laparoscopic trainers versus less expensive, simple laparoscopic trainers: a systematic review and meta-analysis. *J Urol* 2013 Sep;190(3):894-899. [doi: [10.1016/j.juro.2013.03.115](https://doi.org/10.1016/j.juro.2013.03.115)] [Medline: [23567747](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23567747/)]
95. Nagendran M, Toon C, Davidson B, Gurusamy K. Laparoscopic surgical box model training for surgical trainees with no prior laparoscopic experience. *Cochrane Database Syst Rev* 2014 Jan 17(1):CD010479. [doi: [10.1002/14651858.CD010479.pub2](https://doi.org/10.1002/14651858.CD010479.pub2)] [Medline: [24442763](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24442763/)]
96. Diesen DL, Erhunmwunsee L, Bennett KM, Ben-David K, Yurcisin B, Ceppa EP, et al. Effectiveness of laparoscopic computer simulator versus usage of box trainer for endoscopic surgery training of novices. *J Surg Educ* 2011 Jul;68(4):282-289. [doi: [10.1016/j.jsurg.2011.02.007](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2011.02.007)] [Medline: [21708364](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21708364/)]
97. Blacker AJ. How to build your own laparoscopic trainer. *J Endourol* 2005 Jul;19(6):748-752. [doi: [10.1089/end.2005.19.748](https://doi.org/10.1089/end.2005.19.748)] [Medline: [16053370](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16053370/)]
98. Smith MD, Norris JM, Kishikova L, Smith DP. Laparoscopic simulation for all: two affordable, upgradable, and easy-to-build laparoscopic trainers. *J Surg Educ* 2013 Mar;70(2):217-223. [doi: [10.1016/j.jsurg.2012.11.005](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2012.11.005)] [Medline: [23427967](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23427967/)]
99. Nakamura LY, Martin GL, Fox JC, Andrews PE, Humphreys M, Castle EP. Comparing the portable laparoscopic trainer with a standardized trainer in surgically naïve subjects. *J Endourol* 2012 Jan;26(1):67-72. [doi: [10.1089/end.2011.0335](https://doi.org/10.1089/end.2011.0335)] [Medline: [21999424](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21999424/)]
100. Ricchiuti D, Ralat DA, Evancho-Chapman M, Wyneski H, Cerone J, Wegryn JD. A simple cost-effective design for construction of a laparoscopic trainer. *J Endourol* 2005 Oct;19(8):1000-2; discussion 1002. [doi: [10.1089/end.2005.19.1000](https://doi.org/10.1089/end.2005.19.1000)] [Medline: [16253069](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16253069/)]
101. Mughal M. A cheap laparoscopic surgery trainer. *Ann R Coll Surg Engl* 1992 Jul;74(4):256-257 [FREE Full text] [Medline: [1416677](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1416677/)]
102. Ruparel RK, Brahmabhatt RD, Dove JC, Hutchinson RC, Stauffer JA, Bowers SP, et al. "iTrainers"--novel and inexpensive alternatives to traditional laparoscopic box trainers. *Urology* 2014 Jan;83(1):116-120. [doi: [10.1016/j.urology.2013.09.030](https://doi.org/10.1016/j.urology.2013.09.030)] [Medline: [24246314](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24246314/)]
103. Cook DA. Much ado about differences: why expert-novice comparisons add little to the validity argument. *Adv Health Sci Educ Theory Pract* 2015 Aug;20(3):829-834. [doi: [10.1007/s10459-014-9551-3](https://doi.org/10.1007/s10459-014-9551-3)] [Medline: [25260974](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25260974/)]
104. Zendejas B, Ruparel RK, Cook DA. Validity evidence for the Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS) program as an assessment tool: a systematic review. *Surg Endosc* 2016 Feb;30(2):512-520. [doi: [10.1007/s00464-015-4233-7](https://doi.org/10.1007/s00464-015-4233-7)] [Medline: [26091982](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26091982/)]
105. Borgersen NJ, Naur TMH, Sørensen SMD, Bjerrum F, Konge L, Subhi Y, et al. Gathering validity evidence for surgical simulation: a systematic review. *Ann Surg* 2018 Jun;267(6):1063-1068. [doi: [10.1097/SLA.0000000000002652](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002652)] [Medline: [29303808](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29303808/)]
106. Rosser JC, Lynch PJ, Cuddihy L, Gentile DA, Klonsky J, Merrell R. The impact of video games on training surgeons in the 21st century. *Arch Surg* 2007 Feb 01;142(2):181-6; discussion 186. [doi: [10.1001/archsurg.142.2.181](https://doi.org/10.1001/archsurg.142.2.181)] [Medline: [17309970](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17309970/)]
107. van Dongen KW, Verleisdonk EMM, Schijven MP, Broeders IAMJ. Will the Playstation generation become better endoscopic surgeons? *Surg Endosc* 2011 Jul 17;25(7):2275-2280 [FREE Full text] [doi: [10.1007/s00464-010-1548-2](https://doi.org/10.1007/s00464-010-1548-2)] [Medline: [21416186](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21416186/)]



108. Grantcharov TP, Bardram L, Funch-Jensen P, Rosenberg J. Impact of hand dominance, gender, and experience with computer games on performance in virtual reality laparoscopy. *Surg Endosc* 2003 Jul 1;17(7):1082-1085. [doi: [10.1007/s00464-002-9176-0](https://doi.org/10.1007/s00464-002-9176-0)] [Medline: [12728373](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12728373/)]
109. Boyle E, Kennedy A, Traynor O, Hill ADK. Training surgical skills using nonsurgical tasks--can Nintendo Wii™ improve surgical performance? *J Surg Educ* 2011;68(2):148-154. [doi: [10.1016/j.jsurg.2010.11.005](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2010.11.005)] [Medline: [21338974](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21338974/)]
110. Harper JD, Kaiser S, Ebrahimi K, Lamberton GR, Hadley HR, Ruckle HC, et al. Prior video game exposure does not enhance robotic surgical performance. *J Endourol* 2007 Oct;21(10):1207-1210. [doi: [10.1089/end.2007.9905](https://doi.org/10.1089/end.2007.9905)] [Medline: [17949327](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17949327/)]
111. Glaser AY, Hall CB, Uribe JI, Fried MP. The effects of previously acquired skills on sinus surgery simulator performance. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2005 Oct;133(4):525-530. [doi: [10.1016/j.otohns.2005.06.022](https://doi.org/10.1016/j.otohns.2005.06.022)] [Medline: [16213923](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16213923/)]
112. Madan AK, Frantzides CT, Park WC, Tebbit CL, Kumari NVA, O'Leary PJ. Predicting baseline laparoscopic surgery skills. *Surg Endosc* 2005 Jan;19(1):101-104. [doi: [10.1007/s00464-004-8123-7](https://doi.org/10.1007/s00464-004-8123-7)] [Medline: [15531975](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15531975/)]
113. Kennedy A, Boyle E, Traynor O, Walsh T, Hill A. Video gaming enhances psychomotor skills but not visuospatial and perceptual abilities in surgical trainees. *J Surg Educ* 2011 Sep;68(5):414-420. [doi: [10.1016/j.jsurg.2011.03.009](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2011.03.009)] [Medline: [21821223](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21821223/)]
114. Wanzel KR, Ward M, Reznick RK. Teaching the surgical craft: from selection to certification. *Curr Probl Surg* 2002 Jun;39(6):573-659. [doi: [10.1067/mog.2002.123481](https://doi.org/10.1067/mog.2002.123481)] [Medline: [12037512](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12037512/)]
115. Cronbach LJ, Meehl PE. Construct validity in psychological tests. *Psychological Bulletin* 1955;52(4):281-302. [doi: [10.1037/h0040957](https://doi.org/10.1037/h0040957)]
116. Feldman LS, Sherman V, Fried GM. Using simulators to assess laparoscopic competence: ready for widespread use? *Surgery* 2004 Jan;135(1):28-42. [doi: [10.1016/s0039-6060\(03\)00155-7](https://doi.org/10.1016/s0039-6060(03)00155-7)] [Medline: [14694298](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14694298/)]
117. Straub D, Gefen D. Validation Guidelines for IS Positivist Research. *CAIS* 2004;13(1):427. [doi: [10.17705/1CAIS.01324](https://doi.org/10.17705/1CAIS.01324)]
118. McDougall EM. Validation of surgical simulators. *J Endourol* 2007 Mar;21(3):244-247. [doi: [10.1089/end.2007.9985](https://doi.org/10.1089/end.2007.9985)] [Medline: [17444766](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17444766/)]
119. Kowalewski K, Hendrie JD, Schmidt MW, Garrow CR, Bruckner T, Proctor T, et al. Development and validation of a sensor- and expert model-based training system for laparoscopic surgery: the iSurgeon. *Surg Endosc* 2017 May;31(5):2155-2165. [doi: [10.1007/s00464-016-5213-2](https://doi.org/10.1007/s00464-016-5213-2)] [Medline: [27604368](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27604368/)]

Abbreviations

MIST-VR: Minimally Invasive Surgery Training - Virtual Reality

SIMISGEST-VR: Simulator of Minimally Invasive Surgery mediated by Gestures - Virtual Reality

VR: virtual reality

Edited by G Eysenbach; submitted 29.04.20; peer-reviewed by S Jung, M Adly, WK Ming; comments to author 19.07.20; revised version received 06.09.20; accepted 02.10.20; published 27.10.20

Please cite as:

Alvarez-Lopez F, Maina MF, Arango F, Saigi-Rubió F

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 2020;8(4):e19723

URL: <http://games.jmir.org/2020/4/e19723/>

doi: [10.2196/19723](https://doi.org/10.2196/19723)

PMID:

©Fernando Alvarez-Lopez, Marcelo Fabián Maina, Fernando Arango, Francesc Saigi-Rubió. Originally published in JMIR Serious Games (<http://games.jmir.org>), 27.10.2020. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work, first published in JMIR Serious Games, is properly cited. The complete bibliographic information, a link to the original publication on <http://games.jmir.org>, as well as this copyright and license information must be included.

Capítulo 4

Metodología de investigación

Al abordar inicialmente el DBR, se enfrentan dos retos. En primer lugar, compaginar la visión del DBR desde el punto de vista de la educación y la visión del DBR desde otras áreas del conocimiento (sistemas de información, ciencias de la computación, ingeniería, manejo y desarrollo de organizaciones, entre otras). El segundo reto tuvo que ver con las múltiples denominaciones y la “*conceptual confusion*” como lo denomina van den Akker (1999). Por este motivo, antes de adoptar una postura sobre el modelo en la presente tesis, leí los principales autores con el propósito de argumentar la adopción del término “*Design-Based Research*” y encontrar los conceptos comunes para lograr una definición.

4.1 “*Design-Based Research*” - Acerca de la terminología y su definición

Cuando se adopta el término *Design Based Research* (DBR) para su uso en esta tesis, es preciso preguntarse si el término es apropiado, dada la gran diversidad de términos usados por diferentes autores. Además, este término es utilizado en el campo de la educación y también en la ingeniería, los sistemas de información, el diseño y el manejo organizacional.

Aunque este apartado no es una revisión sistemática de la literatura que pretenda resolver esta duda, se han consultado los autores más significativos en las diferentes áreas de conocimiento donde se utiliza el DBR.

La Tabla 22 en el anexo 5 resume los autores consultados en educación y las denominaciones utilizadas. Allí se citan 51 autores y se encontraron nueve denominaciones.

La Tabla 23 del anexo 6 resume, además, los autores consultados en áreas como ingeniería, diseño, sistemas y tecnologías de la información, arquitectura, artes y manejo organizacional y sus denominaciones. Se consultaron 32 autores quienes utilizaron diez denominaciones diferentes.

4.1.1 El origen

En los años 60 y 70, dos ingenieros, Bruce Archer (Archer, 1965) y John Chris Jones (Jones, 1970), propusieron que el diseño debería utilizar métodos de investigación utilizados por otras disciplinas. Pero fue Herbert Alexander Simon, premio Nobel de Economía 1978, quien en su libro *"The Sciences of the Artificial"* (Simon, 1969) identificó varias profesiones como la arquitectura, la ingeniería, las ciencias de la computación, la medicina y la educación en ingeniería en las cuales era posible aplicar las ciencias de lo artificial. Las ciencias de lo artificial tienen que ver con los fenómenos artificiales (Manson, 2006). Sin embargo, no describe las bases teóricas de la ciencia del diseño en la educación (Collins et al., 2004). Fue Collins (1992) quien aplicó la idea de Simon a la educación. Así como la ingeniería es una ciencia intermedia entre la física y el trabajo práctico, la medicina entre las ciencias naturales y el médico, el *"educational design research"* entre la psicología y la educación (Bakker, 2019).

El libro *"The Sciences of the Artificial"* es citado en educación por (Flagg, 1990; Newman, 1990; Edelson, 2002; Dede, 2004; Bell, 2004; Collins et al., 2004; Cole et al., 2005; Sloane, 2006; Bakker, 2019).

En las áreas de diseño, ingeniería, educación en ingeniería, sistemas de la información, tecnologías de la información, manejo y desarrollo organizacional, arquitectura y artes, los siguientes autores citan a Simon: (Walls et al., 1992; March & Smith, 1995; Cross, 1999; Purao, 2002; Romme, 2003; Hevner et al., 2004; Van Aken, 2004; Cole et al., 2005; Manson, 2006; Oates, 2006b; Venable, 2006; Peffers et al., 2007; Gregor & Jones, 2007; Romme & Damen, 2007;

Vaishnavi et al., 2009; Baskerville et al., 2009; Hevner & Chatterjee, 2010; Alturki et al., 2011; Alturki et al., 2011; Lacerda et al., 2013; Puroo, 2013; Dresch et al., 2015; Christensen et al., 2018; Carstensen & Bernhard, 2019). Se observa, entonces, que ambos enfoques, el de la educación y el de las demás disciplinas, comparten un origen en Simon (1969).

4.1.2 La confusión de la denominación - una visión desde la perspectiva educativa

El término "*design experiments*", utilizado originalmente por los pioneros del DBR en educación (Brown, 1992) (Collins, 1992) ha dejado de ser usado puesto que ocasiona confusión con un término relacionado con metodología (O'Donnell, 2004) (Bakker, 2019). Se han adoptado otras denominaciones como "*design research*" y "*design based research*". El término "*design experimentation*" implica una forma específica de experimentación controlada que no captura la esencia del enfoque del DBR (contextos naturales y reales) o con "*design research*" que se confunde con el término "*research design*" y otras formas en diseño que carecen del componente de investigación (Sandoval & Bell, 2004).

Ya en 1999, en un artículo sobre "*development research*" (van den Akker, 1999), se había planteado una "*conceptual confusion*" y es así como recopila diferentes términos como "*design studies*" (Buchanan & Margolin, 1995), "*design experiments*" (Brown, 1992), "*design research*" (Collins, 1992), "*development/developmental research*" (Walker & Bresler, 1993), "*formative research*" (Walker, 1992), "*formative inquiry*", "*formative experiments*" "*formative evaluation*" (Flagg, 1990), "*action research*" (Elliott, 1991), "*engineering research*" (National Academy of Engineering, 1995).

Barab y Squire (2004) dicen que si bien inicialmente Alan Collins (1992) y luego Ann Brown (1992) comenzaron a realizar "*design experiments*", desde entonces el término DBR ha ganado en popularidad y significancia, y Bell considera que es un marco teórico con múltiples familias ("*manifold families*") y que hay coherencia metodológica en los diversos modelos del DBR, puesto que los esfuerzos están dirigidos al desarrollo de diferentes teorías, productos y estrategias que pretenden innovar a escala y que por tanto el DBR es una sombrilla metodológica

(“*methodological umbrella*”) de alto nivel que está por encima del “*design experimentation*” propuesto inicialmente por Brown y por Collins en 1992. El DBR comprende teóricamente modelos de psicología del desarrollo, la ciencia de la cognición, psicología cultural, antropología cognitiva, lingüística y etnografía, y por tanto los límites del DBR deben ser dibujados de una manera amplia (Bell, 2004).

Herrington et al. (2007) sostienen que, de manera independiente a como se denomine, el DBR tiene gran valor para la investigación sobre la tecnología en educación. Presenta otras denominaciones como “*design research*” (Reeves et al., 2005; Phillips, 2006), “*development research*” (van den Akker, 1999), “*developmental research*” (McKenney & Van Den Akker, 2005), “*design experiments*” (Collins, 1992; Brown, 1992).

Por su parte, Wang y Hannafin (2005) adoptan el término DBR (The Design-Based Research Collective, 2003) para referirse a un paradigma en el cual se han utilizado diferentes términos en la literatura como “*design experiments*” (Brown, 1992; Collins, 1992), “*design research*” (Cobb, 2001; Collins et al., 2004; Edelson, 2002), “*developmental research*” (Richey & Nelson, 1996), “*formative research*” (Reigeluth & Frick, 2003; Walker, 1992)

Collins utiliza los términos “*design experiments*” y “*design research*” indistintamente en su publicación (Collins et al., 2004).

¿Qué diferencia el DRB de la “*action research*”? Aunque ambas metodologías comparten un “metaparadigma”: el pragmatismo, se pueden integrar añadiendo una etapa de reflexión al DBR, aunque Anderson considera que la reflexión está presente en todos los estadios del DBR. Por otra parte, ha sugerido que la “*action research*” requiere agregar una fase de “construcción” en la cual la creación de teorías, artefactos, modelos y prototipos como resultados de la “*instantiation*”. Además, en la “*action research*” trabaja el docente solo y por tanto carece de la retroalimentación del equipo de diseño, lo cual es una característica esencial del DBR. Finalmente, el DBR encuadra perfectamente en el cuadrante de Pasteur de Stokes (1997), que hace énfasis en la generalización y en la producción de aplicaciones prácticas; la “*action research*” solo tiene impacto local (Anderson & Shattuck, 2012).

En su artículo, Anderson y Shattuck (2012) concluyen que el DBR es especialmente atractivo para ser usado en educación K-12, usando intervenciones tecnológicas (McKenney & Reeves, 2013).

Baker (2019) utiliza el término "*Design Research*" como una etiqueta para denominar una familia de enfoques que incluyen "*educational design research*" (Plomp & Nieveen, 2010) "*design-based research*" (The Design-Based Research Collective, 2003), "*design experiments*" (Brown, 1992), "*formative experiments*" (Reinking & Bradley, 2008), "*design studies*" (Shavelson et al., 2003), "*development or developmental research*" (Walker & Bresler, 1993; van den Akker, 1999). Aclara que usa el adjetivo *educational* para referirse al "*educational design research*" para diferenciarlo del "*design research*" en el campo de la interacción hombre-computadora, ingeniería industrial, arquitectura, etc. Sin embargo, la gran mayoría de los autores utiliza simplemente el término "*design research*".

La Tabla 23 en el Anexo 5, resume las denominaciones utilizadas desde el punto de vista de la educación por 51 autores consultados.

4.1.3 La confusión de la denominación. Una visión desde el diseño, la ingeniería, los sistemas de información y manejo y desarrollo organizacional

En las áreas del diseño, de los sistemas de información, de las tecnologías de la información, de ingeniería y manejo/desarrollo organizacional también se reconoce que no hay una nomenclatura uniforme (Dresch et al., 2015) y una proliferación de la terminología (Christensen et al., 2018). Entre los términos utilizados se encuentran "*design science research*", "*design science research methodology*", "*design cycle*", "*design research*", "*design experiments*", "*design-based research*", "*formative research*", "*development research*", "*developmental research*", "*design-based implementation research*" "*interdisciplinary design research*".

La Tabla 24, en el Anexo 6, resume las denominaciones utilizadas en los campos de la ingeniería, los sistemas de información, las tecnologías de la información, el diseño, la arquitectura, las artes, el manejo organizacional por 32 autores consultados.

Con base en los 84 autores consultados, se identificaron conceptos y características comunes acerca del DBR en las diversas áreas del conocimiento incluidas, como resume en la Tabla 12.

Tabla 12.
Conceptos comunes acerca de una definición del DBR utilizados en la literatura consultada

Definición	Educación	Ingeniería, los sistemas de información, tecnologías de la información, diseño, arquitectura, artes, manejo organizacional - Autores
Se considera un nuevo paradigma	(The Design-Based Research Collective, 2003; Wang & Hannafin, 2005; Abdallah & Wegerif, 2014)	(Purao, 2002; Hevner et al., 2004; Cole et al., 2005; Manson, 2006; Venable, 2006; Baskerville et al., 2009; Vaishnavi et al., 2009; Peffers et al., 2007; Alturki et al., 2011; Lacerda et al., 2013; Dresch et al., 2015).
Es un enfoque de investigación que usa múltiples metodologías cualitativas y cuantitativas.	(Herrington et al., 2007; Bell, 2004; Collins et al., 2004; Fishman et al., 2004; Anderson & Shattuck, 2012; McKenney & Reeves, 2013; Collins et al., 2004; Abdallah & Wegerif, 2014)	(Takeda et al., 1990; Nunamaker & Chen, 1990; Nunamaker et al., 1991; Purao, 2002; Hevner et al., 2004; Manson, 2006; Venable, 2006; Vaishnavi et al., 2009; Lacerda et al., 2013; Dresch et al., 2015; Kolmos, 2015).
Busca soluciones prácticas (pragmatismo) a problemas complejos. El producto final es <i>"usable knowledge"</i> .	(Brown, 1992; Collins, 1992; Herrington et al., 2007; The Design-Based Research Collective, 2003; Fishman et al., 2004; O'Donnell, 2004; Kennedy-Clark, 2013; Bakker, 2019)	(Eekels & Roozenburg, 1991; March & Smith, 1995; McKay & Marshall, 2001; Purao, 2002; Romme, 2003; Hevner et al., 2004; Van Aken, 2004; Cole et al., 2005; Manson, 2006; Oates, 2006b; Peffers et al., 2007; Romme & Damen, 2007; Baskerville et al., 2009; Vaishnavi et al., 2009; Alturki et al., 2011; Lacerda et al., 2013; Purao, 2013; Dresch et al., 2015; Kolmos, 2015; Kelly, 2015; Christensen et al., 2018).
La investigación se realiza en contextos naturales y reales	(Brown, 1992; Collins, 1992; Barab & Squire, 2004; Bell, 2004; Collins et al., 2004; Hoadley, 2004) (Fishman et al., 2004; Wang & Hannafin, 2005; Herrington et al., 2007; Cotton et al., 2009; T. Anderson & Shattuck, 2012; The Design-Based Research Collective, 2003; McKenney & Reeves, 2013; Bakker, 2019).	(Eekels & Roozenburg, 1991; March & Smith, 1995; McKay & Marshall, 2001; Purao, 2002; Romme, 2003; Hevner et al., 2004; Van Aken, 2004; Cole et al., 2005; Manson, 2006; Oates, 2006b; Peffers et al., 2007; Romme & Damen, 2007; Baskerville et al., 2009; Vaishnavi et al., 2009; Alturki et al., 2011; Lacerda et al., 2013; Purao, 2013; Dresch et al., 2015; Kolmos, 2015; Kelly, 2015; Christensen et al., 2018).
Utiliza ciclos iterativos de prueba y mejoría de las soluciones y los prototipos y se investiga a partir del error	(The Design-Based Research Collective, 2003; (obb et al., 2003; DiSessa & Cobb, 2004; Wang & Hannafin, 2005; Herrington et al., 2007; Cotton et al., 2009; Anderson & Shattuck, 2012; McKenney & Reeves, 2013;	(Takeda et al., 1990; Nunamaker & Chen, 1990; Nunamaker et al., 1991; Eekels & Roozenburg, 1991; McKay & Marshall, 2001; Romme, 2003; Hevner et al., 2004; Cole et al., 2005; Manson, 2006; Oates, 2006b; Peffers et al., 2007; Gregor & Jones, 2007; Baskerville et al., 2009; Alturki et al., 2011; Purao, 2013; Dresch et al., 2015; Kolmos, 2015; Kelly, 2015;

	Kennedy-Clark, 2013; Bakker, 2019).	Christensen et al., 2018; (Carstensen & Bernhard, 2019).
Colaboración entre los investigadores y los docentes y los estudiantes. El educador es simultáneamente un investigador y un docente.	(Fishman et al., 2004; Collins et al., 2004; Hoadley, 2004; O'Donnell, 2004; Wang & Hannafin, 2005; Reeves, 2006; Herrington et al., 2007; T. Anderson & Shattuck, 2012; McKenney & Reeves, 2013).	(McKay & Marshall, 2001; Dresch et al., 2015; Kolmos, 2015; Christensen et al., 2018).
La comunidad en la cual se realiza la investigación es la que define su importancia		(Manson, 2006; Kolmos, 2015)
Desarrolla nuevas teorías y modelos sobre el diseño basados en la observación y evaluación del uso del prototipo	(van den Akker, 1999; Cobb et al., 2003; Cotton et al., 2009) y teorías: (Wang & Hannafin, 2005; Cotton et al., 2009)	(Nunamaker & Chen, 1990; Nunamaker et al., 1991; Walls et al., 1992; March & Smith, 1995; Cross, 1999; Cross, 2001; Purao, 2002; Romme, 2003; Hevner et al., 2004; Cole et al., 2005; Vaishnavi et al., 2009; Manson, 2006; Venable, 2006; Peffers et al., 2007; Gregor & Jones, 2007; Vaishnavi et al., 2009; Fischer et al., 2010; Alturki et al., 2011; Lacerda et al., 2013; Purao, 2013; Dresch et al., 2015; Kolmos, 2015; Carstensen & Bernhard, 2019; Christensen et al., 2018)
Los productos son teorías, constructos, artefactos, modelos, métodos y prototipos. Los productos son teorías, innovaciones ontológicas artefactos, intervenciones tecnológicas, estrategias educativas, prácticas, currículum y de carácter social (desarrollo profesional de los participantes).	(The Design-Based Research Collective, 2003; Bakker, 2019; DiSessa & Cobb, 2004; Bell, 2004; Plomp & Nieveen, 2010; Barab & Squire, 2004; Bell, 2004; Kennedy-Clark, 2013; Herrington et al., 2007).	(March & Smith, 1995; Purao, 2002; Hevner et al., 2004; Manson, 2006; Peffers et al., 2007; Gregor & Jones, 2007; Baskerville et al., 2009; Vaishnavi et al., 2009; Alturki et al., 2011; Lacerda et al., 2013; Purao, 2013; Dresch et al., 2015; Carstensen & Bernhard, 2019).
Los productos y artefactos deben ser evaluados y validados en términos de funcionalidad, integridad, consistencia, exactitud, desempeño, confiabilidad, usabilidad, impacto y validez.	(Bakker, 2019).	(March & Smith, 1995; Hevner et al., 2004; Manson, 2006; Oates, 2006b; Peffers et al., 2007; Baskerville et al., 2009; Alturki et al., 2011; Lacerda et al., 2013; Dresch et al., 2015; Kelly, 2015)

A diferencia de la investigación experimental los protocolos pueden ser cambiados en medio de la implementación	(Collins et al., 2004; Hoadley, 2004; Bakker, 2019).
Utiliza abducción, deducción, circunscripción	(Takeda et al., 1990; Manson, 2006; (Vaishnavi et al., 2009; Alturki et al., 2011; Lacerda et al., 2013; Dresch et al., 2015; Kelly, 2015; Carstensen & Bernhard, 2019).
Implica un trabajo interdisciplinario	(Cross, 1999; Cross, 2001; McKay & Marshall, 2001; Manson, 2006; Dresch et al., 2015; Kelly, 2015; Christensen et al., 2018).

4.1.4 Resumen de las características del DBR

El DBR es un paradigma de investigación que se aplica a las creaciones humanas (lo artificial), que usa múltiples metodologías de investigación (pluralismo metodológico) para recolectar y evaluar los datos (cualitativas, cuantitativas y cuasiexperimentales); a diferencia de los diseños experimentales puros, en el DBR puede haber múltiples variables dependientes. El DBR busca soluciones prácticas a problemas complejos (pragmatismo) y la investigación se desarrolla en contextos naturales y reales. Desarrolla nuevas teorías, principios y modelos sobre el diseño basado en la observación y la evaluación del uso del prototipo mediante un proceso cíclico (iterativo) de ensayo, prueba y de abducción, deducción y circunscripción. Los productos finales del DBR son teorías, constructos, artefactos, modelos, métodos y prototipos. El producto final del DBR es *“usable knowledge”*, es decir, debe ser útil y aplicable en el mundo real y por tanto debe ser evaluado en términos de validez, funcionalidad, integridad, consistencia, exactitud, desempeño, confiabilidad, y usabilidad. El investigador no es un simple observador imparcial sino que se implica de manera activa en el proceso en colaboración con otros actores (diseñadores, docentes, estudiantes, etc.), lo cual implica que el DBR se caracteriza por su carácter interdisciplinario.

4.1.5 “*Design-Based Research*” –DBR– como paradigma de investigación

La presente tesis se enmarca en el paradigma de investigación del DBR que se adoptó como “paraguas metodológico”. A continuación se presenta una reseña de la definición, sus productos, la metodología adoptada, y cómo se evalúa un proyecto basado en este paradigma.

4.1.5.1 *Definición del DBR*

“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)

En el libro “*The Sciences of Artificial*”, Herbert Simon (1969) divide el Universo entre lo natural y lo artificial. Los fenómenos naturales son aquellos que ocurren “naturalmente” en el mundo y en el comportamiento humano. Los fenómenos artificiales son aquellos creados por el hombre. La “Ciencia natural” o investigación natural se ocupa de entender y explicar los fenómenos naturales; por su parte, la “Ciencia de lo artificial” o ciencia del diseño se ocupa de aquello creado por el hombre o de los fenómenos artificiales que no existen en la naturaleza (Cross, 1999) (Cross, 2001). A partir de este concepto surgió el DBR o investigación basada en el diseño (Manson, 2006). Por tanto, la misión principal del DBR es crear conocimiento para crear y el desarrollar artefactos. Este conocimiento es descriptivo-explicativo y prescriptivo (Lacerda et al., 2013).

El DBR, también denominado “*Design Science Research*” (March & Smith, 1995; Vaishnavi et al., 2009; Hevner et al., 2004; Dresch et al., 2015), es un paradigma de investigación que usa el conocimiento para diseñar y crear artefactos útiles para analizar, usando múltiples métodos rigurosos, por qué un artefacto es efectivo. La comprensión lograda durante la fase de análisis y retroalimentación construye el cuerpo de conocimiento de la disciplina (Manson, 2006). Puesto que usa múltiples metodologías tanto positivistas como interpretativas, se considera una caja de herramientas metodológica (Barab & Squire, 2004; Abdallah & Wegerif, 2014) (Tabla 13).

Tabla 13. Comparación desde el punto de vista filosófico entre los paradigmas Positivista, Interpretativista y el DBR

	Positivismo	Interpretativismo	"Design-Based Research"
Ontología (Naturaleza de la realidad)	Existe una sola realidad que es independiente del investigador. Probabilística	La realidad y el individuo que la observa no pueden ser separados. Múltiples realidades, construcción social del conocimiento.	Comparte con el Positivismo que hay una sola realidad, pero el DBR cambia el estado del mundo al introducir nuevos artefactos, por tanto las realidades pueden ser múltiples en diferentes ambientes reales. Sociedad y tecnología.
Epistemología (Estudio de la naturaleza del conocimiento)	El investigador cree que la realidad es independiente de sí mismo y conoce la realidad mediante observación. Objetivo y desapasionado.	Los investigadores creen que no son independientes de la realidad y que el conocimiento se construye a medida que viven y experimentan el mundo (construcción social del mundo). Interacción entre el investigador y el participante. Subjetivo.	Se conoce por medio del hacer (" <i>knowing through making</i> "). Se comprende mediante un proceso iterativo de construcción y circunscripción. " <i>What it means is what it does</i> ". El significado está dado por la interactividad entre el artefacto y el usuario.
Metodología (Métodos y principios usados para crear nuevo conocimiento)	Laboratorio, experimentos de campo y encuestas. Los métodos tienden a ser cuantitativos. Observación y estadística. Usa una sola variable dependiente.	Métodos cualitativos como etnografías, estudios de caso, estudios fenomenológicos, participación-acción, entre otros. Cómo entender el fenómeno en su contexto. Hermenéutica y dialéctica.	Dualística. Durante las fases de diseño y desarrollo, el proceso es creativo y durante la fase de evaluación se utilizan metodologías tanto cuantitativas como cualitativas para medir la efectividad y el impacto del constructo. Puede manejar múltiples variables dependientes.
Axiología (Estudio de los valores)	Se valora la verdad. Esta es universal y hermosa; predicción.	Se valora la comprensión del fenómeno y la verdad de manera situada y descriptiva.	Se valoran la verdad, la comprensión, la relevancia del artefacto y la manipulación del ambiente. Su propósito es la utilidad (lo que es efectivo), pero la verdad y la utilidad son inseparables. La verdad informa al diseño y el diseño informa a la verdad. Control, creación, progreso, mejoras, comprensión.

(Vaishnavi et al., 2009; Abdallah & Wegerif, 2014).

El DBR es un proceso orientado a soluciones de problemas complejos del mundo real y que, a diferencia de las ciencias naturales, que buscan comprender la realidad, crea artefactos innovadores que sirvan a los propósitos reales (McKay & Marshall, 2001). Está orientado a la tecnología y sus productos se evalúan por medio de criterios de valor o utilidad: ¿Funciona? ¿Es útil? ¿Es una mejora? Entonces, son buenos artefactos los que son efectivos, es decir, aquellos que trabajan (Hevner, March, Park, & Ram, 2004; March & Smith, 1995; Manson, 2006). Estos artefactos “*good enough*” rara vez son sistemas completos y funcionales que pueden ser usados en la práctica. Más bien, son innovaciones que definen las ideas, prácticas, capacidades técnicas y productos por medio de las cuales el análisis, el diseño, la implementación y el uso de los sistemas se logra de manera efectiva y eficiente (Hevner et al., 2004).

El DBR es un conjunto de técnicas y perspectivas analíticas que complementan las miradas positivista, interpretativa y crítica para realizar investigación en sistemas de la información (“*Information Systems*” –IT–), y por tanto implica el diseño de artefactos innovadores y el análisis del uso y el desempeño de estos para mejorar y comprender el conocimiento en el área de los IT. El DBR es tanto un proceso iterativo (conjunto de actividades) como un producto (artefacto), y por tanto es a la vez verbo y sustantivo (Walls et al., 1992). El DBR puede encontrarse en múltiples campos o disciplinas como la Ingeniería, las Ciencias de la Computación, la Arquitectura, los Negocios, la Educación y la Medicina (Simon, 1969; Vaishnavi et al., 2009).

El diseño de los artefactos está enmarcado en un ambiente externo, un ambiente interno y la interfaz entre los dos. El ambiente externo es el conjunto total de fuerzas externas que afectan y actúan sobre el artefacto. El ambiente interno es el conjunto de componentes del artefacto y las relaciones –la organización– del artefacto. El comportamiento del artefacto está limitado por su organización y por el ambiente externo. La construcción de un artefacto con sus componentes y su organización, que interactúa de una manera deseada con el ambiente externo, es la actividad del diseño (Simon, 1969; Vaishnavi et al., 2009).

Aun cuando algunos argumentan que el diseño por sí mismo es un proceso que usa el conocimiento y no un proceso que produce conocimiento y por tanto no puede ser considerado

investigación, el proceso de usar conocimiento para diseñar y crear artefactos, y luego de manera metódica, cuidadosa, rigurosa y sistemática analizar la efectividad con la cual el artefacto logra su propósito, es un proceso que crea conocimiento y por tanto puede ser llamado investigación. Esta forma de investigación es el DBR (Manson, 2006).

Finalmente, otra característica del DBR es su carácter interdisciplinar (Cotton et al., 2009). Reeves (2006) lo expresa de la siguiente manera “Design research is not an activity that an individual researcher can conduct in isolation from practice” (p. 59).

4.1.5.2 *Los productos del DBR*

De acuerdo con la metodología adoptada, los resultados que se obtienen durante el proceso son un propósito, un diseño tentativo, un artefacto, unas medidas de desempeño y un resultado.

Los artefactos creados mediante el DBR pueden ser *constructos* (vocabulario o símbolos), *modelos* (abstracciones y representaciones), *métodos* (algoritmos y prácticas), *“instantiations”* (sistemas prototipos e interfaces hombre/computadora) y *“better design theories”* (March & Smith, 1995; Hevner et al., 2004; Hevner & Chatterjee, 2010).

En el Proyecto doctoral, el artefacto creado se trató de un *artefacto material* o *“instantiation”* –todos los demás artefactos se consideran abstractos– (March & Smith, 1995; Markus et al., 2002; Oates, 2006a; Vaishnavi et al., 2009). El *artefacto material* o *“instantiation”* es la puesta en práctica de constructos, modelos o métodos en su ambiente real. Los *“instantiations”* demuestran la factibilidad y la efectividad de los constructos, modelos y métodos que contienen, del proceso de diseño y del producto diseñado. Son artefactos funcionales que pueden ser evaluados de múltiples formas con el propósito de lograr avances y crear nuevo conocimiento en el ámbito del DBR. También se llaman *“implementaciones situadas”*.

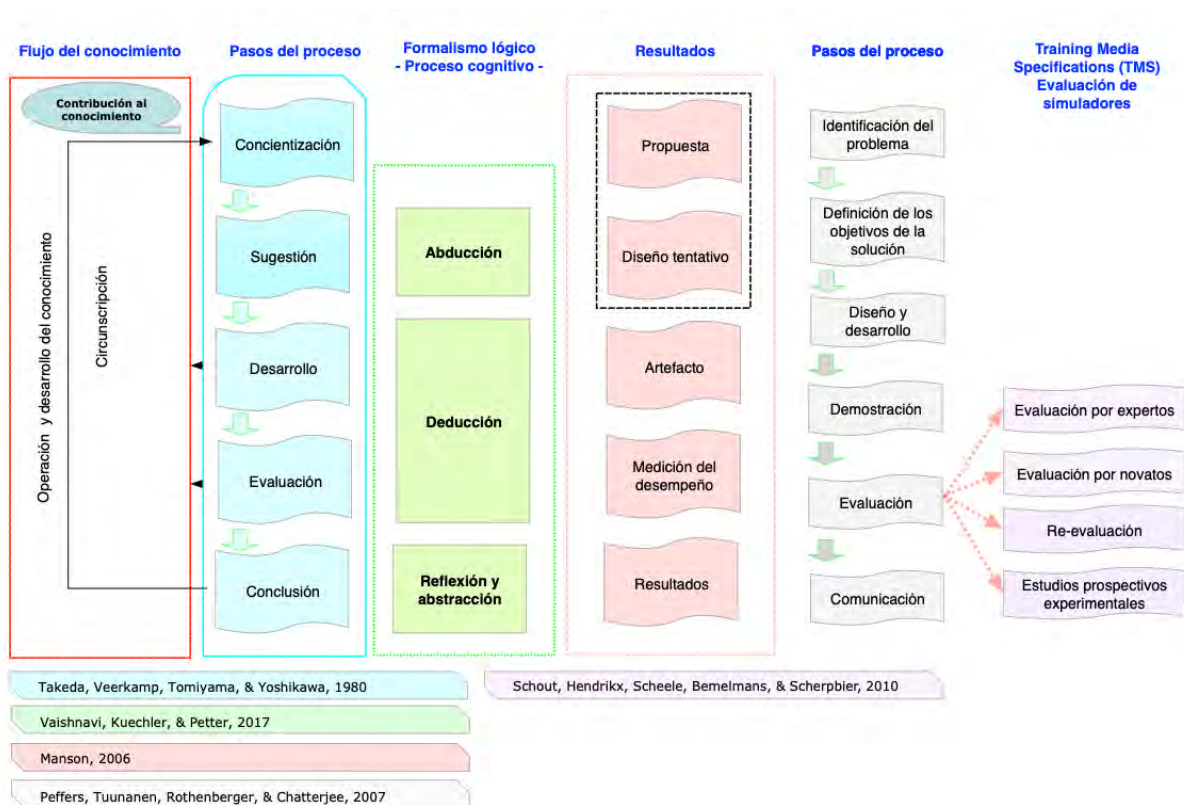
4.1.5.3 *La metodología del DBR*

Una metodología es un sistema de principios, prácticas y procedimientos aplicados a una rama específica del conocimiento (Peppers et al., 2007). En la metodología propuesta por Manson,

mediante procesos de abducción (“*abduction*”) y deducción (“*deduction*”) que detectan los errores en el diseño o la función del prototipo, se desarrollan versiones adicionales hasta obtener un producto “*good enough*” funcional que pueda ser sometido a estudios de validación (Vaishnavi et al., 2009; Manson, 2006; Dresch et al., 2015; Takeda et al., 1990). Este modelo se caracteriza por ser pragmático (Juuti & Lavonen, 2006; Metcalfe, 2008; Abdallah & Wegerif, 2014; Goff & Getenet, 2017), bien fundamentado (“*grounded*”), interactivo (“*interactive*”) iterativo (“*iterative*”), flexible, integrativo y contextual (Herrington et al., 2003) (Wang & Hannafin, 2005).

La Figura 10 presenta un resumen general de la metodología del DBR de acuerdo con (Lacerda et al., 2013; Takeda et al., 1990; Vaishnavi et al., 2009; Manson, 2006; Peffers et al., 2007; Schout et al., 2010).

Figura 10.
Metodología general del DBR



Modificado de Lacerda et. al (2013). (Takeda et al., 1990) (Vaishnavi et al., 2009) (Manson, 2006) (Peppers et al., 2007) (Schout et al., 2010).

En el modelo adoptado, se describen varios pasos que se deben aplicar y los productos que deben resultar de cada uno durante un proyecto basado en el DBR así:

- *Conciencia del problema (Identificación del problema y motivación)*. En este proceso, el investigador se hace consciente de un problema relacionado con una necesidad de una solución tecnológica en un campo específico que se origina de una revisión de la literatura, a partir de nuevos hallazgos en otra disciplina o por una necesidad expresada por un cliente de la industria de las tecnologías de la información (Oates, 2006a). El producto de esta fase es una propuesta, formal o informal sobre un nuevo proyecto de investigación y la formulación del problema y de la pregunta de investigación. Esta fase implica una revisión extensa de la literatura sobre el asunto que se va a investigar y el desarrollo de un marco conceptual (Kennedy-Clark, 2013; Herrington et al., 2007). En esta etapa, es deseable la colaboración de los investigadores, los desarrolladores y los especialistas prácticos del área (Amiel & Reeves, 2008).
- *Sugerencia (Definir los objetivos para una solución)*. Durante la fase de “*suggestion*”, el investigador propone uno más diseños tentativos. Esta fase es eminentemente creativa e implica la aplicación de lógica abductiva (conjetura) que nutre de ideas al investigador a partir de la base de conocimiento teórico del área. Esta fase está íntimamente conectada con el propósito planteado en la primera fase. Su producto es un diseño tentativo o provisional y posiblemente un prototipo. Los objetivos acá planteados pueden ser cuantitativos o cualitativos (Hevner & Chatterjee, 2010; Peppers et al., 2007).
- *Diseño y desarrollo*. Durante la fase de desarrollo, se construyen uno o más artefactos que deberán ser evaluados. Durante esta fase, se implementa el diseño tentativo y por tanto el producto es un artefacto. El desarrollo del prototipo implica un proceso iterativo donde cada iteración conforma un micro ciclo o micro fase de la investigación (Edelson, 2002;

Hakkarainen, 2009; Kennedy-Clark, 2013). La construcción de un prototipo es un concepto de ingeniería y además es un proceso de creación (Beynon-Davies et al., 1999).

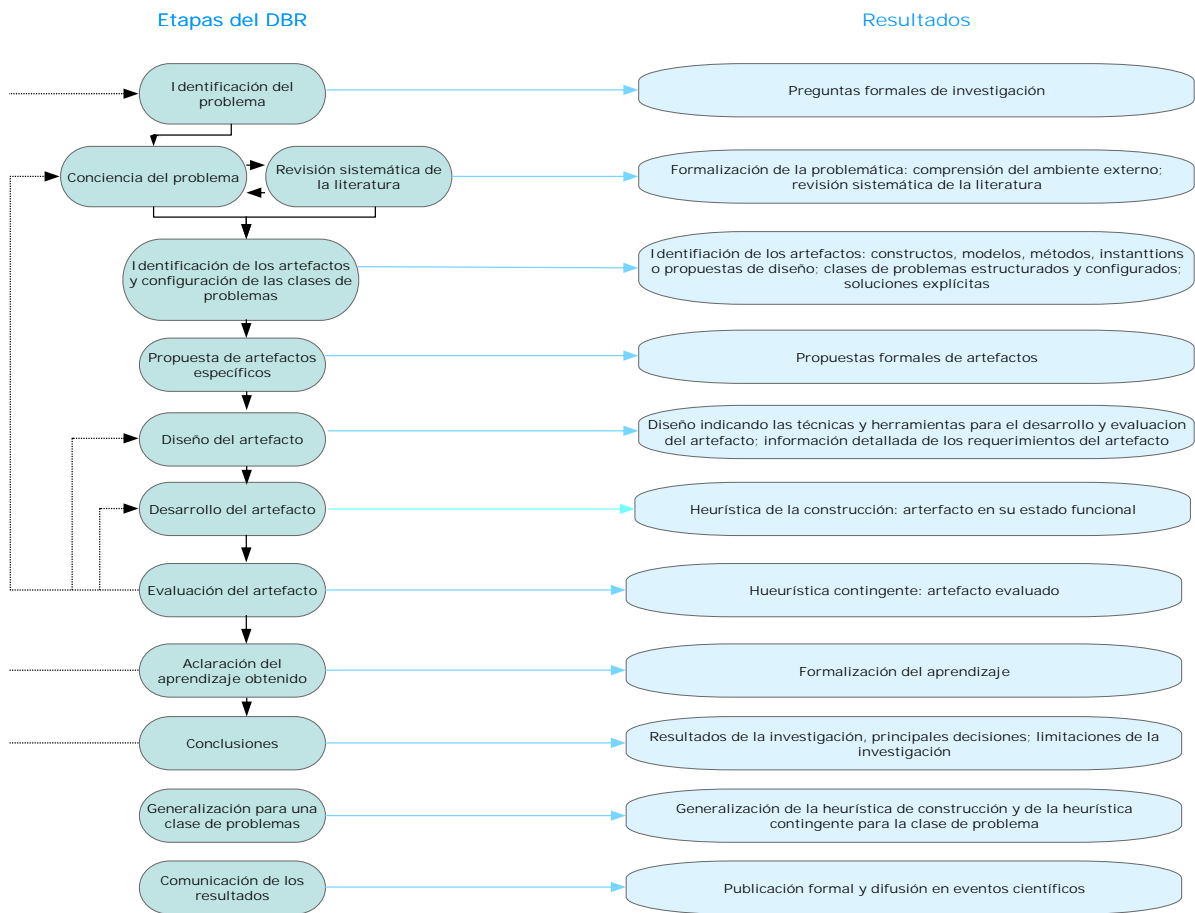
- *Demostración.* Se demuestra el uso del artefacto con el propósito de resolver uno o más aspectos del problema. Puede involucrar su uso en un experimento, en una simulación, en un estudio de caso, una prueba o cualquier otra actividad apropiada. Los recursos requeridos para la demostración incluyen el conocimiento efectivo de cómo usar el artefacto para solucionar el problema (Peffer et al., 2007).
- *Evaluación.* Durante la *evaluación*, se formulan hipótesis sobre cómo será el comportamiento del artefacto y, partir de allí, el proceso de *abducción* hará nuevas propuestas puesto que se usa para expandir las ideas del investigador. El conocimiento se produce mediante circunscripción ("*circumscription*") al detectar y analizar las contradicciones presentadas en el funcionamiento del prototipo que no se acoplan a las hipótesis originales y que se detectan mediante deducción (la deducción se usa cuando el diseñador desea obtener todos los hechos a partir del objeto diseñado). La circunscripción produce comprensión del problema que solo puede ser creada durante la construcción del artefacto y este proceso lleva nuevamente al proceso de conciencia del problema lo que contribuye a nutrir las teorías que por abducción dieron origen a la investigación (Vaishnavi et al., 2009; Manson, 2006; Carstensen & Bernhard, 2019). En las etapas de desarrollo y de evaluación se aplica el formalismo lógico de la deducción (Takeda et al., 1990). Si estas contradicciones se solucionan y el artefacto es sometido a procesos de validación, se produce nuevo conocimiento. Esta etapa puede demostrar el uso del artefacto para resolver uno o más problemas o evalúa al artefacto de manera formal al observar y medir qué tan bien soporta la solución a un problema (requiere métrica y análisis). El producto final será una medida de desempeño. La evaluación puede incluir medidas cuantitativas de desempeño, de costos, de la satisfacción del usuario, retroalimentación por los usuarios o simulaciones (Peffer et al., 2007).
- *Conclusión.* Finalmente, cuando se logra un prototipo "good enough", se consolidan y se publican los resultados (producto final) y se conforma la fase de conclusión. Durante el proceso se hacen propuestas, diseños tentativos, los artefactos en sí, las medidas de

desempeño (estudios de validación) y los resultados finales (Manson, 2006; Vaishnavi et al., 2009). Mediante los procesos cognitivos de reflexión y abstracción se contribuye al conocimiento en el área del DBR. La contribución final del DBR al conocimiento puede darse como un invento (crear soluciones nuevas para problemas nuevos), una mejoría (desarrollo de nuevas soluciones para problemas conocidos) o una adaptación (adaptaciones innovadoras de conocimiento o soluciones ya conocidas para problemas nuevos). La comunicación implica el conocimiento de la cultura de la disciplina y la estructura de un proceso de investigación empírica (Peffer et al., 2007).

En resumen, en este modelo el proceso de diseño se asume como un proceso lógico en el cual tanto la teoría como el producto son revisados de manera gradual a medida que el proceso progresa usando abducción ("*abduction*"), deducción ("*deduction*") y circunscripción ("*circumscription*").

La Figura 11 correlaciona las etapas o fases del DBR con los resultados que se deben obtener.

Figura 11.
Correlación de las etapas o fases del DBR con los resultados que se deben obtener



(Dresch et al., 2015)

4.1.5.4 Cómo evaluar el DBR

Los artefactos pueden ser evaluados según su funcionalidad, integridad, consistencia, exactitud, desempeño, confiabilidad y usabilidad. Puesto que el diseño es una actividad iterativa e incremental, la fase de evaluación proporciona retroalimentación significativa a la fase de desarrollo. Los *constructos* se evalúan en términos de integridad, simplicidad, elegancia, comprensibilidad y facilidad de uso. Los *modelos* en términos de fidelidad con respecto a los fenómenos del mundo real, integridad, nivel de detalle, robustez y consistencia interna. Los *métodos* son valorados por su operatividad, eficiencia, generalidad y facilidad de uso. Y

finalmente, los “instantations” se valoran considerando su *eficacia, eficiencia* y su *impacto sobre el ambiente* y los *usuarios* (Lacerda et al., 2013).

Hevner presenta siete guías para evaluar un proyecto de DBR (Hevner et al., 2004; Oates, 2006a) (Tabla 14).

Tabla 14.
Guías para evaluar un proyecto de DBR

Guía	
Guía 1: Diseño como un artefacto	El DBR debe producir un artefacto viable en forma de un constructo, un modelo, un método o un “instantation”. El artefacto debe ser descrito de tal manera que pueda ser implementado y aplicado. Si el artefacto es una “instantation”, se debe demostrar la factibilidad del diseño y del producto diseñado.
Guía 2: Relevancia del problema	El objetivo del DBR es desarrollar soluciones con base tecnológica para problemas relevantes. La relevancia del problema es definida por la comunidad sobre la cual impacta el artefacto. Desde el punto de vista formal un problema puede definirse como las diferencias entre el estado de la meta y el estado actual de un sistema. La solución del problema es un proceso de búsqueda que propone acciones para reducir o eliminar las diferencias.
Guía 3: Evaluación del diseño	La utilidad, la calidad y la eficacia del artefacto debe ser demostrada de manera rigurosa por medio de métodos de evaluación bien ejecutados. Los criterios de evaluación son determinados por el ambiente y la comunidad en los cuales el artefacto funciona. Deben establecerse de manera clara la metodología y la métrica que se va a utilizar en la evaluación. Los artefactos pueden ser evaluados en términos de calidad, utilidad, eficacia, funcionalidad, integridad, consistencia, exactitud, desempeño, confiabilidad, facilidad de uso, accesibilidad, estética y demás atributos de calidad. Puesto que el proceso es iterativo, la evaluación proporciona retroalimentación al proceso de la construcción. La Tabla 23 en el Anexo 05 resume las técnicas de evaluación de acuerdo con el marco de validación planteado por Messick (1995b).
Guía 4: Contribución de la investigación	El DBR efectivo debe proporcionar contribuciones claras y verificables al DBR y estas pueden ser <i>el artefacto en sí, nuevas fundaciones sobre el diseño o el desarrollo y el uso de nuevas formas y métodos de evaluación y de métrica</i> . El desarrollo debe trascender un proyecto normal de diseño.
Guía 5: Rigor en la metodología de investigación	El DBR se fundamenta en la aplicación de métodos rigurosos tanto en la construcción como en la evaluación del artefacto. Este rigor se deriva de un uso adecuado de la base de conocimiento tanto en el marco teórico como en las metodologías de investigación. El artefacto debe ser definido con rigor, representado de una manera formal, ser coherente y tener consistencia interna. La construcción de una métrica efectiva es crucial en el DBR. Por otra parte, debe haber rigor al seleccionar la población y el ambiente en los cuales se realizan las pruebas hombre-máquina. El principal propósito del DBR es determinar qué tan bien funciona un artefacto y no teorizar o probar por qué funciona el artefacto.

Guía 6: El diseño como un proceso de búsqueda	La búsqueda de un artefacto efectivo requiere utilizar los medios disponibles para lograr los resultados deseados mientras que satisface las leyes en el ambiente del problema. El diseño es necesariamente un proceso iterativo que busca descubrir una solución efectiva a un problema y deben describirse con claridad los ciclos del desarrollo. El DBR es un problema heurístico.
Guía 7: Comunicación de la investigación	La investigación debe ser presentada de manera adecuada a las audiencias apropiadas. Los reportes deben incluir las debilidades y omisiones que ocurrieron durante los procesos de desarrollo y evaluación. Las publicaciones deben cumplir con las normas vigentes y deben ser revisadas por pares.

(Hevner et al., 2004)

Hevner et al. (2004) resumen la evaluación de los resultados del DBR de la siguiente manera:

Contribution arises from utility. If existing artefacts are adequate, then the production of new artefacts is unnecessary (it is irrelevant). If the new artefact does not map adequately to the real world (rigour), it cannot provide utility. If the artefact does not solve the problem (search, implementability), it has no utility. If utility is not demonstrated (evaluation), then there is no basis upon which to accept the claims that it provides any contribution (contribution). Furthermore, if the problem, the artefacts, and its utility are not presented in a manner such that the implications for research and practice are clear, then publication in the literature is not appropriate (communication) (p. 91).

La metodología y el diseño de investigación utilizados en cada artículo se adapta a la realidad estudiada en cada fase del proyecto de investigación.

- *Fase 1. Revisión sistemática de la literatura y revisión de la literatura sobre simulación y MIS:* para realizar esta revisión sistemática se siguieron las normas y recomendaciones dadas por: "A Measurement Tool to Assess systematic Reviews" ("AMSTAR") (Shea et al., 2007) y Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis ("PRISMA") (Liberati et al., 2009).
- *Fase 2. Desarrollo del SIMISGEST-VR:* esta fase de la investigación adoptó el modelo de aplicación del DBR propuesto por Manson (2006).

- *Fase 3. Validación.* El DBR exige que, una vez un artefacto sea desarrollado, este debe ser sometido a pruebas que soporten su validez 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 Samuel Messick (1995a; 1995b).

4.2 Confiabilidad y validez en simulación en MIS

Cuando sometimos nuestra publicación sobre desarrollo y validación del SIMISGEST-VR a la revista *“Journal of Surgical Education”*, recibimos como respuesta una carta del Dr. *James R Korndorffer Jr*, editor de la revista, donde nos invitaba a replantear el modelo de validación que estábamos utilizando, y a adoptar el propuesto por los *“Standards for Educational and Psychological Testing”* (American Educational Research Association et al., 2014) (La carta puede ser consultada en el Anexo 7).

En la actualidad, hay una controversia sobre la validez y el proceso de validación. La controversia de la validación en simulación tiene profundas raíces epistemológicas (Kleindorfer et al., 1998). Autores como Borsboom hablan de los nuevos marcos propuestos: *“We do not see the need for a unified validity concept because we think there is nothing to unify”* (Borsboom et al., 2004) y otros consideran que el problema del concepto unificado de la validación aún no ha sido resuelto (Cizek, 2012; Newton & Baird, 2016; Cizek, 2016). Si bien los *“Standards”* se refieren a cinco fuentes de evidencia de validez (American Educational Research Association et al., 2014), instituciones tan respetables como la *“U.S. Food and Drug Administration”* (FDA), utilizan aún los tipos de evidencia: de contenido, de constructo, discriminante, de criterio y de grupos conocidos (Zumbo & Chan, 2014; Chan, 2014).

Sin embargo, la opinión del Profesor Korndorffer et al. (2010) en su carta como editor de la revista *“Surgical Education”*, es un llamado a los autores para adoptar los nuevos marcos aplicados a los conceptos de validación y validez (Cook et al., 2015; Kane, 2013). El Profesor Korndorffer es, además, co-editor de un libro sobre simulación en cirugía (Stefanidis et al., 2019)

y de múltiples artículos sobre este tema como autor principal (Korndorffer, Clayton, et al., 2005; Korndorffer et al., 2012; Korndorffer, Fellingner, et al., 2010; Korndorffer, Kasten, et al., 2010; Korndorffer, Dunne, et al., 2005; Korndorffer et al., 2006; Korndorffer, Hayes, et al., 2005; Korndorffer, Fellingner, et al., 2010) y muchos otros como coautor (Poulose et al., 2014; Watanabe et al., 2015; Anton et al., 2018; Vassiliou et al., 2014). El marco propuesto por Messick fue el adoptado para validar y presentar la evidencia de validez (Messick, 1995a; Messick, 1995b). La Tabla 15 presenta un resumen de los conceptos claves sobre validez y validación.

Tabla 15.
Conceptos claves acerca de la validez y la validación

Conceptos claves acerca de validez y validación.
<ul style="list-style-type: none"> ● La validación es un proceso, no un punto de llegada. ● La validez no es una propiedad de la prueba o de la herramienta de evaluación (simulador) como tales, sino del significado de los puntajes de la prueba. ● La validación implica la recolección de evidencia de validez. ● Los términos validación y la validez finalmente se refieren a una interpretación específica o usos de los datos de la evaluación, sean estos numéricos o comentarios narrativos, y tomar decisiones fundamentadas en esta interpretación. ● La validación no brinda una respuesta simple Si/No acerca de la validez, sino más bien un juicio de validez que depende de la aplicación prevista y del contexto.

4.2.1 El concepto de confiabilidad (“reliability”)

El término confiabilidad se refiere a la reproductibilidad, confianza y precisión de una prueba o de un dispositivo en el cual se realiza la prueba. Es decir, la reproductibilidad de los resultados producto de una evaluación en cuanto a precisión y consistencia (Cook & Beckman, 2006; McDougall, 2007).

La validez o confiabilidad interna se refiere a la representación precisa y la extrapolación de los resultados de la población investigada a la población objetivo bajo estudio (ejemplo, expertos y referentes) (Schijven & Jakimowicz, 2002). La validez externa se refiere a la generalización de la validación. Así pues, un estudio puede tener validez interna cuando los resultados son ciertos

para la población en estudio pero no son generalizables a otras poblaciones y por tanto no tiene validez externa. Para que un simulador sea óptimo debe tener validez interna y validez externa (Munro, 2012).

Se debe hacer énfasis en que la confiabilidad, aunque es un requisito para la validez, no es suficiente. La confiabilidad es solo otra forma de evidencia. Un mismo instrumento usado en un contexto diferente o con sujetos diferentes puede mostrar una variación amplia en su confiabilidad (Cook & Beckman, 2006).

Para tal fin, se realizan medidas en la misma persona en diferentes días o por observadores diferentes en el simulador y estas deben arrojar resultados similares. La confiabilidad se expresa como un coeficiente de correlación o coeficiente de confianza (valor r) y como un número entre 0 y 1, el cual representa la proporción de la variabilidad con puntajes atribuibles a diferencias verdaderas entre las personas. Cuando un simulador es evaluado por dos observadores, esta reproductibilidad se define como confiabilidad *inter-observador* y se refiere a la consistencia de las evaluaciones entre evaluadores. Si, por el contrario, el simulador muestra similitud entre observaciones hechas por el mismo evaluador en dos ocasiones diferentes, se denomina confiabilidad *intra-observador*. Para los simuladores quirúrgicos, se considera que la confiabilidad debe ser ≥ 0.8 . Valores menores aumentan la incidencia de falsos positivos (McDougall, 2007; Feldman, Sherman, et al., 2004). Una manera de mejorar una confiabilidad baja es aumentando el número de ítems o de observadores.

La confiabilidad *test-retest* se obtiene sometiendo a un mismo grupo de aprendices a una misma evaluación en dos momentos diferentes para observar qué tan estables son los puntajes (McDougall, 2007; Kowalewski et al., 2017; Feldman, Sherman, et al., 2004). Si no ha habido entrenamiento adicional entre las dos evaluaciones, en teoría, debe dar resultados idénticos. Sin embargo, rara vez se alcanza dicha precisión, que consiste en obtener un coeficiente superior a 0.9. En general, un resultado de 0,8 indica que una prueba es útil, entre 0,5 a 0,8 menos útil y por debajo de 0,5 no es de utilidad (Sugden & Aggarwal, 2010). No se realiza con frecuencia puesto que es difícil controlar lo que se pudo haber aprendido en el lapso entre las pruebas.

En nuestro caso, 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).

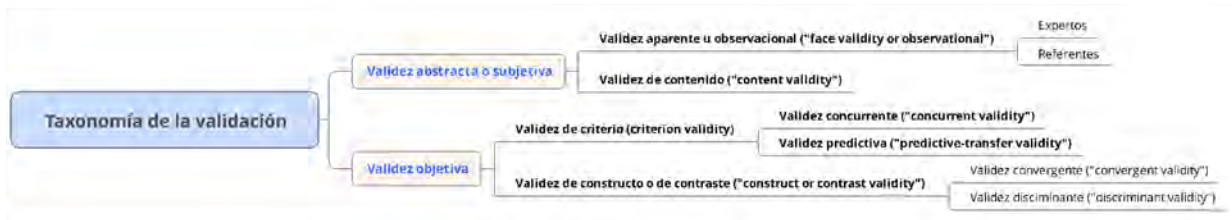
4.2.2 Modelo clásico de la clasificación de los tipos de validez

El modelo de los “*Standards for Educational and Psychological Testing*” de 1974 utilizaba los términos instrumentos válidos y tipos de validez subjetiva y objetiva (American Psychological Association et al., 1974).

El concepto más tradicional de validez se basaba en el contenido de la prueba y se describía como validez de contenido la cual mide si un simulador enseña o evalúa lo que intenta enseñar o evaluar (Sireci & Faulkner-Bond, 2014; McDougall, 2007). Era, por tanto, un concepto estadístico sobre qué tan bien una prueba podía predecir o estimar los puntajes del criterio (“*criterion scores*”) (Shaw & Crisp, 2001).

La Figura 12 representa la taxonomía clásica de los “tipos de validez”.

Figura 12.
Taxonomía del modelo clásico de validez



(McDougall, 2007; Munro, 2012; Van Nortwick et al., 2010).

- **Validez abstracta o subjetiva.** La validación subjetiva recurre a la opinión de los expertos o del grupo referente (aprendices) que han utilizado el simulador y que responden un cuestionario que busca valorar la experiencia (Papanikolaou, 2013). Se divide en validez de apariencia u observacional (“face validity”) y validez de contenido (“content validity”).
 - **Validez de apariencia u observacional (“face validity” u “observational validity”).** Evalúa hasta qué punto la prueba refleja la situación de la vida real o si el simulador representa

lo que se supone que representa (el realismo del simulador), o ¿la tarea en el simulador representa lo que pretende representar? (Schijven & Jakimowicz, 2002; Wanzel et al., 2002; Gallagher, Ritter, et al., 2003; Karaliotas, 2011). Se usa en las fases iniciales de la construcción de la prueba y se basa en la evaluación informal por expertos y no expertos (referentes) (Aydin, Raison, et al., 2016; Ayodeji et al., 2007; Schijven & Jakimowicz, 2005). Algunos, sin embargo, opinan que solo debe ser valorada por expertos (Korndorffer, véase carta en anexo 7) (Korndorffer, Kasten, et al., 2010). En el DBR, la validez de apariencia retroalimenta el proceso iterativo de diseño que permite lograr el prototipo “*good enough*” (Bajka et al., 2009) y permite conocer el grado de aceptación de la herramienta por sus usuarios (Browne, 2000; Sweet et al., 2010).

La polémica sobre la validez de apariencia (“face validity”). De acuerdo con los teóricos de la validación no existe la “*face validity*” (Mosier, 1947; Korndorffer, Kasten, et al., 2010). Los artículos sobre simulación en cirugía que pretenden realizar “*face validity*” se basan en otros artículos escritos por cirujanos y en artículos escritos por expertos en validación en educación (Royal, 2016). Se le considera una validez que se asume, basada en el sentido común y en la apariencia. (“*look and feel*”) y por tanto es el argumento más débil para interpretar la validez. Incluso, se ha llamado “validez basada en la fe”. Por tanto, la “*face validity*” no puede ser usada para refutar o defender la interpretación de los puntajes propuestos. Si bien la apariencia del instrumento de evaluación puede ser una característica importante y esencial con respecto a las cualidades superficiales que hacen que la prueba parezca medir el constructo deseado, no debe ser considerada como validez (Downing & Haladyna, 2004; Cook & Beckman, 2006). Por tanto se propone el uso de un nuevo término como “*fidelity to the criterion*” para describirla (Downing, 2006).

La fidelidad en la simulación ha sido mal asumida con la premisa de que a mayor fidelidad, mayor aprendizaje. Sin embargo, el concepto de fidelidad es multifactorial y los requerimientos en el grado de fidelidad de la herramienta de aprendizaje varían de acuerdo con el contexto de aprendizaje; esto ha sido demostrado ampliamente por la simulación en la aviación y la práctica militar (Kozlowski & DeShon, 2004; Seymour &

Røtnes, 2006; Noble, 2002; Park & Witzke, 2002). Puede ser práctico aplicar dos dimensiones al término: *fidelidad estructural* que se refiere a lo que el simulador parece o la relación entre la estructura de la evaluación con la estructura del dominio (Messick, 1995a) y la *fidelidad funcional* que se refiere a lo que el simulador hace. La alta fidelidad estructural no va ligada necesariamente a un mejor aprendizaje. De hecho, para los aprendices novatos, niveles bajos de fidelidad reducen los requerimientos tecnológicos y los costos de la herramienta de simulación sin comprometer los logros educativos ni la transferencia del aprendizaje (Kneebone, 2005). En los aprendices novatos, la fidelidad estructural alta puede ser distractora lo cual se explica por el modelo de capacidad cognitiva (mayor carga cognitiva) (Van Merriënboer & Sweller, 2010). Por su parte, la fidelidad funcional se refiere a la fidelidad del escenario de simulación con respecto a las tareas clínicas o a las destrezas psicomotoras. De esta manera, un simulador con baja fidelidad estructural pero con alta fidelidad funcional puede tener mejor eficacia en el aprendizaje (Matsumoto et al., 2002; Hamstra et al., 2014; Issenberg et al., 1999).

Una gran cantidad de publicaciones recientes sobre la validez de simuladores se basa en el modelo tradicional. Los autores atribuyen este fenómeno a una falta de conocimiento y no de entendimiento (Noureldin et al., 2018).

En el Anexo 8 la Tabla 25 muestra los resultados de una consulta realizada en PubMed con los términos "*face and validity*" entre enero de 2018 y junio de 2019. Se identificaron 53 publicaciones que utilizan en su título la palabra *face validity*. De ellas, 31 (58,4%) fueron en revistas clasificadas como Q1 y 8 (15%) como Q2. Las publicaciones abarcaron múltiples áreas de conocimiento en Ciencias de la Salud incluidas Medicina General (5), Psiquiatría (4), Psicología (3), Salud Pública (3). 19 (35,8%) de las publicaciones tuvieron que ver con simulación en cirugía y 9 (47,3%) de estos con simulación en MIS y 6 fueron publicados en revistas Q1.

- *Validez de contenido ("Content validity")*: Se trata de la representación del instrumento del contenido de un constructo dado (Vitari & Ravarini, 2007). Juzga qué tan apropiado es el

simulador como una modalidad de enseñanza o cómo una herramienta para entrenamiento en el dominio que intenta medir e implica una evaluación formal por expertos de todos los ítems de la prueba. La pregunta es: ¿el simulador enseña de manera real lo que debe enseñar? (Noureldin et al., 2018; Cook & Hatala, 2016; Wanzel et al., 2002; Moorthy et al., 2003; Gallagher, Ritter, et al., 2003; McDougall, 2007; Aydin, Raison, et al., 2016). Este tipo de validez es subjetiva y no requiere evaluación empírica. Desde el punto de vista del DBR, es recomendable su uso, pero no necesario en especial durante la fase de diseño de un prototipo “*good enough*” (Straub et al., 2004; Munro, 2012). La validez de contenido puede lograrse mediante la revisión de la literatura, la evaluación de expertos, tasas de validez de contenido y por “*Q sorting*”.

- *Validez objetiva*. La validez objetiva es más compleja, su proceso requiere más tiempo y no está influida por emociones o prejuicios personales. Implica realizar experimentos para establecer si el simulador puede discriminar entre diferentes niveles de experticia o que evalúan la transferencia de las habilidades aprendidas en el paciente real (Papanikolaou, 2013). La validez objetiva se divide en validez de criterio y en validez constructo o de contraste.
 - *Validez de criterio (“criterion validity”)*: compara los resultados de la evaluación del nuevo simulador con los de la técnica antigua o con otras medidas de desempeño ya avaladas (Brualdi, 1999). Se puede dividir en validez concurrente y validez predictiva (McDougall, 2007).
 - ◆ *Validez concurrente (“concurrent validity”, o “correlational validity”)*: Esta evaluación busca descubrir hasta qué punto el simulador se correlaciona con el “*gold standard*” o “*true criterion score*” para el dominio que ya ha sido validado. Se obtiene evaluando un grupo de sujetos con el simulador y luego en un escenario con cadáveres, animales vivos o cajas de simulación (“*video trainers*”) para comparar los puntajes de desempeño con este patrón de oro “*gold standard*” (Martin et al., 1997; McDougall, 2007; Munro, 2012).
 - ◆ *Validez predictiva o de transferencia (“predictive” o “transfer validity”)*: muestra hasta qué punto el simulador predice el desempeño futuro (Moorthy et al., 2003; Carter et

al., 2005). Los puntajes de desempeño medidos en el simulador predecirán el nivel de habilidades en el acto operatorio real (McDougall, 2007). En el DBR, este tipo de validez se usa cada vez con mayor frecuencia (Straub et al., 2004). Este tipo de estudios requiere una logística compleja, consumen tiempo y son de alto costo.

- *Validez de constructo o de contraste ("construct" o "contrast validity")*: evalúa si los conceptos encajan en las definiciones operacionales (Kleinert et al., 2015). En el área que nos ocupa, el simulador debe ser capaz de diferenciar entre el cirujano experto, el cirujano no experimentado y el novato (referente) (Wignall et al., 2008; McDougall, 2007; Aydin, Raison, et al., 2016; Fried & Feldman, 2008; Moorthy et al., 2003; Carter et al., 2005; Gallagher, Ritter, et al., 2003). Hay dos categorías de la validez de constructo: validez convergente (Berkenstadt et al., 2006; Browne, 2000) y validez discriminante (Broe et al., 2006; Straub et al., 2004; Gallagher, Ritter, et al., 2003).

4.2.3 El concepto de validez de acuerdo con los "Standards for Educational and Psychological Testing 2014"

Los "*Standards for Educational and Psychological Testing*" de 2014 definen la validez como:

Validity refers to the degree to which evidence and theory support the interpretations of test scores for proposed uses of tests. Validity is, therefore, the most fundamental consideration in developing tests and evaluating tests. The process of validation involves accumulating relevant evidence to provide a sound scientific basis for the proposed score interpretations. It is the interpretations of test scores for proposed uses that are evaluated, not the test itself³ (American Educational Research Association et al., 2014, p, 11).

³ Validez se refiere al grado con el cual la evidencia y la teoría apoyan las interpretaciones de los puntajes de las pruebas para los usos propuestos para ellas. El proceso de validación implica acumular evidencia levante para proporcionar una base científica sólida para las interpretaciones de los puntajes propuestos. Son las interpretaciones de los puntajes de las pruebas para los usos propuestos las que se evalúan, no la prueba en sí.

La validez es un proceso que trata sobre las decisiones que se toman a partir de la interpretación apropiada de los puntajes derivados de los métodos de evaluación como ocurre con la métrica de un simulador. Está en función de lo que se pretende medir (el constructo), de lo que se pretende medir (el contexto y la herramienta) y cómo se usan esos datos para tomar decisiones. La validez no es una característica de la herramienta de evaluación ni es una característica de los puntajes derivados de la herramienta. La validez es una característica de los juicios hechos con base en los puntajes de un constructo específico y constituye un argumento basado en la evidencia sobre lo fidedigno de una decisión tomada con base en los datos de desempeño recolectados en un contexto específico. Entonces, decir que un instrumento de evaluación es “válido” o que ha sido “validado” solo es cierto de manera estricta en el contexto de los aprendices, el contexto del desempeño, el dominio del contenido y el rigor de las decisiones y sus consecuencias tomadas a partir de los datos de la evaluación (Andreatta & Gruppen, 2009). Por tanto, la simulación no se refiere a si el simulador es válido o no y por tanto la validez no es una propiedad del método de evaluación (M. Goldenberg & Lee, 2018). En el modelo que enfatiza que lo que se valida es el simulador, la validez se basa solo en la métrica que muestra diferencias, mientras que descarta la métrica que no logra dicho objetivo (Svendsen et al., 2014). En el nuevo modelo, en vez de identificar cuál métrica es relevante al constructo, o cuál contenido es significativo, se evalúan todas las métricas y luego se seleccionan las que muestran resultados significativos para aceptar la “validez del constructo” del simulador (Korndorffer, Kasten, et al., 2010).

La nueva definición considera la validez como una “hipótesis”, pues debe recolectarse evidencia que permita aceptarla o refutarla. Esta evidencia se requiere para cada uso del simulador. Así, pues, la evidencia de validez es única para una población dada que es evaluada y por tanto la evidencia de validación para un simulador que se usó para evaluar estudiantes de Medicina no necesariamente será aplicable cuando se use para la certificación de cirujanos. Por otra parte, la evidencia de la validez también debe ser considerada en el contexto en el que se usarán dichos resultados. La evidencia para evaluaciones formativas (Abdallah & Wegerif, 2014) es diferente a la requerida para las evaluaciones sumativas. El proceso de simulación es una

responsabilidad de los desarrolladores y de los usuarios del simulador. Los desarrolladores deben proporcionar evidencia relevante que apoye las interpretaciones de los puntajes de la prueba para el uso particular. Por su parte, los usuarios deben evaluar la evidencia en el ámbito específico en el cual se desarrollará la prueba (Noureldin et al., 2018). La evidencia de validez se obtiene para apoyar o refutar la hipótesis de que los puntajes de la prueba o del simulador se relacionan con un constructo bien definido que, de manera hipotética, debe ser medido por la prueba o el simulador. Por tanto, se debe declarar si hay o no evidencia de validez para un propósito definido (ej. aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS) y para quién (ej. estudiante de pregrado) (Sweet et al., 2010).

Actualmente, toda validez es validez de constructo y se requieren múltiples fuentes de evidencia. La validez de constructo comprende la evidencia y las razones que soportan lo fidedigno de la interpretación de los puntajes en términos de conceptos aclaratorios tanto para el desempeño de la prueba como para la relación de los puntajes con otras variables. En otros términos, la validez de constructo es la evidencia básica para interpretar los puntajes (Messick, 1995b). Los *Standards 2014* identifican cinco fuentes a partir de las cuales se debe buscar la evidencia de validez: *evidencia de contenido* (“*content evidence*”), *evidencia de respuesta al proceso* (“*response processes evidence*”), *evidencia de estructura interna* (“*internal structure evidence*”), *evidencia de relación con otras variables* (“*relation with other variables evidence*”) y *evidencia de las consecuencias* (“*consequences evidence*”) (American Educational Research Association et al., 2014). La Tabla 26 en el Anexo 9 es una guía para usar el marco de fuentes de validez planteado por Messick, lo compara con el modelo tradicional, indica el objetivo de cada evaluación, las técnicas de implementación y ejemplos en la literatura relacionada con la educación médica.

Las evaluaciones no son válidas o inválidas por sí mismas pues los puntajes o desenlaces de las evaluaciones ofrecen más o menos evidencia para apoyar o refutar una interpretación. La validez se debe enfocar como una hipótesis y usa la teoría, la lógica y el método científico para recolectar y organizar los datos para apoyar la interpretación de los puntajes propuestos (Cizek et al., 2008). La validez del constructo es el único tipo de validez porque casi todas las

evaluaciones en las ciencias sociales, incluyendo la educación médica, tienen que ver con constructos que a su vez son colecciones intangibles de conceptos y principios abstractos que son inferidos a partir del comportamiento y explicados por una teoría psicológica o educativa. El logro educativo es un constructo que se infiere a partir del desempeño en la evaluación como un examen escrito o unos ejercicios en un simulador quirúrgico (examen de desempeño). La documentación de las cinco fuentes de evidencia de validez consiste en la recolección y presentación sistemática de la información y de los datos para presentar un argumento convincente que sea razonable y defendible para interpretar los puntajes de la evaluación de acuerdo con el propósito de la medición. Los puntajes tienen poco o ningún significado intrínseco y por tanto la evidencia presentada debe convencer al escéptico de que los puntajes obtenidos por la evaluación pueden ser interpretados de la manera que se ha propuesto. Se deben aportar fuentes de validez a partir de las cinco fuentes, pero no todas se requieren y dependiendo del tipo de evaluación, puede ser necesario prestar más atención a una o más fuentes (Downing, 2003).

La validez es una propiedad de la inferencia, no del instrumento y debe verse como una hipótesis o argumento interpretativo. Debido a que la validez de los puntajes de un instrumento es inseparable del constructo, el primer paso en cualquier evaluación de la validez es la definición clara del constructo (Cook & Beckman, 2006; Ghaderi et al., 2015). De igual manera, el término constructo se refiere al concepto o a las características que una prueba pretende medir.

4.2.4 El concepto de constructo

El primer paso para desarrollar un instrumento es definir el constructo y su contenido correspondiente (representación del constructo). Para tal fin se debe consultar la literatura disponible sobre otros instrumentos disponibles y se debe entrevistar a expertos para identificar los temas o constructos (Cook & Beckman, 2006; Andreatta & Gruppen, 2009). Los límites del constructo deben determinar los conocimientos, las destrezas y otros atributos que deben ser revelados por tareas de evaluación. Entonces, se desarrolla una guía para el desarrollo de las tareas o preguntas individuales.

Un constructo es una entidad teórica, algo que creemos que existe y que puede ser descrito pero que no es posible medir de manera directa y, por tanto, es una colección intangible de conceptos y principios abstractos (Downing, 2003). En nuestro caso, el constructo se define como los conceptos o las características que un simulador debe medir. En cirugía, un constructo genérico son los procedimientos quirúrgicos, que incluyen actividades específicas como las destrezas para realizar suturas, entre las cuales los atributos asociados con el constructo se pueden transferir a diversos contextos (ej. Extracorpórea, intracorpórea, laparoscópica, abierta, etc).

En nuestro caso, el constructo genérico es la MIS que incluye un entorno virtual 3D como requisito esencial y la actividad específica son las destrezas psicomotoras básicas, que a su vez se aplican en seis contextos representados por las tareas específicas. Estas destrezas pueden ser sometidas a mediciones cuantitativas de desempeño.

En la Figura 13 se observa un ejemplo del constructo “destrezas psicomotoras básicas” representado por la evaluación (Andreatta & Gruppen, 2009).

Figura 13.
Constructo representado por la evaluación



4.2.5 Amenazas a la validez o fuentes de invalidez

La validez tiene dos fuentes principales de invalidez: la subrepresentación del constructo y la irrelevancia del constructo.

4.2.5.1 *Sub-representación del constructo*

La sub-representación del constructo se refiere a un submuestreo primario o a un muestreo sesgado del contenido del dominio o a la selección o creación de ítems de evaluación o de indicadores de desempeño que no concuerdan con la definición del constructo. Esto significa que una prueba no logra capturar todos los aspectos del constructo. Por tanto, es muy probable que la prueba no muestre las verdaderas habilidades del estudiante en ese constructo (Brualdi, 1999). Esta es la causa más frecuente de amenaza a la validez (Downing & Haladyna, 2004) y es un error de exclusión (Straub et al., 2004).

Una causa frecuente de subrepresentación del constructo ocurre cuando se usan pocos casos de desempeño para generalizar el dominio o cuando la evaluación es tan estrecha que no incluye dimensiones importantes del constructo (Messick, 1995b). En nuestro caso, cada estudiante sometido a la prueba realizó en cada una de las tareas 10 ejercicios con cada mano, excepto en el ejercicio 3 donde ambas manos fueron dominantes por tanto se realizaron sólo 10 ejercicios en total.

Por motivos técnicos relacionados con el LMC (contexto del constructo), en nuestro caso el constructo “destrezas psicomotoras básicas” tiene una sub-representación cuando se compara con los modelos de aprendizaje basados en cajas de entrenamiento y se refiere a la destreza “corte”. En la Figura 14, el constructo no está completamente representado por la evaluación puesto que no se incluye la destreza básica “corte”; en nuestro modelo ocurre por las limitaciones tecnológicas del LMC.

Figura 14.
Ejemplo de constructo sub-representado por la evaluación



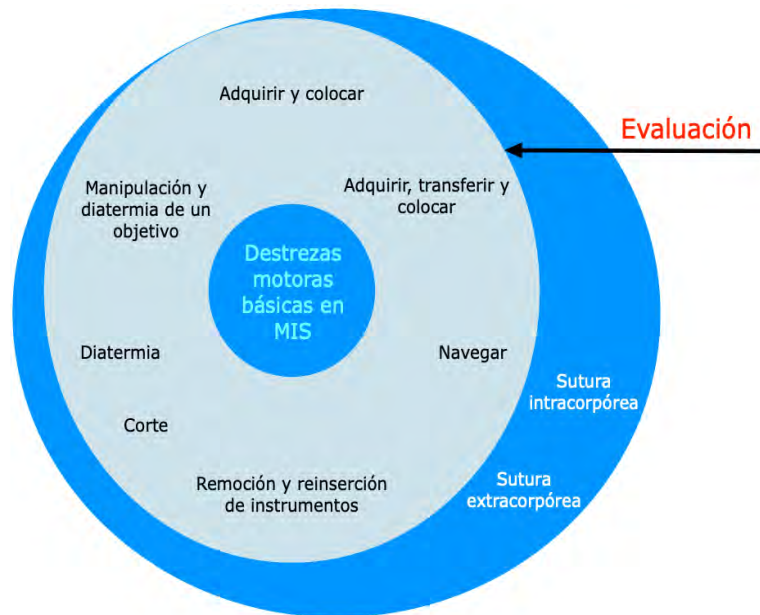
(Andreatta & Gruppen, 2009).

4.2.5.2 Irrelevancia del constructo (sobre-representación o “construct-irrelevant variance”)

La irrelevancia del constructo es un error sistemático de medida (Straub et al., 2004) que se refiere al grado hasta el cual los puntajes de la prueba se ven afectados por procesos o variables extrañas o irrelevantes al propósito de la prueba o constructo que se está midiendo (American Educational Research Association et al., 2014; Downing & Haladyna, 2004). Es decir, la evaluación es tan amplia que contiene ítems de más asociados con constructos diferentes o irrelevantes. Puede ocurrir irrelevancia del constructo por dificultad e irrelevancia del constructo por facilidad (Messick, 1995b). La irrelevancia por dificultad ocurre cuando aspectos extraños de la prueba la hacen difícil de manera irrelevante para algunas personas y por tanto causas puntajes más bajos a los esperados (Figura 15). Y la irrelevancia por facilidad ocurre cuando pistas extrañas en un ítem o en una tarea permite a algunas personas responder de manera correcta sin relevancia para el constructo evaluado y causa puntajes superiores a los esperados (Brualdi, 1999).

En nuestro constructo, no ocurrió este fenómeno puesto que, por ejemplo, la “sutura laparoscópica intracorpórea” y la “sutura laparoscópica extracorpórea” no fueron incluidos (Figura 15).

Figura 15.
Constructo sobre-representado por la evaluación



(Andreatta & Gruppen, 2009).

Durante la realización de encuestas o de evaluación in vivo de dispositivos, pueden ocurrir dos amenazas más: El efecto “*Hawthorne*” ocurre cuando la opinión puede ser influida por la atención que se presta al respondiente durante su desempeño con el simulador, lo cual puede contribuir a que ocurran con mayor probabilidad respuestas o puntajes favorables. Este efecto se puede evitar prestando igual atención a cada uno de los entrevistados (Schijven & Jakimowicz, 2002; Fishman et al., 2004; Hoadley, 2004; Wang & Hannafin, 2005; Kelly, 2004). Por otra parte, el efecto “*Pygmalion*” ocurre cuando el entusiasmo que muestran los desarrolladores o la novedad del dispositivo afecta la opinión de los entrevistados. El grupo referente está más predispuesto a este efecto (Schijven & Jakimowicz, 2002; Ayodeji et al., 2007).

Una última amenaza a la validación se refiere a la confusión (asociación no implica causalidad) y se aplica a los estudios de comparación de grupos conocidos (expertos versus novatos) que buscan proporcionar evidencia con respecto a la relación con otras variables. Los estudios clásicos han comparado el desempeño de los expertos con el de los novatos con la hipótesis de que los

primeros lo harán mejor. Sin embargo, se dan múltiples explicaciones posibles para las diferencias observadas. En la validez del constructo clásica, la ausencia de diferencia es una falencia grave para el argumento de validez, pero su presencia agrega poco. Por tanto, la discriminación entre los grupos será necesaria, pero nunca suficiente para apoyar la validación de los puntajes. Sin embargo, realizar este tipo de estudios como evidencia de validez no es un error en sí mismo (Cook, 2015).

Capítulo 5 Resultados y discusión

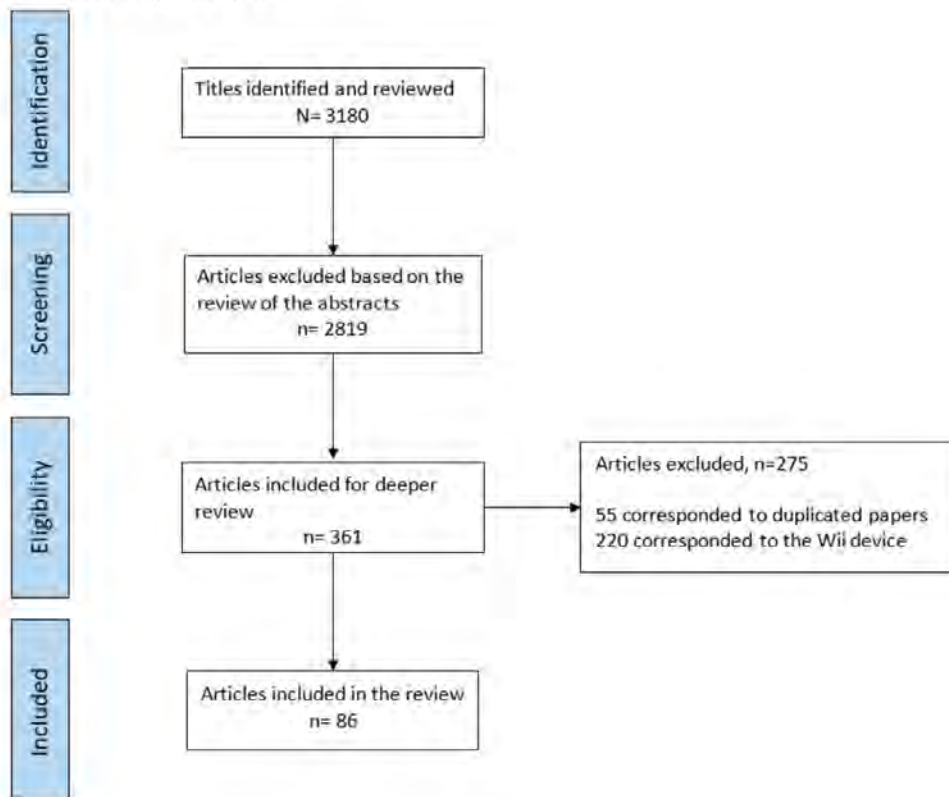
5.1 Revisión sistemática de la literatura sobre el uso de COTs mediados por gestos en cirugía y en simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS

Use of commercial off-the-shelf devices for detection of manual gestures in surgery. A Systematic Literature Review” (Alvarez-Lopez et al., 2019).

La Figura 16 muestra el diagrama de flujo del proceso de selección de los 86 artículos que cumplieron los criterios de inclusión para ser incluidos en la revisión.

Figura 16. Diagrama de flujo de selección de los artículos en la revisión sistemática de la literatura

Flow diagram of studies through the review.



Fuente: (Moher et al., 2009).

De los 86 artículos identificados, 43 (50%) correspondieron al Microsoft Kinect, 36% al LMC, 2 compararon al Microsoft Kinect™ con el LMC, uno comparó al LMC con el Myo armband y otro comparó al Microsoft Kinect™ con el LMC y el Myo armband. 6 de los artículos se refirieron a cámaras web, de video o comerciales (7%) y 2 revisaron la interacción con gestos en general. Los resultados del artículo se organizaron por el tipo de COTS utilizado, por el tipo de especialidad quirúrgica en el cual se utilizó el dispositivo y por el tipo de uso que se le dio a los COTS en cirugía, incluyendo la simulación y el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS. Los resultados se resumieron a manera de tablas que pueden ser consultadas en el artículo original.

En el 78% de los artículos, el propósito fue desarrollar, crear, presentar, describir, proponer,

examinar o explorar un dispositivo COTS basado en gestos en el campo de la cirugía. La mayoría de los artículos identificados en la revisión sistemática de la literatura fueron pruebas de concepto, prueba de un prototipo por el usuario o estudios de factibilidad. Se identificaron cinco estudios etnográficos cuyo propósito fue identificar las interacciones entre el personal y los sistemas COTS basados en gestos en servicios de radiología intervencionista o en el quirófano. Cuatro estudios pretendieron comparar el desempeño del Microsoft Kinect™ con el del mouse convencional. Un estudio comparó el desempeño del LMC con el del mouse. 10 estudios evaluaron la validez de apariencia ("*face validity*"), de contenido, de constructo o concurrente de los dispositivos. Siete estudios fueron de tipo experimental, uno describió una patente para el uso del LMC y se encontró un estudio de confiabilidad inter evaluador. Otro estudio fue de tipo prospectivo, ciego cuasi-experimental con estudio de confiabilidad test-retest. Solo hubo dos estudios de tipo aleatorio y controlado.

Aproximadamente el 30% de los artículos no describieron el tipo de métrica usada y en el 27% se usó el tiempo. Los demás artículos usaron como métrica el porcentaje de desempeño, el porcentaje de reconocimiento de los gestos, la exactitud o la velocidad de reconocimiento de los mismos, las medidas de volumen o de distancia o los cuestionarios o entrevistas sobre la valoración de la experiencia. El 17.4% de los artículos no describieron la muestra usada.

En el 48% de los artículos, la intervención más frecuente fue la manipulación de imágenes médicas en radiología general, ultrasonografía, radiología intervencionista, angiografía, tomografía computada, resonancia magnética y elastografía ya fuera en el quirófano, el consultorio odontológico en servicios de radiología intervencionista.

Con respecto al tema del uso de COTS mediados por gestos como herramienta de simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS, en el año 2013, se describió el seguimiento de instrumental laparoscópico con uso de cámaras web con resultados alentadores. A partir del año 2016, algunos autores comenzaron a describir el uso de COTS como el LMC y el Microsoft Kinect™ para hacer seguimiento de los movimientos del instrumental para MIS. En el año 2017, Lahanas et al. (2017) describieron un simulador portátil y de bajo costo usando el LMC mediante

el seguimiento de instrumentos y presentaron un estudio de validez de apariencia y de contraste. Wright et al., por su parte (2017) describieron un simulador en neurocirugía para el aprendizaje de la ventriculostomía del tercer ventrículo y también fue descrito un sistema que usaba el Oculus Rift™ y el LMC para manipular imágenes 3D en neurocirugía. Otros autores han utilizado el enfoque del seguimiento del movimiento de las manos durante el entrenamiento de destrezas psicomotoras en MIS. Un estudio exploró el uso del LMC para evaluar la destreza manual para realizar nudos quirúrgicos en cirugía abierta.

Otro campo interesante en cirugía es el uso de la tecnología de reconocimiento de gestos para la asistencia y la planificación quirúrgica. Se identificó un artículo que comparó tres interfaces (Microsoft Kinect™, LMC y el Myo armband™) en combinación con control de voz para realizar dos hepatectomías y 2 nefrectomías parciales en un modelo porcino. Este estudio, de la misma forma que otros, usó reconstrucciones 3D de las imágenes preoperatorias para ser manipuladas por gestos durante el acto quirúrgico.

5.2 Uso de un simulador portátil y de bajo costo de realidad virtual 3D mediado por gestos para el entrenamiento y el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en cirugía mínimamente invasiva: desarrollo y estudio de validez de contenido

“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” (Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020).

5.2.1 Desarrollo del SIMISGEST-VR

5.2.1.1 *El entorno virtual*

El entorno virtual desarrollado comprende los siguientes módulos: registro (captura la información demográfica del usuario), tutorial (videos de los ejercicios), tareas (Tabla 16), gráficas

de desempeño (Figura 21). Con respecto a las gráficas de desempeño, una vez termina un ejercicio, la plataforma muestra los resultados de la métrica del ejercicio en el tiempo tomado para realizar el ejercicio, precisión del movimiento y la presencia o ausencia de errores. Así, se realiza una retroalimentación inmediata (Figura 20). El estudiante también puede consultar el puntaje final obtenido luego de cada ejercicio y verificar de esta manera si su desempeño ha mejorado o no.

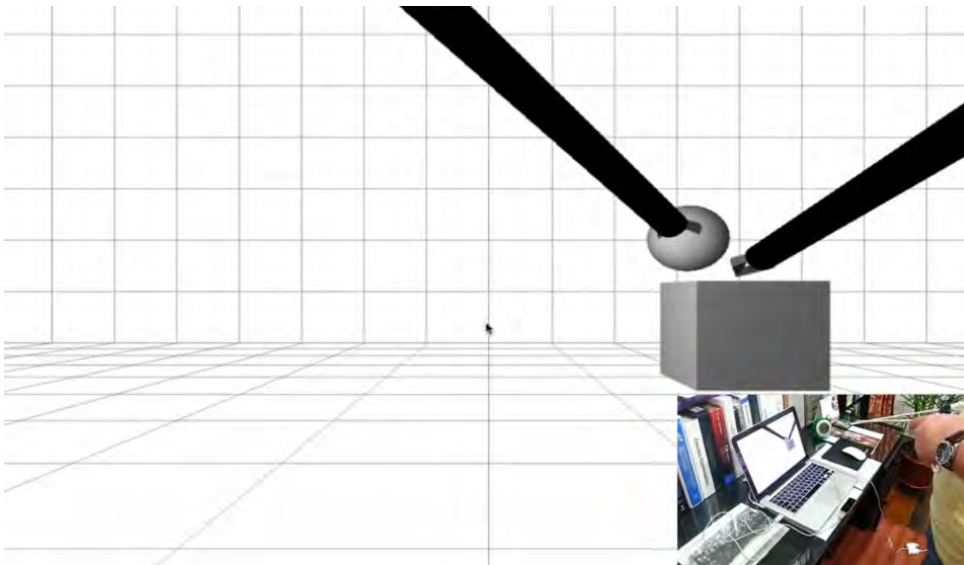
La plataforma virtual corre en plataforma PC e iOS.

Las tareas se diseñaron con base en la estrategia instruccional denominada “*drill and practice*” que promueve la adquisición de conocimiento o destrezas mediante la práctica repetida (Sullivan et al., 2008).

Las Figuras 17, 18 y 19 muestran varios estadios en el desarrollo del prototipo del entorno virtual 3D con las 6 tareas (Tabla 16). Como con el desarrollo de los elementos de hardware, el proceso de desarrollo del entorno virtual fue iterativo, de tal manera que cada nueva versión del entorno virtual 3D se acercó cada vez más a la versión considerada “*good enough*” en relación con el diseño y la función. En esta etapa del desarrollo fue crucial el aporte de los expertos consultados durante el estudio de validez de contenido.

La Figura 17 muestra el intento inicial de la interacción entre las pinzas y el entorno virtual 3D básico. En esta fase del diseño, logramos la “captura” de objetos virtuales por la punta de los instrumentos y su transferencia a un contenedor virtual. En una segunda etapa del desarrollo, se logró el desarrollo de las tareas en el entorno virtual que se caracterizaba por formas geométricas rectangulares (Figura 18). En este estadio, aún no se había desarrollado la métrica, aunque ya se había logrado la retroalimentación concurrente basada en señales auditivas, cambios de color y la sensación de colisión. La Figura 19 muestra el resultado final “*good enough*” del entorno virtual 3D. Basados en la retroalimentación proporcionada por los cirujanos expertos que participaron en el estudio de evaluación de fidelidad al constructo y de validez de contenido, se rediseñó el entorno virtual sin formas geométricas rectangulares, puesto que las formas circulares abstractas se asemejan más a la visión de las cavidades corporales durante el procedimiento de MIS.

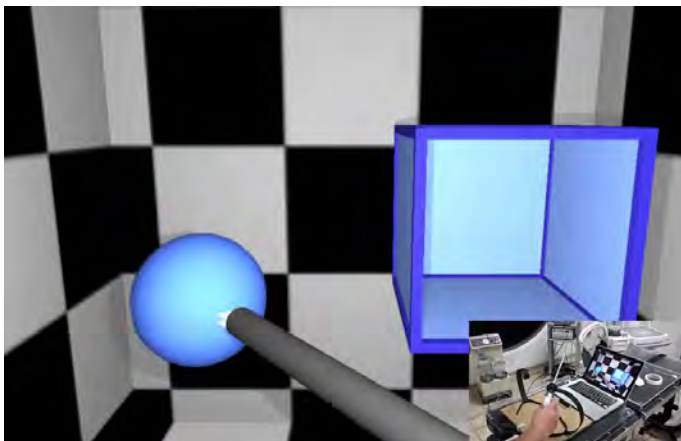
Figura 17. Intentos iniciales de interacción entre las pinzas de laparoscopia y el LMC dentro de un entorno virtual 3D básico



(Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020).

En la fase inicial del desarrollo del entorno de realidad virtual, se logró la interacción entre las pinzas de laparoscopia y los elementos del entorno.

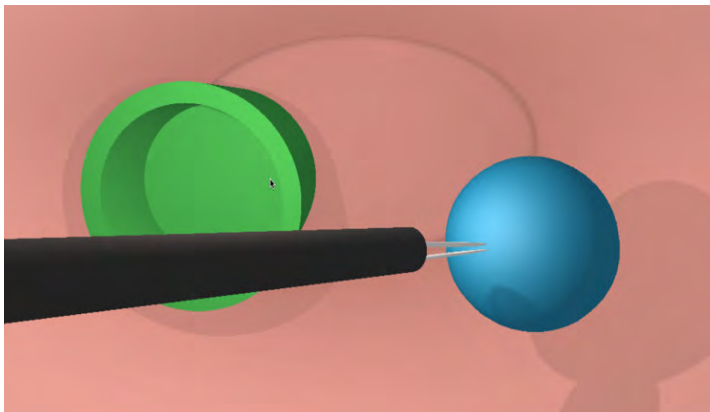
Figura 18. Primera versión funcional del entorno virtual antes de la retroalimentación proporcionada por los cirujanos expertos en MIS que valoraron la fidelidad al criterio y la validez de contenido



Fuente: Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió (2020).

La primera versión funcional del entorno virtual desarrolló las seis tareas. Nótese que algunos elementos del entorno son cuadrados o cubos.

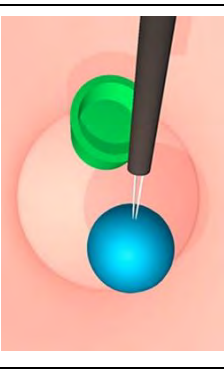

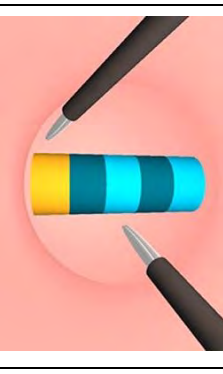

Figura 19. Prototipo “good enough” del entorno virtual 3D, tarea 1



Fuente: Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió (2020).

La retroalimentación proporcionada por los expertos durante el estudio de validez de contenido nos hizo rediseñar el entorno con curvas suaves sin cuadrados, lo cual es más compatible con la anatomía humana.

Tabla 16. Descripción de las tareas, su equivalente quirúrgico y el objetivo de aprendizaje

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

<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>	

Adaptado de (Sutton et al., 1997)

Excepto por el ejercicio 3, todas las tareas tienen la opción de configurar la mano dominante. El ejercicio 3 requiere el uso simultáneo de ambas manos y por tanto ambas tienen un papel dominante. Dada su dificultad, este ejercicio se realizó en todos los casos en último lugar

5.2.1.1.1 La métrica

La métrica se estructuró en cinco parámetros:

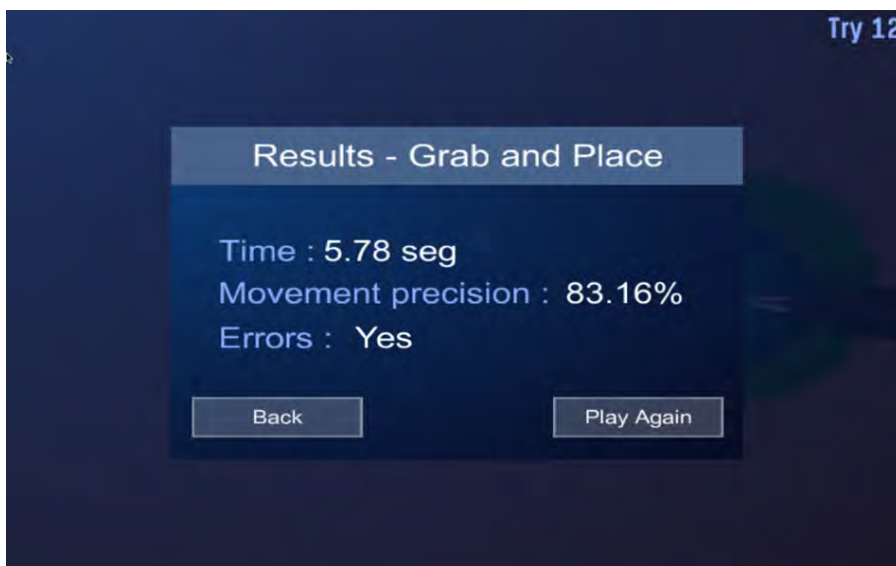
1. *Tiempo*: desde el comienzo hasta el final de cada ejercicio. El tiempo se consideró solo para cada ejercicio de manera individual.
2. *Eficiencia de los movimientos con la mano derecha y la mano izquierda*: tiempo durante el cual la punta de la pinza está por fuera del recorrido ideal, es decir la diferencia entre el recorrido actual y el recorrido ideal.
3. *Economía de la diatermia*: si ocurre un contacto mayor de 2 segundos con el objetivo durante la diatermia, se consideró exceso de diatermia y por tanto se penaliza como un error.
4. *Errores*:
 - 4.1. Contacto con el objetivo con una parte de la pinza diferente a su punta. Aplica a todos los ejercicios.
 - 4.2. Contacto del instrumento con los límites del espacio virtual de trabajo. Aplica a todos los ejercicios.
 - 4.3. Número de contactos del instrumento con la esfera objetivo: ejercicios 1 y 2.
 - 4.4. Número de contactos del instrumento o de la esfera con los márgenes del continente: ejercicios 1 y 2.
 - 4.5. Número de veces que los instrumentos se contactan entre ellos: ejercicios 3 y 4.
 - 4.6. Número de veces que el instrumento excede el número de contactos permitidos con el óvalo: ejercicio 4.
 - 4.7. Tiempo durante el cual la punta de la pinza permanece por fuera del recorrido ideal durante el ejercicio: ejercicios 1, 2, 4 y 6.
 - 4.8. Diatermia de la esfera por fuera de los objetivos señalados: ejercicios 5 y 6.
 - 4.9. Exceso de diatermia. Ejercicios 5 y 6.

5. *Puntaje final*: el puntaje final se obtuvo como resultado de la suma de resultados de la eficiencia del movimientos con cada mano, más la economía de la diatermia y los errores cometidos. A cada error se le asignó un valor entre 1 y 5, donde 1 es el menos importante y 5 el más relevante. El número de errores en cada ejercicio se multiplica por el valor asignado. Se desarrolló una fórmula para determinar el puntaje final (véase artículo original). Un puntaje más alto significa mejor desempeño.

5.2.1.1.2 Retroalimentación

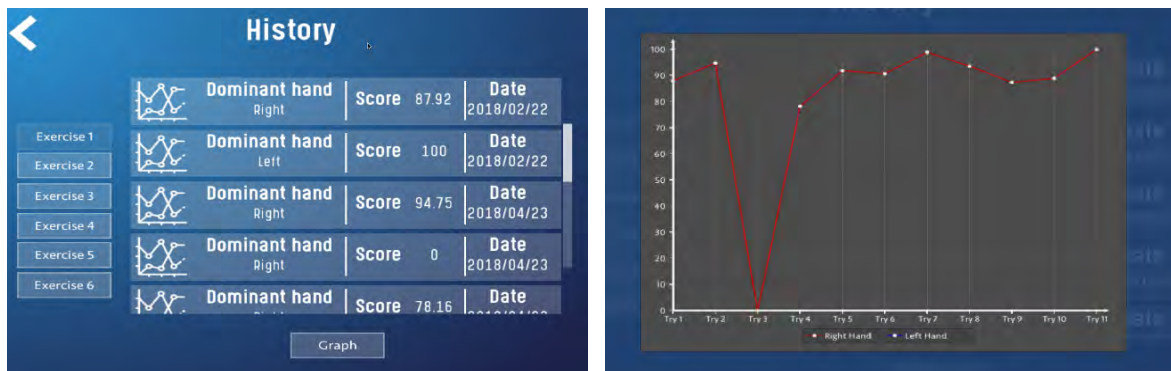
La sensación táctil y la retroalimentación concurrente se simuló mediante señales sonoras, cambios de color en los objetos y el movimiento del objeto cuando ocurre una colisión indeseada entre los componentes del entorno o cuando ocurre un error. Al final de cada ejercicio, el sistema proporciona información sobre los errores, la eficacia, la eficiencia y el tiempo requerido para realizar el ejercicio (retroalimentación inmediata) (Figura 20). Luego, al final de cada sesión de entrenamiento el sistema proporciona gráficas y tablas que muestran el desempeño en el tiempo; esta es la retroalimentación terminal (Figura 21).

Figura 20. Retroalimentación inmediata



Fuente: Alvarez-López, Maina & Saigí-Rubió (2020).

Figura 21. Historia del desempeño y curva de retroalimentación terminal



a. Historia del desempeño

b. Curva de retroalimentación terminal

Fuente: Alvarez-López, Maina & Saigí-Rubió (2020).

5.2.1.1.3 Motor de base de datos SQLite

Los datos originados por el programa se almacenaban originalmente en un motor de una base de datos independiente. Sin embargo, a lo largo del desarrollo, esta base de datos se integró al programa del entorno virtual, lo cual facilitó adquirir los datos demográficos de los usuarios, el registro de los datos generados por la métrica y la generación de los reportes. Esta información se almacena en la computadora en la cual se realiza la prueba.

5.2.1.2 Hardware

Se usaron dos pinzas de laparoscopia que no requieren ser funcionales. En la fase inicial del desarrollo, se usó un prototipo sin dispositivos de soporte (Figura 22), pero pronto se encontró que no se estaba reproduciendo el efecto *fulcrum*. Por esta razón, se diseñaron dispositivos de soporte para las pinzas que simularon los puertos de entrada al abdomen (Figura 23). Estos dispositivos producen fricción al entrar o remover las pinzas y limitan el movimiento de las manos tal como ocurre en un procedimiento quirúrgico real. Durante el proceso de diseño de estos dispositivos, se priorizaron principios como la no interferencia con la lectura de las pinzas por el LMC, la portabilidad y el bajo costo. Se diseñó un soporte para los dispositivos y otro para el LMC

con una inclinación de 45 grados con respecto al plano horizontal para mejorar la captación del movimiento de las pinzas.

Figura 22. Versión inicial del prototipo sin dispositivos de soporte para las pinzas. En esta versión no se podía simular el efecto “*fulcrum*”



Fuente: Alvarez-López, Maina & Saigí-Rubió (2020).

Figura 23. Versión final del simulador una vez se agregaron los dispositivos de *hardware* sin componentes electrónicos: la base y los dispositivos de soporte para las pinzas y para el LMC



Fuente: Alvarez-López, Maina & Saigí-Rubió (2020).

La versión final *good-enough* del simulador con todos los componentes del hardware y software.

El artefacto final con todos sus componentes ensamblados se muestra en la Figura 24. Allí se indica la almohadilla de fijación (1) para el LMC y los dispositivos de soporte (3) para las pinzas de laparoscopia (2), lo cual permite simular el efecto *fulcrum*. El LMC (4) es responsable de detectar el movimiento del instrumental. El computador que contiene los programas de software que administran el entorno virtual y la métrica y proporciona la retroalimentación y el puntaje final de desempeño en la pantalla (5) donde se muestra el entorno virtual 3D.

Figura 24. Diagrama del artefacto

1. Support pad:

- Length: 35 cm
- Width: 25 cm
- Height: 1.5 cm

2. Forceps of MIS:

- Length of the stem: 33 cm

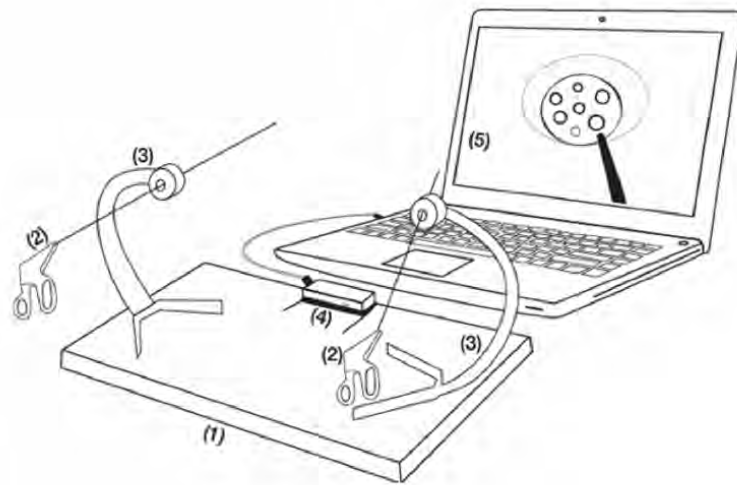
3. Forceps support device:

- Height: 22.5 cm
- Distance between the top of the devices: 16.5 cm

4. Leap Motion Controller™:

- Length: 8 cm
- Width: 3 cm
- Height: 12 mm

5. Virtual environment



Fuente: Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió (2020).

En la Figura 24 (4), el LMC tiene una inclinación de 45 grados hacia la pantalla con respecto al plano horizontal. Esta disposición fue el resultado de un proceso de ensayo y error que demostró que colocando al LMC en este ángulo mejora de manera significativa la detección de las pinzas. Otro cambio significativo durante el diseño fue descubrir que el color negro original de las pinzas dificultaba la lectura por el LMC (Oropesa et al., 2016), y por esta razón, se pintaron de blanco en el prototipo final (Figura 23).

Los cambios que se muestran en la Tabla 17 indican los pasos en el proceso descrito por Manson (2006; Dresch *et al.*, 2015), pues, durante el desarrollo del artefacto (*“instantiation”*), en un proceso iterativo de deducción y circunscripción, se detectan errores en el diseño o en la función del prototipo que requieren desarrollar nuevas versiones hasta alcanzar un modelo *“good enough”* funcional (Hevner & Chatterjee, 2010). Finalmente, se desarrollaron seis tareas con su respectiva métrica y retroalimentación de tipo concurrente, inmediata y terminal.

Tabla 17. Proceso de obtención de un prototipo “good enough”

Elemento	Prototipo inicial	Problema	Forma lógica utilizada	Prototipo funcional “good enough”	Resultado final
		Obtener un artefacto tipo “instantiation” (sistema prototipo o interfaz hombre/computadora), simulador de realidad virtual mediado por gestos para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS.	Principios del DBR. Deducción: se partió de los modelos identificados para obtener un artefacto.	“Instantiation”: un simulador de realidad virtual mediado por gestos, portátil y de bajo costo	SIMIGEST VR “Simulator in MIS mediated by Gestures of Virtual Reality” (Figuras 23 y 24)
Pinzas de MIS	Las pinzas son de color negro	Dificultades en la detección de las pinzas por el LMC.	Abducción. Circunscrición. Heurística.	La pinza de laparoscopia se pinta de blanco.	Mejoría notable en la detección de las pinzas por el LMC.
Dispositivos de soporte	Sin dispositivos de soporte.	No se reproduce el efecto <i>fulcrum</i> .	Abducción. Circunscrición. Heurística.	Diseño de los dispositivos de soporte (Figuras 23 y 24)	Reproducción del efecto <i>fulcrum</i> .
Base de soporte para los dispositivos físicos	No se tiene base de soporte.	Los componentes del hardware (LMC, dispositivos de soporte) son independientes y no hay una disposición estándar.	Abducción. Circunscrición. Heurística.	Integración estándar de las piezas en la base de soporte (Figuras 23 y 24)	Estabilidad física del modelo.
Posición del LMC	Horizontal, 90° con respecto a la pantalla.	Dificultades para la detección de las pinzas por el LMC	Abducción. Circunscrición. Heurística.	Se aplica un ángulo de 45° hacia la pantalla (Figuras 23 y 24).	Se elimina la interferencia al detectar las pinzas por el LMC.
Prueba de interacción entre objetos virtuales y las pinzas de MIS (Figura 18)	Pruebas de interacción entre las pinzas y los objetos en el entorno virtual.	Dificultades en la interacción entre las pinzas y los objetos en el entorno virtual.	Abducción. Circunscrición. Heurística.	Pruebas de ensayo y error sobre la interacción modificando las variables del LMC y del instrumental.	Se consigue la interacción completa.
Primera versión funcional del entorno virtual 3D (Figura 18)	Entorno funcional en las 6 tareas	Formas cuadrangulares en el entorno.	Abducción. Circunscrición. Heurística.	Formas circulares en el entorno virtual. “Good enough” t (Figura 19).	Entorno virtual 3D abstracto con formas circulares.

Base de datos	El motor de base de datos SQL no está integrado al software de simulación.	Se instala un programa de software adicional al programa de simulación.	----	Se rediseña el modelo de captura y almacenamiento de los datos capturados	La retroalimentación y la métrica se integran completamente al SQLite. Integración del motor SQL de la base de datos al software de simulación.
---------------	--	---	------	---	---

5.2.2 Evaluación de la fidelidad al criterio del SIMISGEST-VR

La encuesta de evaluación de la fidelidad al criterio (Anexo 10, Tabla 27) de los componentes de software (entorno virtual 3D) y de hardware (componentes sólidos no electrónicos) del simulador SIMISGEST-VR mostró (Anexo 10, tabla 27):

Las Tablas 18 y 19 muestran que no hubo diferencias significativas en las calificaciones asignadas cuando se consideró el nivel de entrenamiento (Tabla 18) o el nivel de experiencia (Tabla 19), con excepción del ejercicio 6 en el que se asignó un menor puntaje a los aprendices con menor nivel de entrenamiento y de experiencia.

Con respecto a la fidelidad al criterio, ninguno de los encuestados estuvo completamente en desacuerdo con ninguno de los ítems. Un participante calificó como “*disagree*” la pregunta con respecto a la relevancia y otro a la evaluación de cómo los movimientos de los instrumentos físicos se representaron en el entorno virtual; tres asignaron este puntaje cuando se evaluó el efecto “*fulcrum*”.

En lo concerniente a la facilidad de uso, 73,3% asignaron un puntaje de 5, y 26.7% un puntaje de 4. Los mismos resultados se obtuvieron cuando se evaluó el menú de navegación. Con respecto a la relevancia de la herramienta como simulador, 73.3% asignaron un puntaje de 5 y 20% un puntaje de 4.

Cuando se evaluó la capacidad de los dispositivos físicos de simular el fenómeno *fulcrum*, 73.3% asignaron puntajes de 4 y 5, 16.6% un puntaje de 3 y 10% un puntaje de 2. Para este último punto, con respecto al nivel de entrenamiento, dos eran cirujanos y uno residente. Con respecto al nivel de experiencia, uno correspondió a manipulación básica, uno a nivel operatorio intermedio y otro al nivel avanzado.

En términos de cómo ocurren los movimientos de las pinzas representadas en el entorno virtual, 73.3% evaluaron con 4 y 5; 23.3% asignaron un puntaje de 3 y solo uno de los participantes (3.3%) asignó un puntaje de 2 (nivel de entrenamiento: cirujano, nivel de experiencia: intermedia).

Cuando se preguntó cuán apropiadamente simuló la herramienta los movimientos en MIS, 83.35% calificó con 4 o 5. Todos los encuestados (100%) calificaron el diseño como atractivo con puntajes de 4 o 5. Casi todos (96.6%) asignaron puntajes de 4 o 5 al factor de innovación, a la capacidad de proporcionar feedback y a la pertinencia.

Las preguntas sobre el perfil demográfico y la fidelidad al criterio pueden ser consultadas en el Anexo 10, tabla 27. Las tablas de resultados de las encuestas de fidelidad al criterio pueden verse en el Anexo 11 tabla 28.

5.2.3 Evaluación de la validez de contenido del SIMISGEST-VR

En el artículo original, se puede consultar el estudio sobre las fuentes de evidencia para validez del MIST-VR y los estudios que han demostrado tal validez (Anexo 3, tabla 21). Cabe anotar que el MIST-VR ha sido el simulador de realidad virtual en MIS que ha sido sometido al mayor número de estudios de validez.

Con respecto a la validez de contenido, ninguno de los ítems evaluados con respecto a la capacidad de entrenamiento fue valorado con 1, aunque la coordinación eje-mano y la percepción de profundidad fueron evaluados con 2, en el caso de la coordinación eje-mano por un cirujano con un nivel operatorio avanzado y en el caso de la percepción de profundidad por un cirujano con nivel operatorio intermedio. La mayoría de los entrevistados (93.3%) valoraron la coordinación ojo-mano con 4 o 5, y un 86.6% asignó este puntaje a la percepción de profundidad.

El ítem con mayor puntaje fue el que consideró que el prototipo podría ser una solución para lograr el *“ubiquitous learning”* en MIS: 100% de los encuestados calificaron con 4 y 5. Con respecto a la evaluación de la métrica, 16.6% de los encuestados calificaron este ítem con 3, mientras que el resto de los participantes lo calificaron con 4 o 5.

Casi todos los entrevistados (96.6%) consideraron que el SIMISGEST-VR permite el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS; con puntajes de 4 y 5, mientras que el 93.3% coincidieron que las tareas reflejaron los pasos básicos de un procedimiento en MIS con puntajes de 4 y 5.

El análisis de la evaluación de las tareas mostró que las siguientes fueron calificadas entre 4 y 5: la tarea 1 recibió este puntaje por el 70% de los entrevistados; la tarea 2 por el 76.6%; la tarea 3 por el 73.3%; la tarea 4 por el 76.6%; y las tareas 5 y 6 por el 90% de los participantes.

Las preguntas del estudio de validez de contenido y las tablas con los resultados del estudio de validez de contenido pueden ser consultadas en el Anexo 12.

La tabulación de los resultados para la validez de contenido de acuerdo con el nivel de formación y el nivel de experiencia de los entrevistados se pueden consultar en el anexo 13, Tablas 33, 34 y 35.

Tabla 18. Valoración de la fidelidad al criterio y validez de contenido de acuerdo con el nivel de entrenamiento

	Total mean (n: 30)	Resident (n: 8)		Practicing surgeon (n: 21)		Other (n: 1)		P
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Fidelity to the criterion ~								
Ease of use	4.73	4.75	0.46	4.71	0.46	5.0	-	0.819
Navigation menu	4.73	4.88	0.35	4.67	0.48	5.0	-	0.448
Relevance as a learning tool	4.63	4.38	1.06	4.71	0.56	5.0	-	0.599
Fulcrum effect	4.07	3.50	0.92	4.29	1.00	4.0	-	0.108
Representation of the physical forceps in the virtual environment	4.13	4.00	0.92	4.14	0.91	5.0	-	0.526
Simulation of the movements in MIS	4.20	3.88	0.35	4.29	0.78	5.0	-	0.140
Innovation	4.73	4.63	0.74	4.76	0.43	5.0	-	0.838
Graphic design	4.60	4.50	0.53	4.62	0.49	5.0	-	0.607
Feedback	4.70	4.63	0.51	4.71	0.56	5.0	-	0.682
Relevance of the feedback	4.57	4.38	0.51	4.62	0.59	5.0	-	0.327
Content validity ^								
Hand-eye coordination	4.57	4.50	0.53	4.57	0.81	5.00	-	0.554
Depth perception	4.40	4.13	0.83	4.48	0.81	5.00	-	0.328
Basic psychomotor skills learning	4.67	4.38	0.74	4.76	0.43	5.00	-	0.266
Basic steps of MIS	4.43	4.38	0.51	4.43	0.67	5.00	-	0.571
Metrics	4.28	4.00	0.92	4.35	0.67	5.00	-	0.375
Ubiquitous learning	4.63	4.38	0.51	4.71	0.43	5.00	-	0.187
Tasks *								
Task 1	4.00	3.63	0.74	4.10	0.76	5.00	-	0.155
Task 2	3.97	4.25	0.46	3.81	1.16	5.00	-	0.369
Task 3	3.93	3.75	0.88	3.95	1.11	5.00	-	0.362

Task 4	4.13	3.88	1.24	4.33	0.91	2.00	-	0.166
Task 5	4.53	4.38	0.74	4.57	0.67	5.00	-	0.561
Task 6	4.40	3.88	0.35	4.57	0.67	5.00	-	0.012

Tabla 19. Valoración de la fidelidad al criterio y validez de contenido de acuerdo con el nivel de experiencia

	Total mean (n: 30)	Basic manipulation (n: 3)		Basic operating level (n: 11)		Intermediate operating level (n: 8)		Advanced operating level (n: 8)		P
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Fidelity to the criterion ~										
Ease of use	4.73	4.67	0.57	4.64	0.50	4.88	0.35	4.75	0.46	0.710
Navigation menu	4.73	4.67	0.57	4.91	0.30	4.75	0.46	4.50	0.53	0.271
Relevance as a learning tool	4.63	4.0	1.73	4.64	0.67	4.88	0.35	4.63	0.51	0.694
Fulcrum effect	4.07	3.67	1.52	3.91	0.94	4.38	1.06	4.13	0.99	0.619
Representation of the physical forceps in the virtual environment	4.13	4.33	1.15	4.18	0.75	4.00	1.06	4.13	0.99	0.961
Simulation of the movements in MIS	4.20	4.00	0.00	4.36	0.67	4.25	0.88	4.00	0.75	0.642
Innovation	4.73	4.33	1.15	4.82	0.94	4.75	0.46	4.75	0.46	0.885
Graphic design	4.60	4.33	0.57	4.73	0.75	4.75	0.46	4.38	0.51	0.269
Feedback	4.70	4.67	0.57	4.64	0.67	5.00	0.00	4.50	0.53	0.196
Relevance of the feedback	4.57	4.33	0.57	4.64	0.40	4.75	0.46	4.38	0.74	0.539
Content validity ^										
Hand-eye coordination	4.57	4.33	0.57	4.73	0.46	4.63	0.74	4.38	1.06	0.656
Depth perception	4.40	4.67	0.57	4.36	0.80	4.38	1.06	4.38	0.74	0.940
Basic psychomotor skills learning	4.67	4.00	1.00	4.73	0.46	4.88	0.35	4.63	0.51	0.254
Basic steps of MIS	4.43	4.33	0.57	4.45	0.68	4.75	0.46	4.13	0.64	0.231
Metrics	4.28	4.00	1.00	4.10	0.87	4.38	0.74	4.50	0.53	0.704
Ubiquitous learning	4.63	4.33	0.57	4.64	0.50	4.88	0.35	4.50	0.53	0.300
Tasks *										
Task 1	4.00	3.67	1.15	4.00	0.77	4.13	0.83	4.00	0.75	0.948
Task 2	3.97	4.33	0.57	4.18	0.60	4.13	0.83	3.38	1.59	0.959
Task 3	3.93	3.67	1.52	3.73	1.10	4.25	0.88	4.00	1.06	0.532
Task 4	4.13	3.00	1.73	4.09	0.94	4.75	0.70	4.00	1.06	0.104
Task 5	4.53	4.33	0.57	4.55	0.82	4.75	0.46	4.38	0.74	0.671
Task 6	4.40	4.00	0.00	4.18	0.75	4.88	0.35	4.38	0.74	0.04

~ Preguntas acerca de la fidelidad al criterio, Anexo 10.

^ Preguntas acerca de la validez de contenido, Anexo 10.

* Descripción de las tareas: Tabla 16.

5.3 Uso de un simulador de realidad virtual 3D portátil y de bajo costo para el entrenamiento de destrezas psicomotoras en cirugía mínimamente invasiva: validez de la métrica y de los puntajes de las tareas

“Use of a Low-Cost Portable 3D Virtual Reality Simulator for Psychomotor Skill Training in Minimally Invasive Surgery: Task Metrics and Score Validity” (Alvarez-Lopez, Maina, Arango, et al., 2020).

El presente artículo consistió en la búsqueda de múltiples fuentes de evidencia de validez para los ejercicios y los puntajes del SIMISGEST-VR.

5.3.1 Perfil demográfico

Con respecto a la experiencia previa con simuladores, el 35% de los residentes y el 36% de los cirujanos entrevistados refirieron no tener ninguna experiencia. Entre el grupo de residentes, solo el 15% había tenido experiencia con simuladores de realidad virtual y ninguno con simuladores híbridos.

Cuando se evaluó la experiencia con video juegos, fue llamativo el bajo porcentaje de uso frecuente (diario o semanal): solo el 28% del grupo referente, 20% entre los residentes y 14% entre los expertos.

5.3.2 Hipótesis de validez #1. Fuentes de evidencia de validez para relación con otras variables

Para explorar la evidencia de validez con respecto a la relación con otras variables, se compararon los puntajes de las pruebas con el nivel de experiencia (*“known group construct validity”*).

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los puntajes del primer intento de cada ejercicio entre los novatos y los expertos. Sin embargo, el tiempo invertido para realizar los ejercicios 3 y 6 fue menor en los expertos comparado con el grupo referente de manera estadísticamente significativa. El desempeño del ejercicio 5 fue mejor en los novatos que tenían experiencia previa con video juegos (P: 0.01).

Cuando se consideró el tiempo como métrica en el ejercicio 3, se encontró diferencia estadísticamente significativa entre el grupo referente y el de expertos al realizar el primer intento.

5.3.3 Hipótesis de validez #2. Fuentes de evidencia de validez para estructura interna

Los ítems de la prueba mostraron una consistencia interna alta (Cronbach's α 0.81). Con respecto al puntaje final de todas las tareas, no se encontró diferencia significativa entre el primer ejercicio y el realizado seis meses después por un grupo de referentes escogidos al azar. Cuando se evaluó el tiempo como métrica, las tareas 4 y 6 mostraron diferencias significativas entre los dos intentos. Esto demostró evidencia completa para estructura interna y test-retest reliability con respecto al score y parcial con respecto al tiempo como métrica.

5.3.4 Hipótesis de validez #3. Fuentes de evidencia de validez para consecuencias de la prueba

En los novatos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los puntajes y en el tiempo invertido para realizar los ejercicios entre el primer y el décimo intento. En los expertos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los puntajes de los ejercicios 1, 3 y 4, y en el tiempo invertido para realizar cada uno de los ejercicios. Estos hallazgos indican un aprendizaje efectivo.

El grupo referente cometió menos errores de exceso de diatermia en el ejercicio 5 al realizar el décimo intento comparado con el primer intento, de manera estadísticamente significativa (P: 0.003), lo cual es evidencia un aprendizaje efectivo.

Conclusiones

Conclusiones de la investigación

A continuación, se presentan las principales conclusiones de la tesis a partir de las preguntas de investigación planteadas inicialmente. La Figura 25 correlaciona las fases del DBR con los resultados obtenidos.

- *Pregunta 1. ¿Cuál es el estado actual del uso de los dispositivos COTS mediados por gestos en cirugía y de manera específica en simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS?*

La mayoría de los artículos identificados en la revisión sistemática de literatura fueron prueba de concepto, prueba de un prototipo por el usuario y estudios de factibilidad. Esto nos permitió concluir que el campo de la manipulación sin contacto en ambientes que deben adherirse a protocolos de asepsia y antisepsia como las salas de angiografía y las salas de cirugía, se encuentra aún en una fase exploratoria.

Los dispositivos COTS mediados por gestos que reconocen ya sea las manos o los instrumentos, abren un nuevo campo de investigación en el campo de la simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS que permite alcanzar el “ubiquitous training” y desarrollar entornos para el “calentamiento” prequirúrgico (“*presurgical warm-up*”). El retiro del mercado del Microsoft Kinect™ (Microsoft Corp, USA) y la suspensión de la función de detección de instrumentos en la última versión de software del LMC, son una amenaza a los nuevos desarrollos que se identificaron en esta revisión sistemática. Sin embargo, se identificaron nuevos

dispositivos como el Myo armband™ (Thalmic Labs, USA). Luego de haber realizado la revisión sistemática de literatura fue posible identificar un nuevo dispositivo denominado Ultrahaptics™ (Ultraleap, Silicon Valley, USA. Bristol UK) que puede agregar sensación táctil al interactuar con el LMC.

En conclusión, los dispositivos de interacción basada en gestos tienen una clara utilidad para manipular imágenes en ambientes de radiología intervencionista o en el quirófano y para desarrollar nuevos modelos de simuladores de realidad virtual para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS.

- *Pregunta 2: ¿Es posible desarrollar un prototipo funcional de un simulador con un entorno virtual 3D mediado por gestos usando el LMC para el aprendizaje de destrezas psicomotoras mínimas en MIS?*

Fue posible desarrollar un entorno virtual 3D mediado por gestos utilizando el dispositivo denominado LMC para el entrenamiento y el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS siguiendo la metodología basada en la teoría del DBR propuesta por Manson (2006). Se logró un prototipo “good enough” que fue evaluado con una fidelidad al criterio apropiada. Además fue posible demostrar evidencia de contenido para las tareas propuestas en la prueba que permitió mejorar el entorno virtual inicial con base en la retroalimentación obtenida a partir de la evaluación de pares expertos en MIS.

Costo del dispositivo: el Leap Motion Controller tiene un costo aproximado de US\$130 y los elementos del hardware US\$70. Este costo debe contrastarse con el LapSim essence™ (Surgical Science Sweden AB, Göteborg, Sweden) que no se vende, pero que se alquila a un costo de US\$916 al mes; este simulador no incluye sensación táctil y está diseñado para aprender destrezas psicomotoras básicas como ocurre con el SIMISGEST-VR.

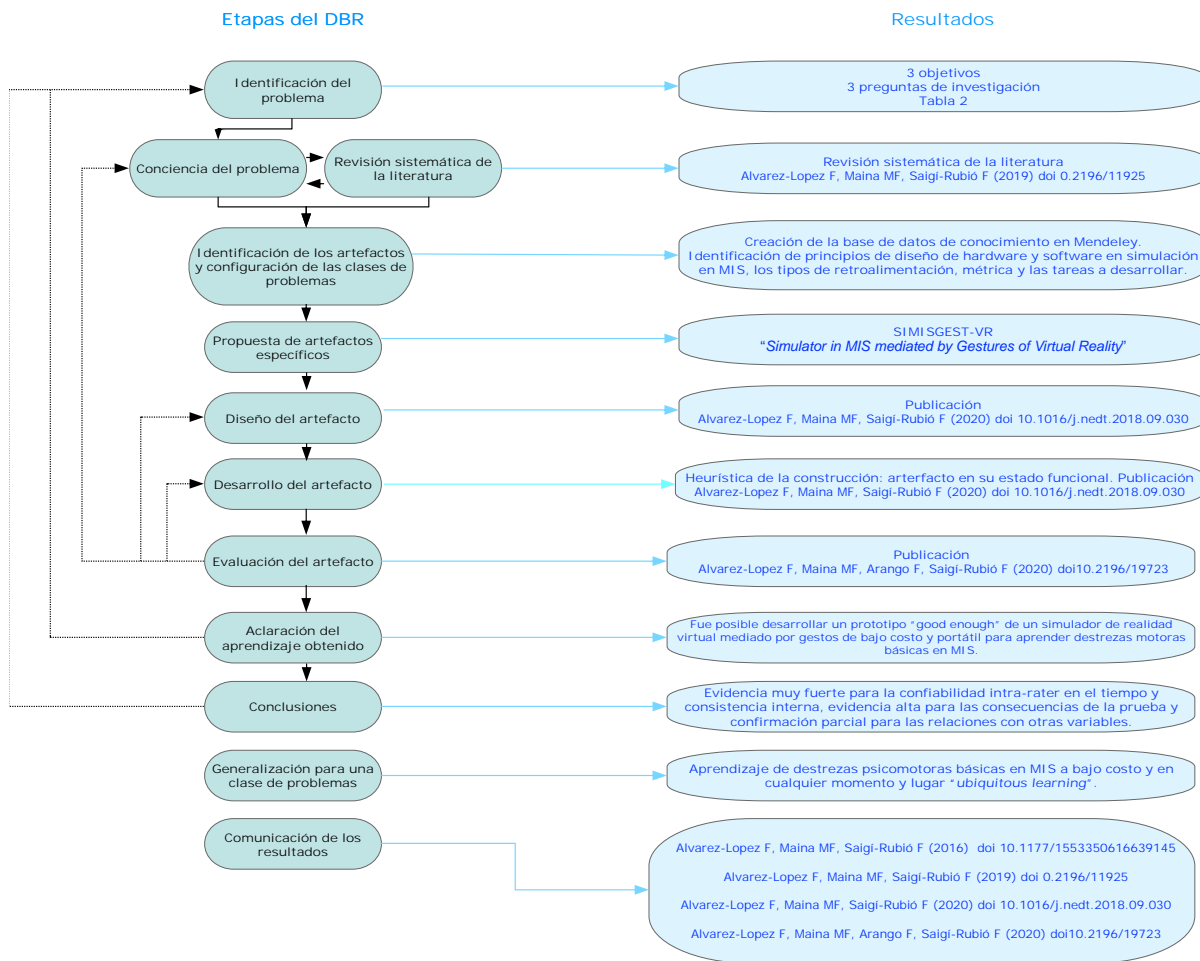
- *Pregunta 3: ¿Fue posible demostrar mediante la identificación de fuentes de evidencia de que el prototipo funcional del simulador presenta consistencia interna en los ítems de la prueba (confiabilidad, test-retest, intra-rater en el tiempo y consistencia interna), relación con otras variables (diferenciación en el desempeño de acuerdo con el nivel de formación, relación entre*

el desempeño y la experiencia con videojuegos) y consecuencias de la prueba (curva de aprendizaje)?

Los dos principales resultados de este estudio con respecto a la pregunta 3 fueron en primer lugar haber demostrado una confiabilidad intra-evaluador, test-retest en el tiempo muy fuerte lo que demuestra que los ítems de la prueba con su métrica fueron consistentes a lo largo del tiempo (seis meses de intervalo). En segundo lugar, se demostró de manera contundente con significancia estadística que el grupo referente presentó una curva de aprendizaje en todos los ejercicios y en todo tipo de métrica evaluada. El grupo de expertos también obtuvo una curva de aprendizaje positiva para todas las tareas cuando se evaluó el tiempo como métrica.

Los resultados obtenidos proporcionaron múltiples fuentes de evidencia para validar las tareas del SIMISGEST-VR con el propósito de entrenar y aprender destrezas psicomotoras básicas en MIS en novatos sin ninguna experiencia previa.

Figura 25. Correlación entre las fases del DBR y los resultados obtenidos



Limitaciones de la investigación

- Para desarrollar el software y el entorno virtual 3D, se utilizó una versión antigua de Unity → (4.6.7).
- Las últimas versiones del software del LMC no permiten leer los instrumentos (pinzas, lápices), sino solo de las manos.
- Durante el estudio que valoró la fidelidad al criterio y la validez de contenido del SIMISGEST-VR, pudieron ocurrir tanto el efecto "Hawthorne" como el efecto "Pygmalion", puesto que en

todos los casos la encuesta fue realizada solo por el autor de este estudio, lo cual pudo haber afectado favorablemente la opinión de los respondientes.

- En el estudio que buscó fuentes de evidencia se encontraron varias limitaciones:
 - Si bien el tamaño de la muestra del grupo referente fue significativa, hubiera sido óptimo contar con un grupo de expertos mayor.
 - El tamaño de la muestra estuvo sujeto a la disponibilidad de las personas y por tanto el grupo referente fue más grande, comparado con el de los residentes y el de los expertos.
 - El escaso número de residentes “senior” impidió obtener resultados más significativos cuando se compararon con los demás grupos.
 - No se realizó una proyección estadística antes de la prueba para determinar el tamaño apropiado de la muestras o determinar la escala Likert.
- Entre las destrezas psicomotoras básicas planteadas en el “*Fundamentals of Laparoscopic Surgery*” –FLS–, se encuentra el corte de tejidos. En nuestro simulador no fue posible emular esta tarea, de tal manera que en este caso se produjo subrepresentación del constructo.

Líneas futuras de investigación y desarrollo

Una vez que se obtuvieron múltiples fuentes de evidencia de validez para la métrica, las tareas y los puntajes del SIMISGEST-VR surgen los retos de escalar el dispositivo de acuerdo con las necesidades expresadas por los usuarios (mayor complejidad de las tareas, crear entornos de trabajo sobre pacientes reales), explorar nuevas tecnologías de no contacto que introducen la sensación táctil, entre otros. Para afrontar estos retos, el grupo de investigación debe acceder a convocatorias de innovación y “spin-off”. A continuación, se enumeran las principales líneas futuras de investigación y desarrollo.

- Exportar el software de simulación a una arquitectura de 64 bits para evitar problemas con los sistemas operacionales actuales (Windows 10 y macOS Catalina). Este proceso de exportación se realiza en la actualidad con la versión 2017.3 de Unity→ lo cual mejorará la estabilidad de la interacción con el LMC, la física del entorno 3D y la iluminación.

- Crear una *app* que permita descargar el software del simulador en Internet.
- Crear niveles de dificultad de los ejercicios y adaptarlos a volúmenes estándar de las cavidades corporales (ej. el abdomen y el tórax) de acuerdo con el tamaño corporal del paciente (neonato, niño, adulto).
- Explorar el uso de Oculus Quest™ (Oculus VR, Facebook Inc, USA) y su interacción con el LMC en el entorno virtual.
- Nuevos dispositivos para la interacción hombre/computadora mediados por gestos como el Leap Motion Controller™ (LMC) (Leap Motion Inc., San Francisco, CA, USA) o el Myo armband™ (Thalmic Labs, USA) abren nuevos campos de exploración en simulación quirúrgica ya sea para el aprendizaje de destrezas psicomotoras o “calentamiento preoperatorio” *“preoperative warm-up”*.
- La aparición de una nueva empresa llamada Ultraleap que produce el LMC, abre la posibilidad de agregar sensación táctil (“haptics”) a la interacción con el LMC con un dispositivo llamado Ultrahaptic Stratos™ (Ultraleap, Silicon Valley, USA. Bristol, UK)
- Investigar la posibilidad de interactuar con reconstrucciones tridimensionales de imágenes de pacientes reales.

Recomendaciones

La revisión sistemática de la literatura realizada y el marco teórico hacen visible la necesidad de desarrollar nuevos modelos de simuladores de realidad virtual portátiles y de bajo costo. Con la experiencia adquirida durante el desarrollo de la presente tesis, se debe enfatizar el hecho de que cualquier desarrollo de un dispositivo tecnológico innovador debe ser un producto considerado un artefacto tipo *“instantiation”*, enmarcado en el paradigma de investigación *“Design-Based Research”* –DBR–. De esta manera, se podrá aplicar una metodología de desarrollo regida por el rigor científico debido. El simulador desarrollado será solo un video-juego más si no existen una métrica y una retroalimentación adecuadas. Pero no basta con esto. Se debe realizar

el proceso de validación de los ítems de la prueba por medio de estudios observacionales prospectivos que busquen múltiples fuentes de validez. Puesto que el recurso humano experto es escaso, se recomienda diseñar estudios multicéntricos de tal manera que la muestra de cirujanos expertos y de residentes “*senior*” sean significativas.

Aplicaciones prácticas de la tesis

Puesto que se demostró la factibilidad de la creación y se obtuvieron múltiples fuentes de validez interna y de consecuencias de la prueba para las tareas de un simulador de bajo costo y portátil mediado por gestos utilizando el LMC (SIMISGEST-VR) para el aprendizaje de destrezas psicomotoras básicas en MIS en aprendices sin experiencia previa, es posible desarrollar un producto comercial del simulador que puede ser ofrecido ya sea a los programas de formación de especialidades quirúrgicas como parte del currículo de formación de cirujanos o de manera individual a los residentes de primer año. Se debe buscar financiación a través de convocatorias de proyectos de innovación de tal manera que el proyecto pueda escalar y ser viable desde el punto de vista comercial.

En la era de la pandemia COVID-19, la simulación adquiere gran relevancia, dado que la necesidad de distanciamiento social, la escasez de equipos de protección, la suspensión de las prácticas clínicas hospitalarias y la disminución del número de cirugías electivas han afectado gravemente la educación en áreas quirúrgicas en pregrado y también en postgrado (Chao et al., 2020; Dedeilia et al., 2020; Chick et al., 2020). Por estos motivos, el acceso a los laboratorios de simulación quirúrgica también es limitado (Kogan et al., 2020). Por tanto, el desarrollo de simuladores de realidad virtual, portátiles y de bajo costo para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS que permitan el “*ubiquitous learning*” cobra más relevancia que nunca. Tal es el caso del SIMISGEST-VR (Alvarez-Lopez et al., 2016; Alvarez-Lopez, Maina, & Saigí-Rubió, 2020; Alvarez-Lopez, Maina, Arango, et al., 2020).

Referencias bibliográficas

- Abboudi, H., Khan, M. S., Aboumarzouk, O., Guru, K. a., Challacombe, B., Dasgupta, P., & Ahmed, K. (2013). Current status of validation for robotic surgery simulators a systematic review. *BJU International*, 111(2), 194–205. <https://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2012.11270.x>
- Abdallah, M. M. S., & Wegerif, R. B. (2014). *Design-Based Research (DBR) in educational enquiry and technological studies: A version for PhD students targeting the integration of new technologies and literacies into educational contexts*. <http://www.rupertwegerif.name>
- Abrahamson, S., & Hoffman, K. I. (1974). Sim One: a computer-controlled patient simulator. *Lakartidningen*, 71(47), 4756–4758. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4139398>
- Ackerman, M. J. (1991). The Visible Human Project. *The Journal of Biocommunication*, 18(2), 14. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1874706>
- Ackerman, M. J. (1998). The Visible Human Project: a resource for anatomical visualization. *Studies in Health Technology and Informatics*, 52 Pt 2, 1030–1032. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10384616>
- Adams, J. A. (1971). A Closed-Loop Theory of Motor Learning. *Journal of Motor Behavior*, 3(2), 111–150. <https://doi.org/10.1080/00222895.1971.10734898>
- Adamsen, S., Funch-Jensen, P. M., Drewes, A. M., Rosenberg, J., & Grantcharov, T. P. (2005). A comparative study of skills in virtual laparoscopy and endoscopy. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 19(2), 229–234. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-9090-8>

- Aggarwal, R., & Darzi, A. (2009). From scalpel to simulator: a surgical journey. *Surgery, 145*(1), 1-4.
- Aggarwal, R., Grantcharov, T., Moorthy, K., Hance, J., Darzi, A., Hinder, R. A., Filipi, C. J., Wetscher, G., Al., E., Velpen, G. C. Vander, Shimi, S. M., Cuschieri, A., Figert, P. L., Park, A. E., Witzke, D. B., Al., E., Coleman, J., Nduka, C. C., Darzi, A., ... Al., E. (2006). A competency-based virtual reality training curriculum for the acquisition of laparoscopic psychomotor skill. *American Journal of Surgery, 191*(1), 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.10.014>
- Aggarwal, R., Moorthy, K., & Darzi, A. (2004). Laparoscopic skills training and assessment. *British Journal of Surgery, 91*(12), 1549–1558. <https://doi.org/10.1002/bjs.4816>
- Aggarwal, R., Mytton, O. T., Derbrew, M., Hananel, D., Heydenburg, M., Issenberg, B., MacAulay, C., Mancini, M. E., Morimoto, T., Soper, N., Ziv, A., & Reznick, R. (2010). Training and simulation for patient safety. *Quality & Safety in Health Care, 19* Suppl 2(Suppl 2), i34–i43. <https://doi.org/10.1136/qshc.2009.038562>
- Aggarwal, R., Ward, J., Balasundaram, I., Sains, P., Athanasiou, T., & Darzi, A. (2007). Proving the effectiveness of virtual reality simulation for training in laparoscopic surgery. *Annals of Surgery, 246*(5), 771–779. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3180f61b09>
- Agha, R., & Fowler, A. (2014). The validity of surgical simulation. *Canadian Journal of Surgery, 57*(4), 226–227. <https://doi.org/10.1503/cjs.032013>
- Agha, R., & Fowler, A. J. (2015). The Role and Validity of Surgical Simulation. *International Surgery, 100*(2), 350–357. <https://doi.org/10.9738/INTSURG-D-14-00004.1>
- Aguayo P (2011) La teoría de la abducción de Peirce: lógica, metodología e instinto. *Ideas y Valores* 60, 33–53.
- Ahlberg, G., Enochsson, L., Gallagher, A. G., Hedman, L., Hogman, C., McClusky, D. a., Ramel, S., Smith, C. D., & Arvidsson, D. (2007). Proficiency-based virtual reality training significantly reduces the error rate for residents during their first 10 laparoscopic cholecystectomies.

American Journal of Surgery, 193(6), 797–804.
<https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2006.06.050>

- Ahlberg, G., Heikkinen, T., Iselius, L., Leijonmarck, C. E., Rutqvist, J., & 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>
- Ahmed, K., Jawad, M., Abboudi, M., Gavazzi, A., Darzi, A., Athanasiou, T., Vale, J., Khan, M. S., & Dasgupta, P. (2011). Effectiveness of procedural simulation in urology: A systematic review. In *Journal of Urology*, 186(1), pp. 26–34). <https://doi.org/10.1016/j.juro.2011.02.2684>
- Aïm, F., Lonjon, G., Hannouche, D., & Nizard, R. (2016). Effectiveness of Virtual Reality Training in Orthopaedic Surgery. *Arthroscopy : The Journal of Arthroscopic & Related Surgery : Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 32(1), 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.07.023>
- Alaker, M., Wynn, G. R., & Arulampalam, T. (2016). Virtual reality training in laparoscopic surgery: A systematic review & meta-analysis. *International Journal of Surgery (London, England)*, 29, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2016.03.034>
- Ali, M. R., Mowery, Y., Kaplan, B., & DeMaria, E. J. (2002). Training the novice in laparoscopy: More challenge is better. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16(12), 1732–1736. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-8850-6>
- Alinier, G. (2007). A typology of educationally focused medical simulation tools. *Medical Teacher*, 29(8). <https://doi.org/10.1080/01421590701551185>
- Alturki, A., Gable, G. G., & Bandara, W. (2011). A design science research roadmap. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6629 LNCS, 107–123. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20633-7_8

- Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., Arango, F., & 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), <https://doi.org/10.2196/19723>
- Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., & Saigí-Rubió, F. (2016). Natural User Interfaces: Is It a Solution to Accomplish Ubiquitous Training in Minimally Invasive Surgery? *Surgical Innovation*, 23(4), 429–430. <https://doi.org/10.1177/1553350616639145>
- Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., & Saigí-Rubió, F. (2019). Use of commercial off-the-shelf devices for the detection of manual gestures in surgery: Systematic literature review. In *Journal of Medical Internet Research*, 21(5), p. e11925). <https://doi.org/10.2196/11925>
- Alvarez-Lopez, F., Maina, M. F., & 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>
- Alwaal, A., Al-Qaoud, T., Haddad, R., Alzahrani, T., Delisle, J., & Anidjar, M. (2015). Transfer of skills on LapSim virtual reality laparoscopic simulator into the operating room in urology. *Urology Annals*, 7(2), 172. <https://doi.org/10.4103/0974-7796.150475>
- American Educational Research Association, American Psychological Association, & 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*.
- Amiel, T., & Reeves, T. C. (2008). Design-Based Research and Educational Technology: Rethinking Technology and the Research Agenda. In *Educational Technology & Society*, 11(4). <https://0-search-proquest-com.catalog.uoc.edu/docview/1287035616/DCDE683263C04A28PQ/3?accountid=15299>

- Anderson, J. R., Beasley, C., Greeno, J., Kline, P., Langley, P., Elio, R., Larkin, J., Lewis, C., Schustack, M., & Reder, L. (1982). Acquisition of Cognitive Skill. *Psychological Review*, 89(4), 369–406. <https://0-search-proquest-com.catalog.uoc.edu/docview/614358246/6751104F8A94C19PQ/3?accountid=15299>
- Anderson, M. L. (2003). Embodied Cognition: A field guide. In *Artificial Intelligence*, 149(1), pp. 91–130). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0004-3702\(03\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0004-3702(03)00054-7)
- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? *Educational Researcher*. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>
- Andreatta, P.B., & Gruppen, L. D. (2009). Conceptualising and classifying validity evidence for simulation. *Medical Education*, 43(11), 1028–1035. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03454.x>
- Andreatta, P.B., Woodrum, D. T., Gauger, P. G., & Minter, R. M. (2008). LapMentor metrics possess limited construct validity. *Simulation in Healthcare : Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 3(1), 16–25. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e31816366b9>
- Andreatta, Pamela B, Woodrum, D. T., Birkmeyer, J. D., Yellamanchilli, R. K., Doherty, G. M., Gauger, P. G., & Minter, R. M. (2006). Laparoscopic skills are improved with LapMentor training: results of a randomized, double-blinded study. *Annals of Surgery*, 243(6), 854–860; discussion 860-863. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000219641.79092.e5>
- Ansell, J., Mason, J., Warren, N., Donnelly, P., Hawkes, N., Dolwani, S., & Torkington, J. (2012). Systematic review of validity testing in colonoscopy simulation. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 26(11), 3040–3052. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2332-2>
- Anton, N. E., Sawyer, J. M., Korndorffer, J. R., DuCoin, C. G., McRary, G., Timsina, L. R., & Stefanidis, D. (2018). Developing a robust suturing assessment: validity evidence for the intracorporeal suturing assessment tool. *Surgery*, 163(3), 560–564. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2017.10.029>

- Archer, J. C. (2010). State of the science in health professional education: effective feedback. *Medical Education*, 44(1), 101–108. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03546.x>
- Archer, L. B. (1965). Systematic method for designers. In N. Cross (Ed.), *Developments in design methodology* (pp. 57–82). John Wiley & Sons, Ltd.
- Archer, S. B., Brown, D. W., Smith, C. D., Branum, G. D., & 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>
- Arikatla, V., Horvath, S., Fu, Y., Cavuoto, L., De, S., Schwaitzberg, S., & Enquobahrie, A. (2019). Development and face validation of a virtual camera navigation task trainer. *Surgical Endoscopy*, 33(6), 1927–1937. <https://doi.org/10.1007/s00464-018-6476-6>
- Arora, A., Lau, L. Y. M., Awad, Z., Darzi, A., Singh, A., & Tolley, N. (2014). Virtual reality simulation training in Otolaryngology. *International Journal of Surgery (London, England)*, 12(2), 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2013.11.007>
- Arora, H., Uribe, J., Ralph, W., Zeltsan, M., Cuellar, H., Gallagher, A., & Fried, M. P. (2005). Assessment of construct validity of the endoscopic sinus surgery simulator. *Archives of Otolaryngology--Head & Neck Surgery*, 131(3), 217–221. <https://doi.org/10.1001/archotol.131.3.217>
- Åsvoll, H. (2012). Perspectives on reflection and intuition in teacher practice: a comparison and possible integration of the cognitive constructivist and the Dreyfusian intuitive perspectives. *Reflective Practice*, 13(6), 789–804. <https://doi.org/10.1080/14623943.2012.697883>
- Aucar, J. a, Groch, N. R., Troxel, S. a, & Eubanks, S. W. (2005). A review of surgical simulation with attention to validation methodology. *Surgical Laparoscopy, Endoscopy & Percutaneous Techniques*, 15(2), 82–89. <https://doi.org/10.1097/01.sle.0000160289.01159.0e>
- Avgerinos, D. V., Goodell, K. H., Waxberg, S., Cao, C. G. L., & Schwaitzberg, S. D. (2005). Comparison of the sensitivity of physical and virtual laparoscopic surgical training

- simulators to the user's level of experience. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 19(9), 1211–1215. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-8256-8>
- Aydin, A., Raison, N., Khan, M. S., Dasgupta, P., & Ahmed, K. (2016a). Simulation-based training and assessment in urological surgery. In *Nature Reviews Urology*, 13(9), pp. 503–519). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nrurol.2016.147>
- Aydin, A., Shafi, A. M. A., Khan, M., Dasgupta, P., & Ahmed, K. (2016b). Current Status of Simulation and Training Models in Urological Surgery: A Systematic Review. *Journal of Urology*, 196(2), 312–320. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2016.01.131>
- Ayodeji, I. D., Schijven, M., Jakimowicz, J., & Greve, J. W. (2007). Face validation of the Symbionix LAP Mentor virtual reality training module and its applicability in the surgical curriculum. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 21(9), 1641–1649. <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9219-7>
- Azzie, G., Gerstle, J. T., Nasr, A., Lasko, D., Green, J., Henao, O., Farcas, M., & Okrainec, A. (2011). Development and validation of a pediatric laparoscopic surgery simulator. *Journal of Pediatric Surgery*, 46(5), 897–903. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2011.02.026>
- Babineau, T. J., Becker, J., Gibbons, G., Sentovich, S., Hess, D., Robertson, S., & Stone, M. (2004). The “cost” of operative training for surgical residents. *Archives of Surgery (Chicago, Ill. : 1960)*, 139(4), 366–369; discussion 369–70. <https://doi.org/10.1001/archsurg.139.4.366>
- Bachmann, D., Weichert, F., & Rinkenauer, G. (2015). Evaluation of the leap motion controller as a new contact-free pointing device. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 15(1), 214–233. <https://doi.org/10.3390/s150100214>
- Badash, I., Burt, K., Solorzano, C. A., & Carey, J. N. (2016). Innovations in surgery simulation: a review of past, current and future techniques. *Annals of Translational Medicine*, 4(23), 453. <https://doi.org/10.21037/atm.2016.12.24>

- Bajka, M., Tuchschnid, S., Streich, M., Fink, D., Székely, G., & Harders, M. (2009). Evaluation of a new virtual-reality training simulator for hysteroscopy. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 23(9), 2026–2033. <https://doi.org/10.1007/s00464-008-9927-7>
- Bakker, A. (2019). *Design Research in Education A Practical Guide for Early Career Researchers*. Routledge. Taylor & Francis
- Bann, S., Kwok, K. F., Lo, C. Y., Darzi, A., & Wong, J. (2003). Objective assessment of technical skills of surgical trainees in Hong Kong. *British Journal of Surgery*, 90(10), 1294–1299. <https://doi.org/10.1002/bjs.4222>
- Bar-Meir, S. (2006). Symbionix Simulator. *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America*, 16(3), 471–478. <https://doi.org/10.1016/j.giec.2006.03.013>
- Barab, S., & 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. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3578661>
- Barnes, R. W., Lang, N. P., & Whiteside, M. F. (1989). Halstedian technique revisited. Innovations in teaching surgical skills. *Annals of Surgery*, 210(1), 118–121. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1357775&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Barsom, E. Z., Graafland, M., & Schijven, M. P. (2016). Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training. *Surgical Endoscopy*, 30(10), 4174–4183. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-4800-6>
- Bartlett, J. D., Lawrence, J. E., & Khanduja, V. (2018). Virtual reality hip arthroscopy simulator demonstrates sufficient face validity. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5038-8>

- Bashankaev, B., Baido, S., & Wexner, S. D. (2011). Review of available methods of simulation training to facilitate surgical education. *Surgical Endoscopy*, 25(1), 28–35. <https://doi.org/10.1007/s00464-010-1123-x>
- Baskerville, R., Pries-Heje, J., & Venable, J. (2009). Soft design science methodology. *Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology, DESRIST '09*, 1. <https://doi.org/10.1145/1555619.1555631>
- Beckman, T. J., Cook, D. A., & Mandrekar, J. N. (2005). What is the validity evidence for assessments of clinical teaching? In *Journal of General Internal Medicine*, 20(12), pp. 1159–1164. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1497.2005.0258.x>
- Bell, P. (2004). On the theoretical breadth of design-based research in education. In *Educational Psychologist*, 39(4), pp. 243–253. Routledge. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3904_6
- Berci, G. (1998). Complications of laparoscopic cholecystectomy. *Surgical Endoscopy*, 12(4), 291–293. <https://doi.org/10.1007/s004649900656>
- Berguer, R., Chen, J., & Smith, W. D. (2003). A comparison of the physical effort required for laparoscopic and open surgical techniques. *Archives of Surgery (Chicago, Ill. : 1960)*, 138(9), 967–970. <https://doi.org/10.1001/archsurg.138.9.967>
- Berguer, R., Forkey, D. L., & Smith, W. D. (1999). Ergonomic problems associated with laparoscopic surgery. *Surgical Endoscopy*, 13(5), 466–468. <https://doi.org/10.1007/PL00009635>
- Berguer, R., Rab, G. T., Abu-Ghaida, H., Alarcon, A., & Chung, J. (1997). A comparison of surgeons' posture during laparoscopic and open surgical procedures. *Surgical Endoscopy*, 11(2), 139–142. <https://doi.org/10.1007/s004649900316>
- Berkenstadt, H., Ziv, A., Gafni, N., & Sidi, A. (2006). The validation process of incorporating simulation-based accreditation into the anesthesiology Israeli national board exams. *The Israel Medical Association Journal : IMAJ*, 8(10), 728–733. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17125130>

- Bermello, M. I. G., & Calderón, J. T. C. (2020). Conocimientos, actitudes y prácticas sobre riesgos para desarrollar diabetes en adultos mayores, Barrio 18 de Octubre. Machala 2018-2019. In *Tesis de Maestría en Salud Pública*. <http://repositorio.unemi.edu.ec//handle/123456789/5223>
- Bermello, M. I. G., Zuñiga, D. O. ., Zuñiga, V. G. ., Luna, J. A. S., & Burgos, A. D. E. (2019). La Tecnología y el Compromiso Individual del Autocuidado Sobre Riesgos para Desarrollar Diabetes en Adultos Mayores The Technologies and the Individual Commitment of self-help on Risks to Develop Diabetes in Older Adults. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, *18*, 181–190.
- Bertolo, R., Hung, A., Porpiglia, F., Bove, P., Schleicher, M., & Dasgupta, P. (2019). Systematic review of augmented reality in urological interventions: the evidences of an impact on surgical outcomes are yet to come. *World Journal of Urology*. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-02711-z>
- Beyer-Berjot, L., Palter, V., Grantcharov, T., & Aggarwal, R. (2014). Advanced training in laparoscopic abdominal surgery: a systematic review. *Surgery*, *156*(3), 676–688. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2014.04.044>
- Beynon-Davies, P., Tudhope, D., & Mackay, H. (1999). Information systems prototyping in practice. *Journal of Information Technology*, *14*(1), 107–120. <https://doi.org/10.1080/026839699344782>
- Bhutta, M. F. (2016). A review of simulation platforms in surgery of the temporal bone. *Clinical Otolaryngology : Official Journal of ENT-UK ; Official Journal of Netherlands Society for Oto-Rhino-Laryngology & Cervico-Facial Surgery*, *41*(5), 539–545. <https://doi.org/10.1111/coa.12560>
- Bjerrum, F., Thomsen, A. S. S., Nayahangan, L. J., & Konge, L. (2018). Surgical simulation: Current practices and future perspectives for technical skills training. *Medical Teacher*, *40*(7), 668–675. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2018.1472754>

- Blacker, A. J. R. (2005). How to build your own laparoscopic trainer. *Journal of Endourology*, *19*(6), 748–752. <https://doi.org/10.1089/end.2005.19.748>
- Blumenthal, D. (1994). Making medical errors into “medical treasures”.” *JAMA*, *272*(23), 1867–1868. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7990223>
- Bockhacker, M., Syrek, H., Elstermann Von Elster, M., Schmitt, S., & Roehl, H. (2020). Evaluating Usability of a Touchless Image Viewer in the Operating Room. *Applied Clinical Informatics*, *11*(1), 88–94. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1701003>
- Borgersen, N. J., Naur, T. M. H., Sørensen, S. M. D., Bjerrum, F., Konge, L., Subhi, 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>
- Borsboom, D., Mellenbergh, G. J., & van Heerden, J. (2004). The concept of validity. *Psychological Review*, *111*(4), 1061–1071. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.4.1061>
- Botden, S., Buzink, S. N., Schijven, M. P., & Jakimowicz, J. J. (2007). Augmented versus virtual reality laparoscopic simulation: what is the difference? A comparison of the ProMIS augmented reality laparoscopic simulator versus LapSim virtual reality laparoscopic simulator. *World Journal of Surgery*, *31*(4), 764–772. <https://doi.org/10.1007/s00268-006-0724-y>
- Botden, S., Buzink, S. N., Schijven, M. P., & Jakimowicz, J. J. (2008). ProMIS augmented reality training of laparoscopic procedures face validity. *Simulation in Healthcare : Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, *3*(2), 97–102. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3181659e91>
- Botden, S., De Hingh, I. H. J. T., & Jakimowicz, J. J. (2009). Suturing training in augmented reality: Gaining proficiency in suturing skills faster. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *23*(9), 2131–2137. <https://doi.org/10.1007/s00464-008-0240-2>

- Botden, S., & 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>
- Bradley, P. (2006). The history of simulation in medical education and possible future directions. *Medical Education*, 40(3), 254–262. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02394.x>
- Brewin, J., Nedas, T., Challacombe, B., Elhage, O., Keisu, J., & Dasgupta, P. (2010). Face, content and construct validation of the first virtual reality laparoscopic nephrectomy simulator. *BJU International*, 106(6), 850–854. <https://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2009.09193.x>
- Bridges, M., & Diamond, D. L. (1999). The financial impact of teaching surgical residents in the operating room. *The American Journal of Surgery*, 177(1), 28–32. [https://doi.org/10.1016/S0002-9610\(98\)00289-X](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(98)00289-X)
- Broe, D., Ridgway, P. F., Johnson, S., Tierney, S., & Conlon, K. C. (2006). Construct validation of a novel hybrid surgical simulator. *Surgical Endoscopy*, 20(6), 900–904. <https://doi.org/10.1007/s00464-005-0530-x>
- 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
- Browne, J. R. (2000). Validating simulation and assessment devices in surgery: A review. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 9(5), 353-355.
- Brualdi, A. (1999). Traditional and Modern Concepts of Validity . ERIC / AE Digest . In Access. www.eric.ed.gov
- Brunckhorst, O., Aydin, A., Abboudi, H., Sahai, A., Khan, M. S., Dasgupta, P., & Ahmed, K. (2015). Simulation-Based Ureteroscopy Training: A Systematic Review. *Journal of Surgical Education*, 72(1), 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2014.07.003>

- Brunner, W., Korndorffer, J., Rafael, S., Dunne, B., Yau, L., Corsetti, R., Slakey, D., Townsend, M., & Scott, D. (2005). Determining Standards for Laparoscopic Proficiency Using Virtual Reality. *The American Surgeon*, 29–35.
- Brydges, R., Hatala, R., Zendejas, B., Erwin, P. J., & Cook, D. A. (2015). Linking Simulation-Based Educational Assessments and Patient-Related Outcomes. *Academic Medicine*, 90(2), 246–256. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000549>
- Buchanan, R., & Margolin, V. (1995). *Discovering design : explorations in design studies*.
- Buck, G. H. (1991). Development of simulators in medical education. *Gesnerus*, 48 Pt 1, 7–28. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1855669>
- Buzink, S. N., Koch, A. D., Heemskerk, J., Botden, S. M. B. I., Goossens, R. H. M., De Ridder, H., Schoon, E. J., & Jakimowicz, J. J. (2007). Acquiring basic endoscopy skills by training on the GI Mentor II. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 21(11), 1996–2003. <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9297-6>
- Cachon, T., Frykman, O., Innes, J. F., Lascelles, B. D. X., Okumura, M., Sousa, P., Staffieri, F., Steagall, P. V., Van Ryssen, B., & COAST Development Group. (2018). Face validity of a proposed tool for staging canine osteoarthritis: Canine OsteoArthritis Staging Tool (COAST). *The Veterinary Journal*, 235, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.02.017>
- Callery, M. P., Strasberg, S. M., & Soper, N. J. (1996). Complications of laparoscopic general surgery. In *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America*, 6(2), pp. 423–444. [https://doi.org/10.1016/s1052-5157\(18\)30370-2](https://doi.org/10.1016/s1052-5157(18)30370-2)
- Cameron, J. L. (1997). William Stewart Halsted. Our surgical heritage. *Annals of Surgery*, 225(5), 445–458. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1190776&tool=pmcentrez&endertype=abstract>

- Carlin, A. M., Gasevic, E., & Shepard, A. D. (2007). Effect of the 80-hour work week on resident operative experience in general surgery. *American Journal of Surgery*, *193*(3), 326–329; discussion 329-30. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2006.09.014>
- Carstensen, A. N., & Bernhard, J. (2019). Design science research—a powerful tool for improving methods in engineering education research. *European Journal of Engineering Education*, *44*(1–2), 85–102. <https://doi.org/10.1080/03043797.2018.1498459>
- Carter, F. J., Schijven, M. P., Aggarwal, R., Grantcharov, T., Francis, N. K., Hanna, G. B., & 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>
- Cates, C. U., & Gallagher, A. G. (2012). The future of simulation technologies for complex cardiovascular procedures. *European Heart Journal*, *33*(17), 2127–2134. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs155>
- Champion, H. R., & Gallagher, a. G. (2003). Surgical simulation - A “good idea whose time has come.” *British Journal of Surgery*, *90*(7), 767–768. <https://doi.org/10.1002/bjs.4187>
- Chan, E. K. H. (2014). Standards and Guidelines for Validation Practices: Development and Evaluation of Measurement Instruments. In B. D. Zumbo & E. K. H. Chan (Eds.), *Validity and Validation in Social, Behavioral, and Health Sciences* (pp. 9–24). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07794-9_2
- Chandrasekera, S. K., Donohue, J. F., Orley, D., Barber, N. J., Shah, N., Bishai, P. M., & Muir, G. H. (2006). Basic Laparoscopic Surgical Training: Examination of a Low-Cost Alternative. *European Urology*, *50*(6), 1285–1291. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2006.05.052>
- Chao, T. N., Frost, A. S., & Newman, J. G. (2020). Interactive Virtual Surgical Education during COVID-19 and beyond. In *Academic Medicine*, *95*(11), p. E9. Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000003609>

- Chaudhry, A., Sutton, C., Wood, J., Stone, R., & McCloy, R. (1999). Learning rate for laparoscopic surgical skills on MIST VR, a virtual reality simulator: Quality of human-computer interface. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, *81*(4), 281–286.
- Cheung, C. L., Looi, T., Lendvay, T. S., Drake, J. M., & Farhat, W. A. (2014). Use of 3-dimensional printing technology and silicone modeling in surgical simulation: development and face validation in pediatric laparoscopic pyeloplasty. *Journal of Surgical Education*, *71*(5), 762–767. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2014.03.001>
- Chick, R. C., Clifton, G. T., Peace, K. M., Propper, B. W., Hale, D. F., Alseidi, A. A., & Vreeland, T. J. (2020). Using Technology to Maintain the Education of Residents During the COVID-19 Pandemic. *Journal of Surgical Education*, *77*(4), 729–732. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.03.018>
- Chikwe, J., de Souza, A. C., & Pepper, J. R. (2004). No time to train the surgeons. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, *328*(7437), 418–419. <https://doi.org/10.1136/bmj.328.7437.418>
- Chmarra, M. K., Jansen, F. W., Grimbergen, C. a., & Dankelman, J. (2008). Retracting and seeking movements during laparoscopic goal-oriented movements. Is the shortest path length optimal? *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *22*(4), 943–949. <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9526-z>
- Choy, I., & Okrainec, A. (2010). Simulation in surgery: Perfecting the practice. *Surgical Clinics of North America*, *90*(3), 457–473. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2010.02.011>
- Christensen, K., West, R. ., & Jones, J. C. (2018). The Development of Design-Based Research. In R. E. West (Ed.), *Foundations of Learning and Instructional Design Technology*. EdTech Books. https://edtechbooks.org/lidtfoundations/development_of_design-based_research
- Cizek, G. J. (2012). Defining and distinguishing validity: interpretations of score meaning and justifications of test use. *Psychological Methods*, *17*(1), 31–43. <https://doi.org/10.1037/a0026975>

- Cizek, G. J. (2016). Validating test score meaning and defending test score use: different aims, different methods. *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice*, 23(2), 212–225. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2015.1063479>
- Cizek, G. J., Rosenberg, S. L., & Koons, H. H. (2008). *Sources of Validity Evidence for Educational and Psychological Tests*. <https://doi.org/10.1177/0013164407310130>
- Cobb, P. (2001). Supporting the improvement of learning and teaching in social and institutional context. In S. Carver & D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty-five years of progress* (pp. 455–478). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Cobb, P., Confrey, J., DiSessa, A., Lehner, R., & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13.
- Cole, R., Puroo, S., Rossi, M., & Sein, M. K. (2005). Being Proactive: Where Action Research Meets Design Research. *Proceedings of the International Conference on Information Systems, ICIS 2005*. https://www.researchgate.net/publication/221599527_Being_Proactive_Where_Action_Research_Meets_Design_Research
- Coleman, J., Nduka, C. C., & Darzi, A. (1994). Virtual reality and laparoscopic surgery. *The British Journal of Surgery*, 81(12), 1709–1711. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7827924>
- Collins, A. (1992). Toward a Design Science of Education. In E. Scanlon & T. O'Shea (Eds.), *New Directions in Educational Technology. NATO ASI Series (Series F: Computer and Systems Sciences)*, 96 (pp. 15–22). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-77750-9_2
- Collins, A., Brown, J., & Newman, S. E. (1989). Cognitive Apprenticeship: Teaching the Craft of Reading, Writing, and Mathematics | Request PDF. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser*, (pp. 453–494). Lawrence Erlbaum Associates.

https://www.researchgate.net/publication/271429465_Cognitive_Apprenticeship_Teaching_the_Craft_of_Reading_Writing_and_Mathematics

Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15–42. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_2

Committee on Quality of Health Care in America. (2000). *To Err Is Human: Building a Safer Health System* (L. Kohn, J. Corrigan, & M. Donaldson (Eds.)). National Academy Press.

Conceição, S. C. O., Sherry, L., & Gibson, D. (2004). Using Developmental Research to Design, Develop, and Evaluate an Urban Education Portal. *Journal of Interactive Learning Research*, 15(3), 271–286.

Connell, J., Carlton, J., Grundy, A., Taylor Buck, E., Keetharuth, A. D., Ricketts, T., Barkham, M., Robotham, D., Rose, D., & Brazier, J. (2018). The importance of content and face validity in instrument development: lessons learnt from service users when developing the Recovering Quality of Life measure (ReQoL). *Quality of Life Research*, 27(7), 1893–1902. <https://doi.org/10.1007/s11136-018-1847-y>

Cook, D. ., Hatala, R., Brydges, R., Zendejas, B., Szostek, J. H., Wang, A. T., Erwin, P. J., & Hamstra, S. J. (2011). Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA : The Journal of the American Medical Association*, 306(9), 978–988. <https://doi.org/10.1001/jama.2011.1234>

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., & Beckman, T. J. (2006). Current Concepts in Validity and Reliability for Psychometric Instruments: Theory and Application. *The American Journal of Medicine*, 119(2), 166.e7-166.e16. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2005.10.036>

- Cook, D. A., Brydges, R., Ginsburg, S., & Hatala, R. (2015). A contemporary approach to validity arguments: a practical guide to Kane's framework. *Medical Education*, 49(6), 560–575. <https://doi.org/10.1111/medu.12678>
- Cook, D. A., Brydges, R., Zendejas, B., Hamstra, S. J., & Hatala, R. (2013). Technology-Enhanced Simulation to Assess Health Professionals. *Academic Medicine*, 88(6), 872–883. <https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e31828ffdcf>
- Cook, D. A., & Hatala, R. (2016). Validation of educational assessments: a primer for simulation and beyond. *Advances in Simulation*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/s41077-016-0033-y>
- Cook, D. A., & Reed, D. A. (2015). Appraising the Quality of Medical Education Research Methods: The Medical Education Research Study Quality Instrument and the Newcastle-Ottawa Scale-Education. *Academic Medicine*, 90(8), 1067–1076. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000786>
- Cook, D. A., Zendejas, B., Hamstra, S. J., Hatala, R., & 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>
- Cooper, A. B., & Tisdell, E. J. (2020). Embodied aspects of learning to be a surgeon. *Medical Teacher*, 42(5), 515–522. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2019.1708289>
- Cooper, J. B., & Taqueti, V. R. (2004). A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training. *Quality & Safety in Health Care*, 13 Suppl 1(suppl 1), i11–8. https://doi.org/10.1136/qhc.13.suppl_1.i11
- Cooper, S., Cant, R., Porter, J., Sellick, K., Somers, G., Kinsman, L., & Nestel, D. (2010). Rating medical emergency teamwork performance: Development of the Team Emergency Assessment Measure (TEAM). *Resuscitation*, 81, 446–452. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.11.027>

- Cotton, W., Lockyer, L., & Brickell, G. J. (2009). A Journey Through a Design-Based Research Project. *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, 1364–1371.
- Crafts, T. D., Ellsperman, S. E., Wannemuehler, T. J., Bellicchi, T. D., Shipchandler, T. Z., & Mantravadi, A. V. (2017). Three-Dimensional Printing and Its Applications in Otorhinolaryngology–Head and Neck Surgery. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 156(6), 999–1010. <https://doi.org/10.1177/0194599816678372>
- Crochet, P., Aggarwal, R., Dubb, S. S., Ziprin, P., Rajaretnam, N., Grantcharov, T., Ericsson, K. A., & Darzi, A. (2011). Deliberate practice on a virtual reality laparoscopic simulator enhances the quality of surgical technical skills. *Annals of Surgery*, 253(6), 1216–1222. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3182197016>
- Cross, N. (1999). Design Research: A Disciplined Conversation. *Design Issues*, 15(2), 5. <https://doi.org/10.2307/1511837>
- Cross, N. (2001). Designerly ways of knowing: design discipline versus design science. *Design Issues*, 17(3), 49–55.
- Crothers, I. R., Gallagher, A. G., McClure, N., James, D. T., & McGuigan, J. (1999). Experienced laparoscopic surgeons are automated to the “*fulcrum effect*”: an ergonomic demonstration. *Endoscopy*, 31(5), 365-369.
- Custers, E. J. F. M., Regehr, G., McCulloch, W., Peniston, C., & Reznick, R. (1999). The Effects of Modeling on Learning a Simple Surgical Procedure: See One, Do One or See Many, Do One? *Advances in Health Sciences Education: Theory and Practice*, 4(2), 123–143. <https://doi.org/10.1023/A:1009763210212>
- Dagnaes-Hansen, J., Mahmood, O., Bube, S., Bjerrum, F., Subhi, Y., Rohrsted, M., & Konge, L. (2018). Direct Observation vs. Video-Based Assessment in Flexible Cystoscopy. *Journal of Surgical Education*, 75(3), 671–677. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.10.005>

- Dankelman, J. (2008). Surgical simulator design and development. *World Journal of Surgery*, 32(2), 149–155. <https://doi.org/10.1007/s00268-007-9150-z>
- Dankelman, J., Chmarra, M. K., Verdaasdonk, E. G. G., Stassen, L. P. S., & Grimbergen, C. a. (2005). Fundamental aspects of learning minimally invasive surgical skills. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies : MITAT : Official Journal of the Society for Minimally Invasive Therapy*, 14(4), 247–256. <https://doi.org/10.1080/13645700500272413>
- Datta, R., Upadhyay, K. K., & Jaideep, C. N. (2012). Simulation and its role in medical education. In *Medical Journal Armed Forces India: 68*(2), pp. 167–172). Medical Journal Armed Forces India. [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(12\)60040-9](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(12)60040-9)
- Datta, V., Mackay, S., Mandalia, M., & Darzi, A. (2001). The use of electromagnetic motion tracking analysis to objectively measure open surgical skill in the laboratory-based model. *Journal of the American College of Surgeons*, 193(5), 479–485. [https://doi.org/10.1016/S1072-7515\(01\)01041-9](https://doi.org/10.1016/S1072-7515(01)01041-9)
- Dauster, B., Steinberg, A. P., Vassiliou, M. C., Bergman, S., Stanbridge, D. D., Feldman, L. S., & Fried, G. M. (2005). Validity of the MISTELS simulator for laparoscopy training in urology. *Journal of Endourology*, 19(5), 541–545. <https://doi.org/10.1089/end.2005.19.541>
- Davidson, P. M. (2002). The surgeon for the future and implications for training. *ANZ Journal of Surgery*, 72(11), 822–828. <https://doi.org/10.1046/j.1445-2197.2002.02554.x>
- Dawe, S. R., Pena, G. N., Windsor, J. A., Broeders, J. A. J. L., Cregan, P. C., Hewett, P. J., & Maddern, G. J. (2014). Systematic review of skills transfer after surgical simulation-based training. *British Journal of Surgery*, 101(9), 1063–1076. <https://doi.org/10.1002/bjs.9482>
- Dawe, S. R., Windsor, J. A., Broeders, J. A., 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. *Annals of Surgery.*, 259(2), 236-248. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000245>

- Dawe, S. R., Windsor, J., Cregan, P., Hewett, P., & Maddern, G. (2014). *Surgical simulation for training: skills transfer to the operating room*. ASERNIP-S report no. 80. Adelaide, South Australia: ASERNIP-S. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/PMH0052813/>
- De Groef, A., Van Kampen, M., Moortgat, P., Anthonissen, M., Van den Kerckhove, E., Christiaens, M.-R., Neven, P., Geraerts, I., & Devoogdt, N. (2018). An evaluation tool for Myofascial Adhesions in Patients after Breast Cancer (MAP-BC evaluation tool): Concurrent, face and content validity. *PLOS ONE*, *13*(3), e0193915. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193915>
- Debes, A. J., Aggarwal, R., Balasundaram, I., & 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>
- Dede, C. (2004). If Design-Based Research is the Answer, What is the Question? A Commentary on Collins, Joseph, and Bielaczyc; diSessa and Cobb; and Fishman, Marx, Blumenthal, Krajcik, and Soloway in the JLS Special Issue on Design-Based Research. In *Journal of the Learning Sciences*, *13*(1), pp. 105–114. Routledge. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_5
- Dede, C. (2005). Why Design-Based Research is Both Important and Difficult. *Educational Technology*, *45*(1), 5–8.
- Dedeilia, A., Sotiropoulos, M. G., Hanrahan, J. G., Janga, D., Dedeilias, P., & Sideris, M. (2020). Medical and surgical education challenges and innovations in the COVID-19 era: A systematic review. In *In Vivo*. *34*(3), suppl, pp. 1603–1611). International Institute of Anticancer Research. <https://doi.org/10.21873/invivo.11950>
- Delp, S. L., Loan, J. P., Hoy, M. G., Zajac, F. E., Topp, E. L., & Rosen, J. M. (1990). An interactive graphics-based model of the lower extremity to study orthopaedic surgical procedures. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *37*(8), 757–767. <https://doi.org/10.1109/10.102791>

- Delp, S. L., & Zajac, F. E. (1992). Force- and moment-generating capacity of lower-extremity muscles before and after tendon lengthening. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 284, 247–259. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1395302>
- Dennis, O. P., & Patterson, R. M. (2020). Medical virtual reality. *Journal of Hand Therapy*, 33(2), 243–245. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2020.02.003>
- Derossis, A. M., Antoniuk, M., & Fried, G. M. (1999). Evaluation of laparoscopic skills: A 2-year follow-up during residency training. *Canadian Journal of Surgery*, 42(4), 293–296. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3789000&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Derossis, A. M., Bothwell, J., Sigman, H. H., & Fried, G. M. (1998). The effect of practice on performance in a laparoscopic simulator. *Surgical Endoscopy*, 12(9), 1117–1120. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9716763>
- Derossis, A. M., Fried, G. M., Abrahamowicz, M., Sigman, H. H., Barkun, J. S., & Meakins, J. L. (1998). Development of a model for training and evaluation of laparoscopic skills. *American Journal of Surgery*, 175(6), 482–487. [https://doi.org/10.1016/S0002-9610\(98\)00080-4](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(98)00080-4)
- Deziel, D. J., Millikan, K. W., Economou, S. G., Doolas, A., Ko, S. T., & 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.
- Diesen, D. L., Erhunmwunsee, L., Bennett, K. M., Ben-David, K., Yurcisin, B., Ceppa, E. P., Omotosho, P. A., Perez, A., & Pryor, A. (2011). Effectiveness of laparoscopic computer simulator versus usage of box trainer for endoscopic surgery training of novices. *Journal of Surgical Education*, 68(4), 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2011.02.007>
- DiSessa, A. A., & Cobb, P. (2004). Ontological Innovation and the Role of Theory in Design Experiments. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 77–103. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_4

- Dolmans, D. H. J. M. (2019). How theory and design-based research can mature PBL practice and research. *Advances in Health Sciences Education*, 24(5), 879–891. <https://doi.org/10.1007/s10459-019-09940-2>
- Dolmans, D. H. J. M., & Tigelaar, D. (2012). Building bridges between theory and practice in medical education using a design-based research approach: AMEE Guide No. 60. *Medical Teacher*, 34(1), 1–10. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2011.595437>
- Dong, Y., Suri, H. S., Cook, D. A., Kashani, K. B., Mullon, J. J., Enders, F. T., Rubin, O., Ziv, A., & Dunn, W. F. (2010). Simulation-based objective assessment discerns clinical proficiency in central line placement: A construct validation. *Chest*, 137(5), 1050–1056. <https://doi.org/10.1378/chest.09-1451>
- Downing, S. M. (2003). Validity: On the meaningful interpretation of assessment data. *Medical Education*, 37(9), 830–837. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2003.01594.x>
- Downing, S. M. (2006). Face validity of assessments: faith-based interpretations or evidence-based science? *Medical Education*, 40(1), 7–8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2005.02361.x>
- Downing, S. M., & Haladyna, T. M. (2004). Validity threats: Overcoming interference with proposed interpretations of assessment data. *Medical Education*, 38(3), 327–333. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2004.01777.x>
- Dresch, A., Pacheco-Lacerda, D., & Valle-Antunes, J. A. J. (2015). *Design Science Research. A Method for Science and Technology Advancement*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07374-3>
- Dreyfus, H. (2002). Intelligence without representation – Merleau-Ponty’s critique of mental representation The relevance of phenomenology to scientific explanation. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 1(4), 367–383. <https://doi.org/10.1023/A:1021351606209>

- Duffy, A. J., Hogle, N. J., McCarthy, H., Lew, J. I., Egan, A., Christos, P., & Fowler, D. L. (2005). Construct validity for the LAPSIM laparoscopic surgical simulator. *Surgical Endoscopy*, *19*(3), 401–405. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-8202-9>
- Dumay, A. C., & Jense, G. J. (1995). Endoscopic surgery simulation in a virtual environment. *Computers in Biology and Medicine*, *25*(2), 139–148. [https://doi.org/10.1016/0010-4825\(94\)00041-n](https://doi.org/10.1016/0010-4825(94)00041-n)
- Ebert, L. C., Flach, P. M., Thali, M. J., & 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>
- Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. In *Journal of the Learning Sciences*, *11*(1), pp. 105–121). Lawrence Erlbaum Associates Inc. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101_4
- Edmond, C. V, Wiet, G. J., & Bolger, B. (1998). Virtual environments. Surgical simulation in otolaryngology. *Otolaryngologic Clinics of North America*, *31*(2), 369–381. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9518444>
- Eekels, J., & Roozenburg, N. F. M. (1991). A methodological comparison of the structures of scientific research and engineering design: their similarities and differences. *Design Studies*, *12*(4), 197–203. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(91\)90031-Q](https://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90031-Q)
- Elarbi, M. M., Ragle, C. A., Fransson, B. A., & Farnsworth, K. D. (2018). Face, construct, and concurrent validity of a simulation model for laparoscopic ovariectomy in standing horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *253*(1), 92–100. <https://doi.org/10.2460/javma.253.1.92>
- Elbadrawy, M., Majoko, F., & Gasson, J. (2008). Impact of Calman system and recent reforms on surgical training in gynaecology. *Journal of Obstetrics and Gynaecology : The Journal of the Institute of Obstetrics and Gynaecology*, *28*(5), 474–477. <https://doi.org/10.1080/01443610802083930>

- Elliott, J. (1991). *Action research for educational change*. Open University Press.
- Emam, T. A., Hanna, G. B., Kimber, C., Dunkley, P., & Cuschieri, A. (2000). Effect of intracorporeal-extracorporeal instrument length ratio on endoscopic task performance and surgeon movements. *Archives of Surgery, 135*(1), 62–65; discussion 66. <https://doi.org/10.1001/archsurg.135.1.66>
- Ericsson, K. A. (2004). Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. *Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges, 79*(10 Suppl), S70–S81. <https://doi.org/10.1097/00001888-200410001-00022>
- Ericsson, K. A. (2008). Deliberate Practice and Acquisition of Expert Performance: A General Overview. *Academic Emergency Medicine, 15*(11), 988–994. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2008.00227.x>
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review, 100*(3), 363–406. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.100.3.363>
- Eriksen, J. R., & Grantcharov, T. (2005). Objective assessment of laparoscopic skills using a virtual reality stimulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques, 19*(9), 1216–1219. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-2154-y>
- Escamirosa, F., Flores, R., García, I., Vidal, C., & Martínez, A. (2015). Face, content, and construct validity of the EndoViS training system for objective assessment of psychomotor skills of laparoscopic surgeons. *Surgical Endoscopy, 29*(1), 3392–3403.
- Farhan, B., Soltani, T., Do, R., Perez, C., Choi, H., & Ghoniem, G. (2018). Face, Content, and Construct Validations of Endoscopic Needle Injection Simulator for Transurethral Bulking Agent in Treatment of Stress Urinary Incontinence. *Journal of Surgical Education, 75*(6), 1673–1678. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2018.04.011>

- Fayez, R., Feldman, L. S., Kaneva, P., & Fried, G. M. (2010). Testing the construct validity of the Symbionix GI Mentor II virtual reality colonoscopy simulator metrics: Module matters. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 24(5), 1060–1065. <https://doi.org/10.1007/s00464-009-0726-6>
- Feldman, L. S., Hagarty, S. E., Ghitulescu, G., Stanbridge, D., & Fried, G. M. (2004). Relationship between objective assessment of technical skills and subjective in-training evaluations in surgical residents. *Journal of the American College of Surgeons*, 198(1), 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2003.08.020>
- Feldman, L. S., Sherman, V., & Fried, G. M. (2004). Using simulators to assess laparoscopic competence: Ready for widespread use? *Surgery*, 135(1), 28–42. [https://doi.org/10.1016/S0039-6060\(03\)00155-7](https://doi.org/10.1016/S0039-6060(03)00155-7)
- Ferreira, S. C., Chaves, R. O., Seruffo, M. C. da R., Pereira, A., Azar, A. P. D. S., Dias, Â. V., Santos, A. de A. S. dos, & Brito, M. V. H. (2020). Empirical Evaluation of a 3D Virtual Simulator of Hysteroscopy Using Leap Motion for Gestural Interfacing. *Journal of Medical Systems*, 44(11), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10916-020-01662-y>
- Ferreira, W. de A., Giatti, L., Figueiredo, R. C. de, Mello, H. R. de, & Barreto, S. M. (2018). Validade Concorrente e de Face da Escala de MacArthur para Avaliação do Status Social Subjetivo: Estudo Longitudinal de Saúde do Adulto (ELSA-Brasil). *Ciência & Saúde Coletiva*, 23(4), 1267–1280. <https://doi.org/10.1590/1413-81232018234.16972016>
- Fiard, G., Descotes, J.-L., & Troccaz, J. (2019). [Simulation-based training in urology: A systematic literature review]. *Progres En Urologie : Journal de l'Association Francaise d'urologie et de La Societe Francaise d'urologie*, 29(6), 295–311. <https://doi.org/10.1016/j.purol.2019.03.003>
- Fichera, A., Prachand, V., Kives, S., Levine, R., & Hasson, H. (2005). Physical reality simulation for training of laparoscopists in the 21st century. A multispecialty, multi-institutional study. *JSLS*, 9(2), 125–129.

<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3015577&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>

- Fischer, C., Winter, R., & Wortmann, F. (2010). Design Theory. *Business & Information Systems Engineering*, 6, 387–390. <https://doi.org/10.1007/s12599-010-0128-2>
- Fishman, B., Marx, R. W., Blumenfeld, P., Krajcik, J., & Soloway, E. (2004). Creating a Framework for Research on Systemic Technology Innovations. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 43–76. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_3
- Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). Human performance. In *Human performance*. Brooks/Cole.
- Flagg, B. N. (1990). *Formative Evaluation for Educational Technologies*. Routledge. Taylor & Francis Group. <https://books.google.com.co/books?id=j1UFiUs6JRUC&lpg=PA2&hl=es&pg=PA2#v=onepage&q=simon&f=false>
- Forgione, A., & Guraya, S. Y. (2017). The cutting-edge training modalities and educational platforms for accredited surgical training: A systematic review. *Journal of Research in Medical Sciences | Published by Wolters Kluwer*, 1. https://doi.org/10.4103/jrms.JRMS_809_16
- Fraser, S. A., Klassen, D. R., Feldman, L. S., Ghitulescu, G. a., Stanbridge, D., & Fried, G. M. (2003). Evaluating laparoscopic skills, setting the pass/fail score for the MISTELS system. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 17(6), 964–967. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-8828-4>
- Fried, G. ., Feldman, L. S., Vassiliou, M. C., Fraser, S. A., Stanbridge, D., Ghitulescu, G., & Andrew, C. G. (2004). Proving the value of simulation in laparoscopic surgery. *Annals of Surgery*, 240(3), 518–525; discussion 525-8. <https://doi.org/10.1097/01.SLA.0000136941.46529.56>
- Fried, G. M., Derossis, A. M., Bothwell, J., & Sigman, H. H. (1999). Comparison of laparoscopic performance in vivo with performance measured in a laparoscopic simulator. *Surgical*

Endoscopy, 13(11), 1077–1081; discussion 1082.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10556441>

- Fried, G. M., & 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. *BMJ Quality & Safety*, 13(suppl 1), i2–i10. <https://doi.org/10.1136/QSHC.2004.009878>
- Gaba, D. M., & DeAnda, a. (1988). A comprehensive anesthesia simulation environment: re-creating the operating room for research and training. In *Anesthesiology*.
- Gallagher, A. G., Hughes, C., Reinhardt-Rutland, A. H., McGuigan, J., & McClure, N. (2000). A case-control comparison of traditional and virtual-reality training in laparoscopic psychomotor performance. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 9(5), 347-352. <https://doi.org/10.3109/13645700009061457>
- Gallagher, A. G., Lederman, A. B., McGlade, K., Satava, R. M., & Smith, C. D. (2004). Discriminative validity of the Minimally-Invasive Surgical Trainer in Virtual Reality (MIST-VR) using criteria levels based on expert performance. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 18(4), 660–665. <https://doi.org/10.1007/s00464-003-8176-z>
- Gallagher, A. G., McClure, N., McGuigan, J., Crothers, I., & Browning, J. (1999). Virtual reality training in laparoscopic surgery: a preliminary assessment of minimally invasive surgical trainer virtual reality (MIST VR). *Endoscopy*, 31(4), 310–313. <https://doi.org/10.1055/s-1999-15>
- Gallagher, A. G., McClure, N., McGuigan, J., Ritchie, K., & Sheehy, N. P. (1998). An ergonomic analysis of the *fulcrum* effect in the acquisition of endoscopic skills. *Endoscopy*, 30(7), 617-620.
- Gallagher, A. G., Renkin, J., Buyl, H., Lambert, H., & Marco, J. (2006). Development and construct validation of performance metrics for multivessel coronary interventions on the VIST virtual reality simulator at PCR2005. *EuroIntervention : Journal of EuroPCR in Collaboration with*

the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology, 2(1), 101–106. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19755243>

- Gallagher, A. G., Richie, K., McClure, N., & McGuigan, J. (2001). Objective psychomotor skills assessment of experienced, junior, and novice laparoscopists with virtual reality. *World Journal of Surgery*, 25(11), 1478–1483. <https://doi.org/10.1007/s00268-001-0133-1>
- Gallagher, A. G., Ritter, E. M., Champion, H., Higgins, G., Fried, M. P., Moses, G., Smith, C. D., & Satava, R. M. (2005). Virtual reality simulation for the operating room: proficiency-based training as a paradigm shift in surgical skills training. *Annals of Surgery*, 241(2), 364–372. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000151982.85062.80>
- Gallagher, A. G., Ritter, E. M., Lederman, A. B., McClusky, D. a., & Smith, C. D. (2005). Video-assisted surgery represents more than a loss of three-dimensional vision. *American Journal of Surgery*, 189(1), 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2004.04.008>
- Gallagher, A. G., Ritter, E. M., & 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>
- Gallagher, A. G., & Satava, R. M. (2002). Virtual reality as a metric for the assessment of laparoscopic psychomotor skills. Learning curves and reliability measures. *Surgical Endoscopy*, 16(12), 1746–1752. <https://doi.org/10.1007/s00464-001-8215-6>
- Gallagher, A. G., & Satava, R. M. (2015). Surgical Simulation: Seeing the Bigger Picture and Asking the Right Questions. *Annals of Surgery*, 262(2), e50-1. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000906>
- Gallagher, A. G., Seymour, N. E., Jordan-Black, J.-A., Bunting, B. P., McGlade, K., & Satava, R. M. (2013). Prospective, randomized assessment of transfer of training (ToT) and transfer effectiveness ratio (TER) of virtual reality simulation training for laparoscopic skill acquisition. *Annals of Surgery*, 257(6). <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318284f658>

- Gallagher, A. G., Smith, C. D., Bowers, S. P., Seymour, N. E., Pearson, A., McNatt, S., Hananel, D., & Satava, R. M. (2003). Psychomotor skills assessment in practicing surgeons experienced in performing advanced laparoscopic procedures. *Journal of the American College of Surgeons*, *197*(3), 479–488. [https://doi.org/10.1016/S1072-7515\(03\)00535-0](https://doi.org/10.1016/S1072-7515(03)00535-0)
- Gallagher, H. J., Allan, J. D., & Tolley, D. A. (2001). Spatial awareness in urologists: are they different? *BJU International*, *88*(7), 666–670. <https://doi.org/10.1046/j.1464-4096.2001.02440.x>
- Galupo, M. P., Mitchell, R. C., & Davis, K. S. (2018). Face Validity Ratings of Sexual Orientation Scales by Sexual Minority Adults: Effects of Sexual Orientation and Gender Identity. *Archives of Sexual Behavior*, *47*(4), 1241–1250. <https://doi.org/10.1007/s10508-017-1037-y>
- Ganai, S., Donroe, J. a., St. Louis, M. R., Lewis, G. M., & Seymour, N. E. (2007). Virtual-reality training improves angled telescope skills in novice laparoscopists. *American Journal of Surgery*, *193*(2), 260–265. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.11.019>
- Gettman, M. T., Le, C. Q., Rangel, L. J., Slezak, J. M., Bergstralh, E. J., & Krambeck, A. E. (2008). Analysis of a Computer Based Simulator as an Educational Tool for Cystoscopy: Subjective and Objective Results. *Journal of Urology*, *179*(1), 267–271. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2007.08.146>
- Ghaderi, I., Manji, F., Soo Park, Y., Juul, D., Ott, M., Harris, I., & 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>
- Giger, U., Frésard, I., Häfliger, A., Bergmann, M., & Krähenbühl, L. (2008). Laparoscopic training on Thiel human cadavers: a model to teach advanced laparoscopic procedures. *Surgical Endoscopy*, *22*(4), 901–906. <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9502-7>
- Goff, B., Mandel, L., Lentz, G., VanBlaricom, A., Oelschlager, A.-M. A., Lee, D., Galakatos, A., Davies, M., & Nielsen, P. (2005). Assessment of resident surgical skills: Is testing feasible?

American Journal of Obstetrics and Gynecology, 192(4), 1331–1338.
<https://doi.org/10.1016/j.ajog.2004.12.068>

Goff, W. M., & 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>

Gofton, W. T., Dudek, N. L., Wood, T. J., Balaa, F., & Hamstra, S. J. (2012). The Ottawa Surgical Competency Operating Room Evaluation (O-SCORE): a tool to assess surgical competence. *Academic Medicine : Journal of the Association of American Medical Colleges*, 87(10), 1401–1407. <https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3182677805>

Goh, A. C., Goldfarb, D. W., Sander, J. C., Miles, B. J., & Dunkin, B. J. (2012). Global evaluative assessment of robotic skills: Validation of a clinical assessment tool to measure robotic surgical skills. *Journal of Urology*, 187(1), 247–252.
<https://doi.org/10.1016/j.juro.2011.09.032>

Goldenberg, M. G., Goldenberg, L., & Grantcharov, T. P. (2017). Surgeon Performance Predicts Early Continence After Robot-Assisted Radical Prostatectomy. *Journal of Endourology*, 31(9), 858–863. <https://doi.org/10.1089/end.2017.0284>

Goldenberg, M., & Lee, J. Y. (2018). Surgical Education, Simulation, and Simulators—Updating the Concept of Validity. In *Current Urology Reports*, 19(7). Current Medicine Group LLC 1.
<https://doi.org/10.1007/s11934-018-0799-7>

Gonzalez-Franco, M., & Lanier, J. (2017). Model of Illusions and Virtual Reality. *Frontiers in Psychology*, 8, 1125. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01125>

Gonzalez, R., Bowers, S. P., Smith, C. D., & Ramshaw, B. J. (2004). Does setting specific goals and providing feedback during training result in better acquisition of laparoscopic skills? *The American Surgeon*, 70(1), 35–39.

- Goodman, N. W. (2004). No time to train the surgeons: only repeal of European Working Time Directive will help. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 328(7448), 1133; discussion 1134-5. <https://doi.org/10.1136/bmj.328.7448.1133-b>
- Gor, M., McCloy, R., Stone, R., & Smith, A. (2003). Virtual reality laparoscopic simulator for assessment in gynaecology. *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 110(2), 181–187. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0528.2003.02016.x>
- Gordon, M. S. (1974). Cardiology patient simulator. Development of an animated manikin to teach cardiovascular disease. *The American Journal of Cardiology*, 34(3), 350–355. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4136577>
- Grantcharov, T. P., Bardram, L., Funch-Jensen, P., & Rosenberg, J. (2001). Laparoscopic performance after one night on call in a surgical department: prospective study. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 323(7323), 1222–1223. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11719413>
- Grantcharov, T. P., Bardram, L., Funch-Jensen, P., & Rosenberg, J. (2003a). Learning curves and impact of previous operative experience on performance on a virtual reality simulator to test laparoscopic surgical skills. *American Journal of Surgery*, 185(2), 146–149. [https://doi.org/10.1016/S0002-9610\(02\)01213-8](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(02)01213-8)
- Grantcharov, T. P., Bardram, L., Funch-Jensen, P., & Rosenberg, J. (2003b). Impact of hand dominance, gender, and experience with computer games on performance in virtual reality laparoscopy. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 17(7), 1082–1085. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-9176-0>
- Grantcharov, T. P., & Funch-Jensen, P. (2009). Can everyone achieve proficiency with the laparoscopic technique? Learning curve patterns in technical skills acquisition. *American Journal of Surgery*, 197(4), 447–449. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2008.01.024>

- Grantcharov, T. P., Kristiansen, V. B., Bendix, J., Bardram, L., Rosenberg, J., & Funch-Jensen, P. (2004). Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training. *British Journal of Surgery*, *91*(2), 146–150. <https://doi.org/10.1002/bjs.4407>
- Grantcharov, T. P., Rosenberg, J., Pahle, E., & Funch-Jensen, P. (2001). Virtual reality computer simulation. *Surgical Endoscopy*, *15*(3), 242-244.
- Gravante, G., & Venditti, D. (2013). A systematic review on low-cost box models to achieve basic and advanced laparoscopic skills during modern surgical training. *Surgical Laparoscopy, Endoscopy & Percutaneous Techniques*, *23*(2), 109–120. <https://doi.org/10.1097/SLE.0b013e3182827c29>
- Gregor, S., & Jones, D. (2007). The Anatomy of a Design Theory. *Journal of the Association for Information Systems*, *8*(5), 312–335.
- Gumbs, a a, Hogle, N. J., & Fowler, D. L. (2007). Evaluation of resident laparoscopic performance using global operative assessment of laparoscopic skills. *J Am Coll Surg*, *204*(2), 308–313. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2006.11.010>
- Guna, J., Jakus, G., Pogačnik, M., Tomažič, S., & Sodnik, J. (2014). An analysis of the precision and reliability of the leap motion sensor and its suitability for static and dynamic tracking. *Sensors (Switzerland)*, *14*(2), 3702–3720. <https://doi.org/10.3390/s140203702>
- Gurusamy, K., Aggarwal, R., Palanivelu, L., & 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>
- Gustafsson, S., Hörder, H., Ottenvall Hammar, I., & Skoog, I. (2018). Face and content validity and acceptability of the Swedish ICECAP-O capability measure: cognitive interviews with 70-year-old persons. *Health Psychology Research*, *6*(1), 6496. <https://doi.org/10.4081/hpr.2018.6496>
- Hackethal, A., Immenroth, M., & Bürger, T. (2006). Evaluation of target scores and benchmarks for the traversal task scenario of the minimally invasive surgical trainer-virtual reality (MIST-

- VR) laparoscopy simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 20(4), 645–650. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-2224-1>
- Hakkarainen, P. (2009). Designing and implementing a PBL course on educational digital video production: Lessons learned from a design-based research. *Educational Technology Research and Development*, 57(2), 211–228. <https://doi.org/10.1007/s11423-007-9039-4>
- Hall, J. C., Ellis, C., & Hamdorf, J. (2003). Surgeons and cognitive processes. *The British Journal of Surgery*, 90(1), 10–16. <https://doi.org/10.1002/bjs.4020>
- Hallet, J., Gayet, B., Tsung, A., Wakabayashi, G., & Pessaux, P. (2015). Systematic review of the use of pre-operative simulation and navigation for hepatectomy: current status and future perspectives. *Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Sciences*, 22(5), 353–362. <https://doi.org/10.1002/jhbp.220>
- Halsted, W. S. (1904). The training of the surgeon. *Bulletin of the Johns Hopkins Hospital*, 15(162), 267–275.
- Haluck, R. S., & Krummel, T. M. (2000). Computers and virtual reality for surgical education in the 21st century. *Archives of Surgery*, 135(7), 786–792. <https://doi.org/10.1001/archsurg.135.7.786>
- Haluck, R. S., Webster, R. W., Snyder, A. J., Melkonian, M. G., Mohler, B. J., Dise, M. L., & Lefever, A. (2001). A virtual reality surgical trainer for navigation in laparoscopic surgery. *Studies in Health Technology and Informatics*, 81, 171–176. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11317733>
- Hamilton, E. C., Scott, D. J., Fleming, J. B., Rege, R. V., Laycock, R., Bergen, P. C., Tesfay, S. T., & Jones, D. B. (2002). Comparison of video trainer and virtual reality training systems on acquisition of laparoscopic skills. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16(3), 406–411. <https://doi.org/10.1007/s00464-001-8149-z>
- Hamilton, E. C., Scott, D. J., Kapoor, A., Nwariaku, F., Bergen, P. C., Rege, R. V., Tesfay, S. T., & Jones, D. B. (2001). Improving operative performance using a laparoscopic hernia simulator.

American Journal of Surgery, 182(6), 725–728.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11839347>

Hamstra, S. J., Brydges, R., Hatala, R., Zendejas, B., & 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.000000000000130>

Haque, S., & 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>

Harden, R. M., & Gleeson, F. A. (1979). Assessment of clinical competence using an objective structured clinical examination (OSCE). *Medical Education*, 13(1), 41–54.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/763183>

Hatala, R., Cook, D. A., Zendejas, B., Hamstra, S. J., Brydges, R., Hatala, R., Cook, D. A., Zendejas, B., Hamstra, S. J., & Brydges, R. (2014). Feedback for simulation-based procedural skills training: a meta-analysis and critical narrative synthesis. *Adv in Health Sci Educ*, 19, 251–272. <https://doi.org/10.1007/s10459-013-9462-8>

Hatala, R., Issenberg, S. B., Kassen, B., Cole, G., Bacchus, C. M., & Scalese, R. J. (2008). Assessing cardiac physical examination skills using simulation technology and real patients: A comparison study. *Medical Education*, 42(6), 628–636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2007.02953.x>

Hatala, Rose, Scalese, R. J., Cole, G., Bacchus, M., Kassen, B., & Issenberg, S. B. (2009). Development and validation of a cardiac findings checklist for use with simulator-based assessments of cardiac physical examination competence. *Simulation in Healthcare*, 4(1), 17–21. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e318183142b>

Hedman, L., Klingberg, T., Enochsson, L., Kjellin, a., & Felländer-Tsai, L. (2007). Visual working memory influences the performance in virtual image-guided surgical intervention. *Surgical*

Endoscopy and Other Interventional Techniques, 21(11), 2044–2050.
<https://doi.org/10.1007/s00464-007-9287-8>

Hedman, L., Schlickum, M., & Felländer-Tsai, L. (2013). Surgical novices randomized to train in two video games become more motivated during training in MIST-VR and GI mentor II than students with no video game training. *Studies in Health Technology and Informatics*, 184, 189–194.

Hedman, L., Ström, P., Andersson, P., Kjellin, A., Wredmark, T., & Felländer-Tsai, L. (2006). High-level visual-spatial ability for novices correlates with performance in a visual-spatial complex surgical simulator task. *Surgical Endoscopy*, 20(8), 1275–1280.
<https://doi.org/10.1007/s00464-005-0036-6>

Hennessey, I. A., & Hewett, P. (2013). Construct, concurrent, and content validity of the eoSim laparoscopic simulator. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*, 23, 855–860.

Henrichs, B. M., Avidan, M. S., Murray, D. J., Boulet, J. R., Kras, J., Krause, B., Snider, R., & Evers, A. S. (2009). Performance of certified registered nurse anesthetists and anesthesiologists in a simulation-based skills assessment. *Anesthesia and Analgesia*, 108(1), 255–262.
<https://doi.org/10.1213/ane.0b013e31818e3d58>

Herrington, J., Mckenney, S., Reeves, T., & Oliver, R. (2007). Design-based research and doctoral students: Guidelines for preparing a dissertation proposal. *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2007*, 4089–4097.
<http://researchrepository.murdoch.edu.au/6762/>

Herrington, J., Oliver, R., & Reeves, T. C. (2003). Patterns of engagement in authentic online learning environments Authentic activities in learning environments. In *Australian Journal of Educational Technology*, 19(1).
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.862.8656&rep=rep1&type=pdf>

- Hetaimish, B., Elbadawi, H., & Ayeni, O. R. (2016). Evaluating Simulation in Training for Arthroscopic Knee Surgery: A Systematic Review of the Literature. *Arthroscopy : The Journal of Arthroscopic & Related Surgery : Official Publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, 32(6), 1207-1220.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.01.012>
- Hevner, A. R., & Chatterjee, S. (2010). *Design Research in Information Systems. Theory and Practice*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5653-8>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Hoadley, C. (2002). Creating context: Design-based research in creating and understanding CSCL. In G. Stahl (Ed.), *Proceedings of the conference on computer support for collaborative learning: Foundations for a CSCL community* (pp. 453–462). <https://doi.org/10.3115/1658616.1658679>
- Hoadley, C. M. (2004). Methodological alignment in design-based research. *Educational Psychologist*, 39(4), 203–212. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3904_2
- Holland, R., Tillett, W., Ogdie, A., Leung, Y. Y., Gladman, D. D., Callis Duffin, K., Coates, L. C., Mease, P. J., Eder, L., Strand, V., Elmamoun, M., Højgaard, P., Chau, J., de Wit, M., Goel, N., Lindsay, C. A., FitzGerald, O., Shea, B., Beaton, D., & Orbai, A.-M. (2018). Content and Face Validity and Feasibility of 5 Candidate Instruments for Psoriatic Arthritis Randomized Controlled Trials: The PsA OMERACT Core Set Workshop at the GRAPPA 2017 Annual Meeting. *The Journal of Rheumatology. Supplement*, 94, 17–25. <https://doi.org/10.3899/jrheum.180142>
- Hruby, G. W., Sprenkle, P. C., Abdelshehid, C., Clayman, R. V, McDougall, E. M., & Landman, J. (2008). The EZ Trainer: validation of a portable and inexpensive simulator for training basic laparoscopic skills. *The Journal of Urology*, 179(2), 662–666. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2007.09.030>

- Hugh, T. B. (2002). New strategies to prevent laparoscopic bile duct injury—surgeons can learn from pilots. *Surgery*, *132*(5), 826–835. <https://doi.org/10.1067/msy.2002.127681>
- Hyltander, A., Liljegren, E., Rhodin, P. H., & Lönroth, H. (2002). The transfer of basic skills learned in a laparoscopic simulator to the operating room. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *16*(9), 1324–1328. <https://doi.org/10.1007/s00464-001-9184-5>
- 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., & 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>
- Issenberg, S. B., McGaghie, W. C., Petrusa, E. R., Lee Gordon, D., & Scalese, R. J. (2005). Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Medical Teacher*, *27*(1), 10–28. <https://doi.org/10.1080/01421590500046924>
- Iwata, N., Fujiwara, M., Koderu, Y., Tanaka, C., Ohashi, N., Nakayama, G., Koike, M., & Nakao, A. (2011). Construct validity of the LapVR virtual-reality surgical simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *25*(2), 423–428. <https://doi.org/10.1007/s00464-010-1184-x>
- Jeanblanc, J., Rolland, B., Gierski, F., Martinetti, M. P., & Naassila, M. (2018). Animal models of binge drinking, current challenges to improve face validity. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.05.002>
- Jeanblanc, J., Sauton, P., Jeanblanc, V., Legastelois, R., Echeverry-Alzate, V., Lebourgeois, S., Gonzalez-Marin, M., & Naassila, M. (2019). Face validity of a pre-clinical model of operant binge drinking: just a question of speed. *Addiction Biology*, *24*(4), 664–675. <https://doi.org/10.1111/adb.12631>
- Jones, J. C. (1970). *Design Methods: seeds of human futures*. John Wiley and Sons Inc.

- Jordan, J. A., Gallagher, A. . G., McGuigan, J., McGlade, K., & McClure, N. (2000). A comparison between randomly alternating imaging, normal laparoscopic imaging, and virtual reality training in laparoscopic psychomotor skill acquisition. *American Journal of Surgery, 180*(3), 208–211. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11084131>
- Jordan, J. A., Gallagher, A. G., McGuigan, J., & McClure, N. (2000). Randomly alternating image presentation during laparoscopic training leads to faster automation to the " fulcrum effect". *Endoscopy, 32*(4), 317–321. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10774973>
- Jordan, J. A., Gallagher, A. G., McGuigan, J., & McClure, N. (2001). Virtual reality training leads to faster adaptation to the novel psychomotor restrictions encountered by laparoscopic surgeons. *Surgical Endoscopy, 15*(10), 1080–1084. <https://doi.org/10.1007/s004640000374>
- Juuti, K., & Lavonen, J. (2006). Design-Based Research in Science Education : One Step Towards Methodology. *NorDiNa: Nordic Studies in Science Education, 4*, 54–68.
- Kane, M. T. (2013). Validating the Interpretations and Uses of Test Scores. *Journal of Educational Measurement, 50*(1), 1–73. <https://doi.org/10.1111/jedm.12000>
- Kanumuri, P., Ganai, S., Wohaihi, E. M., Bush, R. W., Grow, D. R., & Seymour, N. E. (2008). Virtual reality and computer-enhanced training devices equally improve laparoscopic surgical skill in novices. *JSLs: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons / Society of Laparoendoscopic Surgeons, 12*(3), 219–226. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3015873&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- 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>
- Kelly, A. E. (2003). Theme Issue: The Role of Design in Educational Research. Research as Design. *Educational Researcher, 32*(1), 3–4.

- Kelly, A. E. (2004). Design Research in Education: Yes, but is it Methodological? *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 115–128. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_6
- Kelly, A. E. (2015). Design-based research in engineering education: Current state and next steps. In *Cambridge Handbook of Engineering Education Research* (pp. 497–518). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139013451.032>
- Kennedy-Clark, S. (2013). Research by Design: Design-Based Research and the Higher Degree Research student. *Journal of Learning Design*, 6(2), 26–32. <https://doi.org/10.5204/jld.v6i2.128>
- Kennedy, C. C., Maldonado, F., & Cook, D. a. (2013). Simulation-based bronchoscopy training: Systematic review and meta-analysis. *Chest*, 144(1), 183–192. <https://doi.org/10.1378/chest.12-1786>
- Khan, R., Plahouras, J., Johnston, B. C., Scaffidi, M. A., Grover, S. C., & Walsh, C. M. (2018). Virtual reality simulation training for health professions trainees in gastrointestinal endoscopy. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8, CD008237. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008237.pub3>
- Kim, J. W., Ritter, F. E., & Koubek, R. J. (2013). An integrated theory for improved skill acquisition and retention in the three stages of learning. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 14(1), 22–37. <https://doi.org/10.1080/1464536X.2011.573008>
- Kim, T., Frank, C., & Schack, T. (2017). A Systematic Investigation of the Effect of Action Observation Training and Motor Imagery Training on the Development of Mental Representation Structure and Skill Performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 499. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00499>
- Kirkman, M. A., Ahmed, M., Albert, A. F., Wilson, M. H., Nandi, D., & Sevdalis, N. (2014). The use of simulation in neurosurgical education and training. *Journal of Neurosurgery*, 121(2), 228–246. <https://doi.org/10.3171/2014.5.JNS131766>

- Kleindorfer, G. B., O'Neill, L., & Ganeshan, R. (1998). Validation in Simulation: Various Positions in the Philosophy of Science. In *Management Science*, 44(8), pp. 1087–1099. <https://doi.org/10.1287/mnsc.44.8.1087>
- Kleinert, R., Wahba, R., Chang, D.-H., Plum, P., Hölscher, A. H., & Stippel, D. L. (2015). 3D Immersive Patient Simulators and Their Impact on Learning Success: A Thematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, 17(4), e91. <https://doi.org/10.2196/jmir.3492>
- Klingensmith, M. E., & Lewis, F. R. (2013). General surgery residency training issues. *Advances in Surgery*, 47, 251–270. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24298855>
- Kneebone, R. L. (2003). Simulation in surgical training: Educational issues and practical implications. *Medical Education*, 37(3), 267–277. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2003.01440.x>
- 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., & 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>
- Knowles, M., Holton, E. ., & Swanson, R. . (2001). *Andragogía : el aprendizaje de los adultos*. Oxford University Press.
- Koch, A. D., Buzink, S. N., Heemskerk, J., Botden, S. M. B. I., Veenendaal, R., Jakimowicz, J. J., & Schoon, E. J. (2008). Expert and construct validity of the Symbionix GI Mentor II endoscopy simulator for colonoscopy. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 22(1), 158–162. <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9394-6>
- Koch, R. W., Moodie, S., Folkeard, P., Scollie, S., Janeteas, C., Agrawal, S. K., & Ladak, H. M. (2018). Face and Content Validity of a Probe Tube Placement Training Simulator. *Journal of the American Academy of Audiology*, 30(3), 227–234. <https://doi.org/10.3766/jaaa.17114>

- Kogan, M., Klein, S. E., Hannon, C. P., & Nolte, M. T. (2020). Orthopaedic Education During the COVID-19 Pandemic. In *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 28(11), pp. e456–e464). NLM (Medline). <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-20-00292>
- Koivisto, J. M., Haavisto, E., Niemi, H., Haho, P., Nylund, S., & Multisilta, J. (2018). Design principles for simulation games for learning clinical reasoning: A design-based research approach. *Nurse Education Today*, 60, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2017.10.002>
- Koivisto, J. M., Hannula, L., Bøje, R. U., Prescott, S., Bland, A., Rekola, L., & Haho, P. (2018). Design-based research in designing the model for educating simulation facilitators. *Nurse Education in Practice*, 29, 206–211. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2018.02.002>
- Kolb, A., & Kolb, D. (2005). Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing Experiential Learning in Higher Education. *Academy of Management Learning & Education*, 4(2), 193–212.
- Kolmos, A. (2015). Design-Based Research: A Strategy for Change in Engineering Education. In B. N. Steen Hyldgaard Christensen, Christelle Didier, Andrew Jamison, Martin Meganck, Carl Mitcham (Ed.), *International Perspectives on Engineering Education: Engineering Education and Practice in Context* (pp. 373–392). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16169-3_18
- Kopta, J. A. (1971). The development of motor skills in orthopaedic education. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 75, 80–85. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4929010>
- Korndorffer, J. ., Fellingner, E., & Reed, W. (2010). SAGES guideline for laparoscopic appendectomy. *Surgical Endoscopy*, 24(4), 757–761. <https://doi.org/10.1007/s00464-009-0632-y>
- Korndorffer, J. R., Bellows, C. F., Tekian, A., Harris, I. B., & Downing, S. M. (2012). Effective home laparoscopic simulation training: A preliminary evaluation of an improved training paradigm. *American Journal of Surgery*, 203(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2011.07.001>

- Korndorffer, J. R., Clayton, J. L., Tesfay, S. T., Brunner, W. C., Sierra, R., Dunne, J. B., Jones, D. B., Rege, R. V., Touchard, C. L., & Scott, D. J. (2005). Multicenter construct validity for southwestern laparoscopic videotrainer stations. *Journal of Surgical Research*, *128*(1), 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2005.03.014>
- Korndorffer, J. R., Dunne, J. B., Sierra, R., Stefanidis, D., Touchard, C. L., & Scott, D. J. (2005). Simulator training for laparoscopic suturing using performance goals translates to the operating room. *Journal of the American College of Surgeons*, *201*(1), 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2005.02.021>
- Korndorffer, J. R., Hayes, D. J., Dunne, J. B., Sierra, R., Touchard, C. L., Markert, R. J., & Scott, D. J. (2005). Development and transferability of a cost-effective laparoscopic camera navigation simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *19*(2), 161–167. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-8901-2>
- Korndorffer, J. R., Kasten, S. J., & Downing, S. M. (2010). A call for the utilization of consensus standards in the surgical education literature. *American Journal of Surgery*, *199*(1), 99–104.
- Korndorffer, J. R., Stefanidis, D., & Scott, D. J. (2006). Laparoscopic skills laboratories: Current assessment and a call for resident training standards. *American Journal of Surgery*, *191*(1), 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.05.048>
- Kothari, S. N., Kaplan, B. J., DeMaria, E. J., Broderick, T. J., & Merrell, R. C. (2002). Training in laparoscopic suturing skills using a new computer-based virtual reality simulator (MIST-VR) provides results comparable to those with an established pelvic trainer system. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A*, *12*(3), 167–173. <https://doi.org/10.1089/10926420260188056>
- Kotsis, S. V, & Chung, K. C. (2013). Application of the “see one, do one, teach one” concept in surgical training. *Plastic and Reconstructive Surgery*, *131*(5), 1194–1201. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e318287a0b3>

- Kovac, E., Azhar, R. A., Quirouet, A., Delisle, J., & Anidjar, M. (2012). Construct validity of the lapSim virtual reality laparoscopic simulator within a urology residency program. *Journal of the Canadian Urological Association, 6*(4), 253–259. <https://doi.org/10.5489/cuaj.12047>
- Kowalewski, K.-F., Hendrie, J. D., Schmidt, M. W., Garrow, C. R., Bruckner, T., Proctor, T., Paul, S., Adigüzel, D., Bodenstedt, S., Erben, A., Kenngott, H., Erben, Y., Speidel, S., Müller-Stich, B. P., & Nickel, F. (2017). Development and validation of a sensor- and expert model-based training system for laparoscopic surgery: the iSurgeon. *Surgical Endoscopy, 31*(5), 2155–2165. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-5213-2>
- Kozlowski, S. W. J., & DeShon, R. P. (2004). Scaled Worlds: Development, validation, and applications. In E. Salas, L. R. Elliott, S. G. Schflett, & M. D. Coovert (Eds.), *A psychological fidelity approach to simulation-based training: Theory, research, and principles*. (pp. 75–99). Ashgate Publishing.
- Kristensen, M., Nierenberg, A. A., & Østergaard, S. D. (2018). Face and predictive validity of the Clock Δ 19 mouse as an animal model for bipolar disorder: a systematic review. *Molecular Psychiatry, 23*(1), 70–80. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.192>
- Krummel, T. M. (1998). Surgical simulation and virtual reality: the coming revolution. *Annals of Surgery, 228*(5), 635–637. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1191568&tool=pmcentrez&endertype=abstract>
- Kuehnäpfel, U. G., & Neisius, B. (1993). CAD-based graphical computer simulation in endoscopic surgery. *Endoscopic Surgery and Allied Technologies, 1*(3), 181–184. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8055320>
- Kühnapfel, U., Cakmak, H., & Maas, H. (1999). 3D Modeling for Endoscopic Surgery Proc. *IEEE Symposium on Simulation, Delft University, Delft, NL*, 22–32.
- Kundhal, P. S., & Grantcharov, T. P. (2009). Psychomotor performance measured in a virtual environment correlates with technical skills in the operating room. *Surgical Endoscopy and*

Other Interventional Techniques, 23(3), 645–649. <https://doi.org/10.1007/s00464-008-0043-5>

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>

Küttner-Magalhães, R., Dinis-Ribeiro, M., Bruno, M. J., Marcos-Pinto, R., Rolanda, C., & Koch, A. D. (2018). Training in endoscopic mucosal resection and endoscopic submucosal dissection: Face, content and expert validity of the live porcine model. *United European Gastroenterology Journal*, 6(4), 547–557. <https://doi.org/10.1177/2050640617742484>

Lacerda, D. P., Dresch, A., Proença, A., & 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>

Lahanas, V., Loukas, C., Georgiou, K., Lababidi, H., & Al-Jaroudi, D. (2017). Virtual reality-based assessment of basic laparoscopic skills using the Leap Motion controller. *Surgical Endoscopy*, 31(12), 5012–5023. <https://doi.org/10.1007/s00464-017-5503-3>

Lamata, P., Gómez, E. J., Bello, F., Kneebone, R. L., Aggarwal, R., & 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>

Lange, T., Indelicato, D. J., & Rosen, J. M. (2000). Virtual reality in surgical training. *Surgical Oncology Clinics of North America*, 9(1), 61–79, vii. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10601525>

Lanier, J., & Biocca, F. (1992). An Insider's View of the Future of Virtual Reality. *Journal of Communication*, 42(4), 150–172. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00816.x>

Larsen, A. E., Morville, A.-L., & Hansen, T. (2019). Translating the Canadian Occupational Performance Measure to Danish, addressing face and content validity. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 26(1), 33–45. <https://doi.org/10.1080/11038128.2017.1388441>

- Larsen, C. R., Grantcharov, T., Aggarwal, R., Tully, A., Sørensen, J. L., Dalsgaard, T., & Ottesen, B. (2006). Objective assessment of gynecologic laparoscopic skills using the LapSimGyn virtual reality simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *20*(9), 1460–1466. <https://doi.org/10.1007/s00464-005-0745-x>
- Larsen, C. R., Oestergaard, J., Ottesen, B. S., & Soerensen, J. L. (2012). The efficacy of virtual reality simulation training in laparoscopy: A systematic review of randomized trials. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, *91*(9), 1015–1028. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0412.2012.01482.x>
- Larsen, C. R., Soerensen, J. L., Grantcharov, T. P., Dalsgaard, T., Schouenborg, L., Ottosen, C., Schroeder, T. V., & Ottesen, B. S. (2009). Effect of virtual reality training on laparoscopic surgery: randomised controlled trial. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, *338*, b1802. <https://doi.org/10.1136/bmj.b1802>
- Lebet, R. M., Asaro, L. A., Zuppa, A. F., & Curley, M. A. Q. (2018). Face and content validity of variables associated with the difficult-to-sedate child in the paediatric intensive care unit: A survey of paediatric critical care clinicians. *Australian Critical Care*, *31*(3), 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2017.12.091>
- LeBlanc, V. R., Tabak, D., Kneebone, R., Nestel, D., MacRae, H., & Moulton, C.-A. (2009). Psychometric properties of an integrated assessment of technical and communication skills. *The American Journal of Surgery*, *197*(1), 96–101. <https://doi.org/10.1016/J.AMJSURG.2008.08.011>
- Lee, J. Y., Mucksavage, P., Kerbl, D. C., Huynh, V. B., Etafy, M., & McDougall, E. M. (2012). Validation study of a virtual reality robotic simulator role as an assessment tool? *Journal of Urology*, *187*(3), 998–1002. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2011.10.160>
- Leijte, E., Arts, E., Witteman, B., Jakimowicz, J., De Blaauw, I., & Botden, S. (2019). Construct, content and face validity of the eoSim laparoscopic simulator on advanced suturing tasks. *Surgical Endoscopy*, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00464-018-06652-3>

- Lendvay, T. S., Casale, P., Sweet, R., & Peters, C. (2008). Initial validation of a virtual-reality robotic simulator. *Journal of Robotic Surgery*, 2(3), 145–149. <https://doi.org/10.1007/s11701-008-0099-1>
- Levine, A., DeMaria, S., Schwartz, A., & Sim, A. (Eds.). (2013). *The Comprehensive Textbook of Healthcare Simulation* (1st ed.). Springer-Verlag New York Copyright Holder Springer Science+Business Media New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5993-4>
- Levy. (1996). Virtual Reality Hysteroscopy. *The Journal of the American Association of Gynecologic Laparoscopists*, 3(4, Supplement), S25-6. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9074164>
- Lewis, F. R., & Klingensmith, M. E. (2012). Issues in General Surgery Residency Training—2012. *Annals of Surgery*, 256(4), 553–559. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e31826bf98c>
- Li, C., Cheung, T. F., Fan, V. C., Sin, K. M., Wong, C. W. Y., & Leung, G. K. K. (2017). Applications of Three-Dimensional Printing in Surgery. *Surgical Innovation*, 24(1), 82–88. <https://doi.org/10.1177/1553350616681889>
- Li, M. M., & George, J. (2017). A systematic review of low-cost laparoscopic simulators. *Surgical Endoscopy*, 31(1), 38–48. <https://doi.org/10.1007/s00464-016-4953-3>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., & John, P. A. (2009). *The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions explanation and elaboration -- Liberati et al_ 339 b2700 -- BMJ.PDF*. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
- Litynski, G. S. (1999). Profiles in laparoscopy: Mouret, Dubois, and Perissat: the laparoscopic breakthrough in Europe (1987-1988). *JSL: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons / Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 3(2), 163–167.
- Lopes, F., Carvas Júnior, N., Nakamura, M. U., & Nomura, R. M. Y. (2019). Content and Face Validity of the Mackey Childbirth Satisfaction Rating Scale Questionnaire Cross-culturally Adapted to Brazilian Portuguese. *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia / RBGO Gynecology and Obstetrics*, 41(06), 371–378. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1692125>

- Loukas, C., Nikiteas, N., Schizas, D., Lahanas, V., & Georgiou, E. (2012). A head-to-head comparison between virtual reality and physical reality simulation training for basic skills acquisition. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 26(9), 2550–2558. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2230-7>
- Lynagh, M., Burton, R., & Sanson-Fisher, R. (2007). A systematic review of medical skills laboratory training: where to from here? *Medical Education*, 41(9), 879–887. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2007.02821.x>
- Maass, H., Chantier, B. B. A., Cakmak, H. K., Trantakis, C., & Kuehnafel, U. G. (2003). Fundamentals of force feedback and application to a surgery simulator. *Computer Aided Surgery : Official Journal of the International Society for Computer Aided Surgery*, 8(6), 283–291. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15742665>
- MacFadyen, B. V., Vecchio, R., Ricardo, A. E., & Mathis, C. R. (1998). Bile duct injury after laparoscopic cholecystectomy. *Surgical Endoscopy*, 12(4), 315–321. <https://doi.org/10.1007/s004649900661>
- Mackay, S., Datta, V., Chang, A., Shah, J., Kneebone, R., & Darzi, A. (2003). Multiple Objective Measures of Skill (MOMS): a new approach to the assessment of technical ability in surgical trainees. *Annals of Surgery*, 238(2), 291–300. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000080829.29028.c4>
- Mackay, S., Morgan, P., Datta, V., Chang, a., & Darzi, a. (2002). Practice distribution in procedural skills training: A randomized controlled trial. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16(6), 957–961. <https://doi.org/10.1007/s00464-001-9132-4>
- Madan, A. ., Frantzides, C. T., & Sasso, L. M. (2005). Laparoscopic baseline ability assessment by virtual reality. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A*, 15(1), 13–17. <https://doi.org/10.1089/lap.2005.15.13>

- Madan, A. K., & Frantzides, C. T. (2007a). Prospective randomized controlled trial of laparoscopic trainers for basic laparoscopic skills acquisition. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 21(2), 209–213. <https://doi.org/10.1007/s00464-006-0149-6>
- Madan, A. K., & Frantzides, C. T. (2007b). Substituting virtual reality trainers for inanimate box trainers does not decrease laparoscopic skills acquisition. *JSLS : Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 11(1), 87–89. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3015783&tool=pmcentrez&endertype=abstract>
- Madan, A. K., Frantzides, C. T., Shervin, N., & Tebbit, C. L. (2003). Assessment of individual hand performance in box trainers compared to virtual reality trainers. *The American Surgeon*, 69(12), 1112-1114.
- Madan, A. K., Frantzides, C. T., Tebbit, C., & Quiros, R. M. (2005). Participants' opinions of laparoscopic training devices after a basic laparoscopic training course. *American Journal of Surgery*, 189(6), 758–761. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.03.022>
- Madan, A. K., Harper, J., Frantzides, C., & Tichansky, D. (2008). Nonsurgical skills do not predict baseline scores in inanimate box or virtual-reality trainers. *Surgical Endoscopy*, 22(7), 1686-1689.
- Maithel, S. K., Sierra, R., Korndorffer, J., Neumann, P., Dawson, S., Callery, M., Jones, D., & 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>
- Maithel, S. K., Villegas, L., Stylopoulos, N., Dawson, S., & Jones, D. B. (2005). Simulated laparoscopy using a head-mounted display vs traditional video monitor: an assessment of performance and muscle fatigue. *Surgical Endoscopy*, 19(3), 406–411. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-8177-6>

- Makary, M. A., & Daniel, M. (2016). Medical error-the third leading cause of death in the US. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 353, i2139. <https://doi.org/10.1136/bmj.i2139>.
- Makiyama, K., Yamanaka, H., Ueno, D., Ohsaka, K., Sano, F., Nakaigawa, N., Yao, M., & Kubota, Y. (2015). Validation of a patient-specific simulator for laparoscopic renal surgery. *International Journal of Urology*, 22(6), 572–576. <https://doi.org/10.1111/iju.12737>
- Manson, N. (2006). Is operations research really research? *ORiON*, 22(2). <https://doi.org/10.5784/22-2-40>
- Mansoor, S. M., Våpenstad, C., Mårvik, R., Glomsaker, T., & Bliksøen, M. (2019). Construct validity of eoSim – a low-cost and portable laparoscopic simulator. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 1–8. <https://doi.org/10.1080/13645706.2019.1638411>
- March, S. T., & 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)
- Marescaux, J., Clément, J. M., Tasseti, V., Koehl, C., Cotin, S., Russier, Y., Mutter, D., Delingette, H., & Ayache, N. (1998). Virtual reality applied to hepatic surgery simulation: The next revolution. *Annals of Surgery*, 228(5), 627–634. <https://doi.org/10.1097/00000658-199811000-00001>
- Markus, M. L., A., M., & Gasser, L. (2002). A design theory for systems that support emergent knowledge processes. *MIS Quarterly*, 26(3), 179–212.
- Mårtensson, P., Fors, U., Fröberg, E., Zander, U., & Nilsson, G. H. (2019). Quality of Research Practice – An interdisciplinary face validity evaluation of a quality model. *PLOS ONE*, 14(2), e0211636. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211636>
- Martin, J. A., Regehr, G., Reznick, R., Macrae, H., Murnaghan, J., Hutchison, C., & Brown, M. (1997). Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *British Journal of Surgery*, 84(2), 273–278. <https://doi.org/10.1002/bjs.1800840237>

- Matsumoto, E. D., Hamstra, S. J., Radomski, S. B., & 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)
- Mauch, J. E., & Park, N. (2003). *Guide to the Successful Thesis and Dissertation. A Handbook for Students and Faculty* (A. Kent (Ed.); Fifth Edit). Marcel Dekker, Inc.
- Mausser, S., & Burgert, O. (2014). Touch-free, gesture-based control of medical devices and software based on the leap motion controller. *Studies in Health Technology and Informatics*, 196, 265–270. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24732520>
- Mazur, T., Mansour, T. R., Mugge, L., & Medhkour, A. (2018). Virtual Reality–Based Simulators for Cranial Tumor Surgery: A Systematic Review. *World Neurosurgery*, 110, 414–422. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.11.132>
- McCarthy, J. (1980). Circumscription—A form of non-monotonic reasoning. *Artificial Intelligence*, 13(1–2), 27–39. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(80\)90011-9](https://doi.org/10.1016/0004-3702(80)90011-9)
- McCloy, R., & Stone, R. (2001). Virtual reality in surgery. *BMJ : British Medical Journal*, 323(7318), 912–915. <https://doi.org/10.1136/bmj.323.7318.912>
- McCloy, R., Wilson, M., Sutton, C., Middlebrook, A., Chater, P., & Stone, R. (1997). MIST VR: A part-task virtual reality trainer for laparoscopic surgery. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 3 (suppl 1).
- McClusky, D. A., Gallagher, A. G., Ritter, E. M., Lederman, A. B., Van Sickle, K. R., Baghai, M., & Smith, C. D. (2004). Virtual reality training improves junior residents' operating room performance: Results of a prospective, randomized, double-blinded study of the complete laparoscopic cholecystectomy. *Journal of the American College of Surgeons*, 199(3), 73. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2004.05.157>
- McClusky, D. A., Ritter, E. M., Lederman, A. B., Gallagher, A. G., & Smith, C. D. (2005). Correlation between perceptual, visuo-spatial, and psychomotor aptitude to duration of training

- required to reach performance goals on the MIST-VR surgical simulator. *The American Surgeon*, 71(1), 13–20; discussion 20-1. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15757051>
- McDougall, E. M. (2007). Validation of surgical simulators. *Journal of Endourology / Endourological Society*, 21(3), 244–247. <https://doi.org/10.1089/end.2007.9985>
- McDougall, E. M., Corica, F. A., Boker, J. R., Sala, L. G., Stoliar, G., Borin, J. F., Chu, F. T., & Clayman, R. V. (2006). Construct Validity Testing of a Laparoscopic Surgical Simulator. *Journal of the American College of Surgeons*, 202(5), 779–787. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2006.01.004>
- McGaghie, W. C., Issenberg, S. B., Petrusa, E. R., & Scalese, R. J. (2006). Effect of practice on standardised learning outcomes in simulation-based medical education. *Medical Education*, 40(8), 792–797. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02528.x>
- McGlinchey, T., Mason, S., Coackley, A., Roberts, A., Maguire, M., Sanders, J., Maloney, F., Block, S., Ellershaw, J., & Kirkbride, P. (2019). Serious illness care Programme UK: assessing the ‘face validity’, applicability and relevance of the serious illness conversation guide for use within the UK health care setting. *BMC Health Services Research*, 19(1), 384. <https://doi.org/10.1186/s12913-019-4209-8>
- McKay, J., & Marshall, P. (2001). The dual imperatives of action research. *Information Technology & People*. <https://doi.org/10.1108/09593840110384771>
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2013). Systematic Review of Design-Based Research Progress: Is a Little Knowledge a Dangerous Thing? *Educational Researcher*, 42(2), 97–100. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463781>
- McKenney, S., & Van Den Akker, J. (2005). Computer-based support for curriculum designers: A case of developmental research. *Educational Technology Research and Development*, 53(2), 41–66. <https://doi.org/10.1007/BF02504865>

- McNatt, S. S., & Smith, C. D. (2001). A computer-based laparoscopic skills assessment device differentiates experienced from novice laparoscopic surgeons. *Surgical Endoscopy*, *15*(10), 1085–1089. <https://doi.org/10.1007/s004640080022>
- Meade, L. B., Bearne, L. M., & Godfrey, E. L. (2018). Comprehension and face validity of the Exercise Adherence Rating Scale in patients with persistent musculoskeletal pain. *Musculoskeletal Care*, *16*(3), 409–412. <https://doi.org/10.1002/msc.1240>
- Meier, A. H., Rawn, C. L., & Krummel, T. M. (2001). Virtual reality: Surgical application - Challenge for the new millennium. *Journal of the American College of Surgeons*, *192*(3), 372–384. [https://doi.org/10.1016/S1072-7515\(01\)00769-4](https://doi.org/10.1016/S1072-7515(01)00769-4)
- Melich, G., Pai, A., Shoela, R., Kochar, K., Patel, S., Park, J., Prasad, L., & Marecik, S. (2018). Rectal Dissection Simulator for da Vinci Surgery. *Diseases of the Colon & Rectum*, *61*(4), 514–519. <https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000001044>
- 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>
- Michael, M., Abboudi, H., Ker, J., Shamim Khan, M., Dasgupta, P., & Ahmed, K. (2014). Performance of technology-driven simulators for medical students--a systematic review. *The Journal of Surgical Research*, *192*(2), 531–543. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.06.043>

- Miller, G. E. (1990). The assessment of clinical skills/competence/performance. In *Academic Medicine*, 65(9), pp. S63–S67). Acad Med. <https://doi.org/10.1097/00001888-199009000-00045>
- Miskovic, D., Wyles, S. M., Ni, M., Darzi, A. W., & Hanna, G. B. (2010). Systematic Review on Mentoring and Simulation in Laparoscopic Colorectal Surgery. *Annals of Surgery*, 252(6), 943–951. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3181f662e5>
- Modi, C. S., Morris, G., & Mukherjee, R. (2010). Computer-Simulation Training for Knee and Shoulder Arthroscopic Surgery. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 26(6), 832–840. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2009.12.033>
- Moghul, M. R., Sodergren, M. H., Clark, J., Teare, J., Yang, G.-Z., & Darzi, A. (2013). Education and Training in NOTES. *Surgical Innovation*, 20(3), 282–291. <https://doi.org/10.1177/1553350612474495>
- Moglia, A., Ferrari, V., Morelli, L., Ferrari, M., Mosca, F., & Cuschieri, A. (2016). A Systematic Review of Virtual Reality Simulators for Robot-assisted Surgery. *European Urology*, 69(6), 1065–1080. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2015.09.021>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., ... Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. In *Annals of Internal Medicine*, 151(4), pp. 264–269). American College of Physicians. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- Moldovanu, R., Târcoveanu, E., Dimofte, G., Lupașcu, C., & Bradea, C. (2011). Preoperative Warm-Up Using a Virtual Reality Simulator. *JSLs, Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 15(4), 533–538. <https://doi.org/10.4293/108680811X13176785204409>

- Moore, A. K., Grow, D. R., Bush, R. W., & Seymour, N. E. (2008). Novices outperform experienced laparoscopists on virtual reality laparoscopy simulator. *SLS: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons / Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 12(4), 58–362.
- Moore, M. J., & Bennett, C. L. (1995). The learning curve for laparoscopic cholecystectomy. The Southern Surgeons Club. *American Journal of Surgery*, 170(1), 55–59.
- Moorthy, K., Munz, Y., Adams, S., Pandey, V., & Darzi, A. (2005). A human factors analysis of technical and team skills among surgical trainees during procedural simulations in a simulated operating theatre. *Annals of Surgery*, 242(5), 631–639. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000186298.79308.a8>
- Moorthy, K., Munz, Y., Sarker, S. K., & Darzi, A. (2003). Objective assessment of technical skills in surgery. *British Medical Journal (BMJ)*, 327(7422), 1032–1037. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7422.1032>
- Morgan, M., Aydin, A., Salih, A., Robati, S., & Ahmed, K. (2017). Current Status of Simulation-based Training Tools in Orthopedic Surgery: A Systematic Review. *Journal of Surgical Education*, 74(4), 698–716. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.01.005>
- Mosier, C. I. (1947). A Critical Examination of the Concepts of Face Validity. *Educational and Psychological Measurement*, 7(2), 191–205. <https://doi.org/10.1177/001316444700700201>
- Moulton, C. A. E., Dubrowski, A., Macrae, H., Graham, B., Grober, E., & Reznick, R. (2006). Teaching surgical skills: what kind of practice makes perfect?: a randomized, controlled trial. *Annals of Surgery*, 244(3), 400–409. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000234808.85789.6a>
- Moulton, J. M., Cole, C., Ridgers, N. D., Pepin, G., & Barnett, L. M. (2019). Measuring movement skill perceptions in preschool children: A face validity and reliability study. *Australian Occupational Therapy Journal*, 66(1), 13–22. <https://doi.org/10.1111/1440-1630.12485>
- 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>

- Mughal, M. (1992). A cheap laparoscopic surgery trainer. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 74(4), 256–257. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1416677>
- Mühe, E. (1992). Long-Term Follow-Up after Laparoscopic Cholecystectomy. *Endoscopy*, 24(09), 754–758. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1009119>
- 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>
- Munz, Y., Almoudaris, A. M., Moorthy, K., Dosis, A., Liddle, A. D., & Darzi, A. W. (2007). Curriculum-based solo virtual reality training for laparoscopic intracorporeal knot tying: objective assessment of the transfer of skill from virtual reality to reality. *American Journal of Surgery*, 193(6), 774–783. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2007.01.022>
- Munz, Y., Kumar, B. D., Moorthy, K., Bann, S., & Darzi, a. (2004). Laparoscopic virtual reality and box trainers: Is one superior to the other? *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 18(3), 485–494. <https://doi.org/10.1007/s00464-003-9043-7>
- Musbahi, O., Aydin, A., Al Omran, Y., Skilbeck, C. J., & Ahmed, K. (2017). Current Status of Simulation in Otolaryngology: A Systematic Review. *Journal of Surgical Education*, 74(2), 203–215. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2016.09.007>
- Nagendran, M., Gurusamy, K. S., Aggarwal, R., Loizidou, M., & Davidson, B. R. (2013). Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8, CD006575. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006575.pub3>
- Nagendran, M., Toon, C. D., Davidson, B. R., & Gurusamy, K. S. (2014). Laparoscopic surgical box model training for surgical trainees with no prior laparoscopic experience. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1(1), CD010479. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010479.pub2>

- Nakamura, L. Y., Martin, G. L., Fox, J. C., Andrews, P. E., Humphreys, M., & Castle, E. P. (2012). Comparing the Portable Laparoscopic Trainer with a Standardized Trainer in Surgically Naïve Subjects. *Journal of Endourology*, 26(1), 67–72. <https://doi.org/10.1089/end.2011.0335>
- Nasca, T. J., Day, S. H., & Amis, E. S. (2010). The new recommendations on duty hours from the ACGME Task Force. *The New England Journal of Medicine*, 363(2), e3. <https://doi.org/10.1056/NEJMSb1005800>
- National Academy of Engineering. (1995). Forces Shaping the U.S. Academic Engineering Research Enterprise. In *Forces Shaping the U.S. Academic Engineering Research Enterprise*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/4933>
- Neary, P. C., Boyle, E., Delaney, C. P., Senagore, A. J., Keane, F. B. V., & Gallagher, A. G. (2008). Construct validation of a novel hybrid virtual-reality simulator for training and assessing laparoscopic colectomy; results from the first course for experienced senior laparoscopic surgeons. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 22(10), 2301–2309. <https://doi.org/10.1007/s00464-008-9900-5>
- Newman, D. (1990). Opportunities for Research on the Organizational Impact of School Computers. *Educational Researcher*, 19(3), 8–13. <https://doi.org/10.3102/0013189X019003008>
- Newton, P. E., & Baird, J. A. (2016, April 2). The great validity debate. *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice*, 23(2), 173–177. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2016.1172871>
- Nguyen, N. T., Ho, H. S., Smith, W. D., Philipps, C., Lewis, C., De Vera, R. M., & Berguer, R. (2001). An ergonomic evaluation of surgeons' axial skeletal and upper extremity movements during laparoscopic and open surgery. *The American Journal of Surgery*, 182, 720–724. https://0-ac-els--cdn-com.catalog.uoc.edu/S0002961001008017/1-s2.0-S0002961001008017-main.pdf?_tid=ae04f96c-eb3f-43b8-b825-5f976ff26bd1&acdnat=1551114014_0c7db8194d9cbbd7e912efdbc55f200f

- Nguyen, T., Braga, L. H., Hoogenes, J., & Matsumoto, E. D. (2013). Commercial video laparoscopic trainers versus less expensive, simple laparoscopic trainers: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Urology*, *190*(3), 894–899. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2013.03.115>
- Nikpajouh, A., Shahrbafe, M. A., Doayie, M., Mohseny, M., Ebadi, A., Alizadeh, M., Zeinalzadeh, A. H., Laal, N., Hasandokht, T., Tarjoman, T., Ahmadi, M., Sabzmakan, L., Yekta, Z., Sanaei, Z., & Seif-Rabiei, M. A. (2018). Health promoting hospitals in Iran: Persian translation, cultural adaptation, content and face validation of self-assessment form of the standards of health promoting hospitals affiliated to the World Health Organization. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, *32*, 704–711. <https://doi.org/10.14196/mjiri.32.120>
- Nisky, I., Huang, F., Milstein, A., Pugh, C. M., Mussa-Ivaldi, F. a., & Karniel, A. (2012). Perception of stiffness in laparoscopy - The *fulcrum* effect. *Studies in Health Technology and Informatics*. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-022-2-313>
- Noble, C. (2002). The relationship between fidelity and learning in aviation training and assessment BE. *Journal of Air Transportation*, *7*(3), 33–54. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.8909&rep=rep1&type=pdf>
- Norman, G., Dore, K., & Grierson, L. (2012). The minimal relationship between simulation fidelity and transfer of learning. *Medical Education*, *46*(7), 636–647. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2012.04243.x>
- Norris, J. M., & Smith, M. D. (2013). Video gaming: The best preparation for surgical training? or should we mourn the death of model airplanes? *Journal of Surgical Education*, *70*(2), 171. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2012.09.005>
- Noureldin, Y. A., Lee, J. Y., McDougall, E. M., & Sweet, R. M. (2018). Competency-Based Training and Simulation: Making a “valid” Argument. In *Journal of Endourology*, *32*(2), pp. 84–93. Mary Ann Liebert Inc. <https://doi.org/10.1089/end.2017.0650>

- Nunamaker, J. F., & Chen, M. (1990). Systems development in information systems research. *Twenty-Third Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, iii, 631–640. <https://doi.org/10.1109/HICSS.1990.205401>
- Nunamaker, J. F., Chen, M., & Purdin, T. M. D. (1991). Systems development in information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 7(3), 89–106. <https://doi.org/10.1109/HICSS.1990.205401>
- O'Donnell, A. M. (2004). A commentary on design research. *Educational Psychologist*, 39(4), 255–260. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3904_7
- Oates, B. J. (2006a). Design and Creation. In *Researching Information Systems and Computing* (p. 360). SAGE Publications.
- Oates, B. J. (2006b). *Researching Information Systems and Computing*. SAGE Publications Ltd.
- Ogura, T., Ishida, Y., Sato, M., Hayashi, N., Yasumoto, Y., Tsutsumi, S., Okajima, M., & Doi, K. (2014). Development of a novel image operation system with finger movement using a motion sensor for angiography in operating rooms. *European Congress of Radiology*. <https://doi.org/10.1594/ecr2014/C-0490>
- Ogura, T., Sato, M., Ishida, Y., Hayashi, N., & 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>
- Ogura, T., Sato, M., Kadowaki, Y., Yasumoto, Y., Okajima, M., Tsutsumi, S., & Doi, K. (2015, January). Development of a new method for manipulation of dental images using a motion sensor in dentistry. *European Congress of Radiology*. <https://doi.org/10.1594/ecr2015/C-0251>
- Oh, E., & Reeves, T. C. (2010). The implications of the differences between design research and instructional systems design for educational technology researchers and practitioners.

Educational Media International, 47(4), 263–275.
<https://doi.org/10.1080/09523987.2010.535326>

- Olsen, D. O. (2000). Bile duct injuries during laparoscopic cholecystectomy: a decade of experience. *Journal of Hepato-Biliary-Pancreatic Surgery*, 7(1), 35–39.
<https://doi.org/10.1007/s005340050151>
- Onos, K. D., Uyar, A., Keezer, K. J., Jackson, H. M., Preuss, C., Acklin, C. J., O'Rourke, R., Buchanan, R., Cossette, T. L., Sukoff Rizzo, S. J., Soto, I., Carter, G. W., & Howell, G. R. (2019). Enhancing face validity of mouse models of Alzheimer's disease with natural genetic variation. *PLOS Genetics*, 15(5), e1008155. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1008155>
- Oropesa, I., de Jong, T. L., Sánchez-González, P., Dankelman, J., & Gómez, E. J. (2016). Feasibility of tracking laparoscopic instruments in a box trainer using a Leap Motion Controller. *Measurement*, 80, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.11.018>
- Ota, D., Loftin, B., Saito, T., Lea, R., & Keller, J. (1995). Virtual reality in surgical education. *Computers in Biology and Medicine*, 25(2), 127–137.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23918724>
- Owlia, M., Khabbazan, M., Mirbagheri, M. M., & Mirbagheri, A. (2016). Real-time tracking of laparoscopic instruments using kinect for training in virtual reality. *Conference Proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2016*, 3945–3948.
<https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591590>
- Pai, D. R., Minh, C. P. N., & Svendsen, M. B. S. (2018). Process of medical simulator development: An approach based on personal experience. *Medical Teacher*, 40(7), 690–696.
<https://doi.org/10.1080/0142159X.2018.1472753>
- Paisley, M. a M., Baldwin, P. J., & Paterson-Brown, S. (2001). Validity of surgical simulation for the assessment of operative skill. *British Journal of Surgery*, 88(11), 1525–1532.
<https://doi.org/10.1046/j.0007-1323.2001.01880.x>

- Palter, V.N., MacRae, H. M., & Grantcharov, T. P. (2011). Development of an objective evaluation tool to assess technical skill in laparoscopic colorectal surgery: a Delphi methodology. *American Journal of Surgery*, 201(2), 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2010.01.031>
- Palter, Vanessa N., Graafland, M., Schijven, M. P., & Grantcharov, T. P. (2012). Designing a proficiency-based, content validated virtual reality curriculum for laparoscopic colorectal surgery: A Delphi approach. *Surgery*, 151(3), 391–397. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2011.08.005>
- 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>
- Park, A. E., & Witzke, D. (2002). The surgical competence conundrum. *Surgical Endoscopy*, 16(4), 555–557.
- Park, A., & 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>
- Park, J., MacRae, H., Musselman, L. J., Rossos, P., Hamstra, S. J., Wolman, S., & Reznick, R. K. (2007). Randomized controlled trial of virtual reality simulator training: transfer to live patients. *American Journal of Surgery*, 194(2), 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2006.11.032>
- Parsons, B. A., Blencowe, N. S., Hollowood, A. D., & Grant, J. R. (2011). Surgical Training: The Impact of Changes in Curriculum and Experience. *Journal of Surgical Education*, 68(1), 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2010.08.004>
- Patel, E. A., Aydın, A., Desai, A., Dasgupta, P., & Ahmed, K. (2018). Current status of simulation-based training in pediatric surgery: A systematic review. *Journal of Pediatric Surgery*. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2018.11.019>

- Pearson, A. M., Gallagher, A. G., Rosser, J. C., & Satava, R. M. (2002). Evaluation of structured and quantitative training methods for teaching intracorporeal knot tying. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *16*(1), 130–137. <https://doi.org/10.1007/s00464-001-8113-y>
- Pedersen, T. H., Gysin, J., Wegmann, A., Osswald, M., Ott, S. R., Theiler, L., & Greif, R. (2017). A randomised, controlled trial evaluating a low cost, 3D-printed bronchoscopy simulator. *Anaesthesia*, *72*(8), 1005–1009. <https://doi.org/10.1111/anae.13951>
- Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & 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>
- Peirce, CS (1965) *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA
- Pellen, M. G. C., Horgan, L. F., Barton, J. R., & Attwood, S. E. (2009). Construct validity of the ProMIS laparoscopic simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *23*(1), 130–139. <https://doi.org/10.1007/s00464-008-0066-y>
- Perrenot, C., Perez, M., Tran, N., Jehl, J.-P., Felblinger, J., Bresler, L., & Hubert, J. (2012). The virtual reality simulator dV-Trainer® is a valid assessment tool for robotic surgical skills. *Surgical Endoscopy*, *26*(9), 2587–2593. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2237-0>
- Peters, J. H., Fried, G. M., Swanstrom, L. L., Soper, N. J., Sillin, L. F., Schirmer, B., & Hoffman, K. (2004). Development and validation of a comprehensive program of education and assessment of the basic fundamentals of laparoscopic surgery. *Surgery*, *135*(1), 21–27. [https://doi.org/10.1016/S0039-6060\(03\)00156-9](https://doi.org/10.1016/S0039-6060(03)00156-9)
- Pfandler, M., Lazarovici, M., Stefan, P., Wucherer, P., & Weigl, M. (2017). Virtual reality-based simulators for spine surgery: a systematic review. *The Spine Journal*, *17*(9), 1352–1363. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2017.05.016>

- Philibert, I., Friedmann, P., & Williams, W. T. (2002). New requirements for resident duty hours. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 288(9), 1112–1114. <https://doi.org/10.1001/jama.288.9.1112>
- Phillips, D. . (2006). Assessing the quality of design research problems. In J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. Mckenney, & N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research* (pp. 144–155). Routledge. Taylor & Francis Group.
- Pike, T. W., Pathak, S., Mushtaq, F., Wilkie, R. M., Mon-Williams, M., & 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>
- Plomp, T., & Nieveen, N. (Eds.). (2010). An Introduction to Educational Design Research. In *Proceedings of the seminar conducted at the East China Normal University, Shanghai (PR China), November 23-26, 2007* (p. 125).
- 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., & Marks, J. M. (2014). Fundamentals of endoscopic surgery cognitive examination: Development and validity evidence. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 28(2), 631–638. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-3220-0>
- Prasad, R., Muniyandi, M., Manoharan, G., & Chandramohan, S. M. (2018). Face and Construct Validity of a Novel Virtual Reality–Based Bimanual Laparoscopic Force-Skills Trainer With Haptics Feedback. *Surgical Innovation*, 25(5), 499–514. <https://doi.org/10.1177/1553350618773666>
- Prens, L. M., Rondags, A., Volkering, R. J., Janse, I. C., Politiek, K., Zuidema, Y. S., Turcan, I., van Hasselt, J., van der Zee, H. H., & Horváth, B. (2019). The refined Hurley classification: the interrater and intrarater reliability and face validity. *British Journal of Dermatology*. <https://doi.org/10.1111/bjd.18235>
- Purao, S. (2002). *Design Research in the Technology of Information Systems: Truth or Dare*.

- Purao, S. (2013). Truth or Dare: The Ontology Question in Design Science Research. *Journal of Database Management*, 24(3), 51–66. <https://doi.org/10.4018/jdm.2013070104>
- Rashed, S., Ahrens, P. M., Maruthainar, N., Garlick, N., & Saeed, M. Z. (2018). The Role of Arthroscopic Simulation in Teaching Surgical Skills. *JBJS Reviews*, 6(9), e8. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.17.00201>
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13(3), 257–266. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>
- Rasmussen, R. C., Grauslund, J., & Vergmann, A. S. (2019). Simulation training in vitreoretinal surgery: a systematic review. *BMC Ophthalmology*, 19(1), 90. <https://doi.org/10.1186/s12886-019-1098-x>
- Reeves, T. C. (2006). Design research from a technology perspective. In J. Van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research* (pp. 52–66). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203088364-13>
- Reeves, T. C., Herrington, J., & Oliver, R. (2005). Design research: A socially responsible approach to instructional technology research in higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, 16(2), 96–115. <https://doi.org/10.1007/BF02961476>
- Rehder, R., Abd-El-Barr, M., Hooten, K., Weinstock, P., Madsen, J. R., & Cohen, A. R. (2016). The role of simulation in neurosurgery. *Child's Nervous System : ChNS : Official Journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery*, 32(1), 43–54. <https://doi.org/10.1007/s00381-015-2923-z>
- Reigeluth, C. M., & Frick, T. W. (2003). Formative Research: A Methodology for Creating and Improving Design Theories. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-Design Theories and Models, II: A New Paradigm of Instructional Theory* (pp. 633–651). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- Reinking, D., & Bradley, B. A. (2008). *On formative and design experiments : approaches to language and literacy research*. Teachers College Press.
- Ren, G., & O'Neill, E. (2013). 3D selection with freehand gesture. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 37(3), 101–120. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2012.12.006>
- Retrosi, G., Cundy, T., Haddad, M., & Clarke, S. (2015). Motion Analysis-Based skills training and assessment in pediatric laparoscopy: Construct, concurrent, and content validity for the eoSim simulator. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A*, 25(11), 944-950.
- Reznick, R. K., & MacRae, H. (2006). Teaching surgical skills--changes in the wind. *The New England Journal of Medicine*, 355(25), 2664–2669. <https://doi.org/10.1056/NEJMra054785>
- Reznick, R., Regehr, G., MacRae, H., Martin, J., & McCulloch, W. (1997). Testing technical skill via an innovative “bench station” examination. *The American Journal of Surgery*, 173(3), 226–230. [https://doi.org/10.1016/S0002-9610\(97\)89597-9](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(97)89597-9)
- Ricchiuti, D., Ralat, D. A., Evancho-Chapman, M., Wyneski, H., Cerone, J., & Wegryn, J. D. (2005). A simple cost-effective design for construction of a laparoscopic trainer. *Journal of Endourology*, 19(8), 1000–1002. <https://doi.org/10.1089/end.2005.19.1000>
- Richey, R. C., & Nelson, W. A. (1996). Developmental research. In D. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology* (pp. 1213–1245). Macmillan.
- Rispin, K., Davis, A. B., Sheaffer, V. L., & Wee, J. (2019). Development of the Wheelchair Interface Questionnaire and initial face and content validity. *African Journal of Disability*, 8, 520. <https://doi.org/10.4102/ajod.v8i0.520>
- Ritter, E. M., Kindelan, T. W., Michael, C., Pimentel, E. a., & Bowyer, M. W. (2007). Concurrent validity of augmented reality metrics applied to the fundamentals of laparoscopic surgery (FLS). *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 21(8), 1441–1445. <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9261-5>

- Ritter, E. M., McClusky, D. A., Lederman, A. B., Gallagher, A. G., & Smith, C. D. (2003). Objective psychomotor skills assessment of experienced and novice flexible endoscopists with a virtual reality simulator. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 7(7), 871–878. <https://doi.org/10.1007/s11605-003-0032-x>
- Rivard, J. D., Vergis, A. S., Unger, B. J., Hardy, K. M., Andrew, C. G., Gillman, L. M., & Park, J. (2014). Construct validity of individual and summary performance metrics associated with a computer-based laparoscopic simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 28(6), 1921–1928. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-3414-5>
- Ro, C. Y., Toumpoulis, I. K., Ashton, R. C., Jebara, T., Schulman, C., Todd, G. J., Derose, J. J., & McGinty, J. J. (2005). The LapSim: a learning environment for both experts and novices. *Studies in Health Technology and Informatics*, 111, 414–417. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15718770>
- Roberts, K.-E., Bell, R.-L., & Duffy, A.-J. (2006). Evolution of surgical skills training. *World Journal of Gastroenterology*, 12(20), 3219–3224. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16718842>
- Rod, J., Marret, J.-B., Kohaut, J., Aigrain, Y., Jais, J. P., de Vries, P., Lortat-Jacob, S., Breaud, J., & Blanc, T. (2018). Low-Cost Training Simulator for Open Dismembered Pyeloplasty: Development and Face Validation. *Journal of Surgical Education*, 75(1), 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.06.010>
- Rogers, D. ., Elstein, A. ., & 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>
- Romme, A. G. L. (2003). Making a Difference: Organization as Design. *Organization Science*, 14(5), 558–573. <https://doi.org/10.1287/orsc.14.5.558.16769>

- Romme, A. G. L., & Damen, I. C. M. (2007). Toward science-based design in organization development: Codifying the process. *Journal of Applied Behavioral Science*, 43(1), 108–121. <https://doi.org/10.1177/0021886306297011>
- Rosa, G. M., & 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>
- Rosen, K. R. (2008). The history of medical simulation. *Journal of Critical Care*, 23(2), 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.jcsrc.2007.12.004>
- Rosenstock, C., Østergaard, D., Kristensen, M. S., Lippert, A., Ruhnau, B., & Rasmussen, L. S. (2004). Residents lack knowledge and practical skills in handling the difficult airway. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 48(8), 1014–1018. <https://doi.org/10.1111/j.0001-5172.2004.00422.x>
- Rosenthal, R., Gantert, W. a, Hamel, C., Hahnloser, D., Metzger, J., Kocher, T., Vogelbach, P., Scheidegger, D., Oertli, D., & Clavien, P.-A. (2007). Assessment of construct validity of a virtual reality laparoscopy simulator. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. Part A*, 17(4), 407–413. <https://doi.org/10.1089/lap.2006.0221>
- Royal, K. (2016). “Face validity” is not a legitimate type of validity evidence! *The American Journal of Surgery*, 212(5), 1026–1027. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2016.02.018>
- Ruesseler, M., Weinlich, M., Byhahn, C., Müller, M. P., Jünger, J., Marzi, I., & Walcher, F. (2010). Increased authenticity in practical assessment using emergency case OSCE stations. *Advances in Health Sciences Education: Theory and Practice*, 15(1), 81–95. <https://doi.org/10.1007/s10459-009-9173-3>
- Ruparel, R. K., Brahmhatt, R. D., Dove, J. C., Hutchinson, R. C., Stauffer, J. a., Bowers, S. P., Richie, E., Lannen, A. M., & Thiel, D. D. (2014). “ITrainers” - Novel and inexpensive alternatives to traditional laparoscopic box trainers. *Urology*, 83(1), 116–120. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2013.09.030>

- Ryu, W. H. A., Dharampal, N., Mostafa, A. E., Sharlin, E., Kopp, G., Jacobs, W. B., Hurlbert, R. J., Chan, S., & Sutherland, G. R. (2017). Systematic Review of Patient-Specific Surgical Simulation: Toward Advancing Medical Education. *Journal of Surgical Education*, 74(6), 1028–1038. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.05.018>
- Sá-Couto, C., Patrão, L., Maio-Matos, F., & Pêgo, J. M. (2016). Biomedical Simulation: Evolution, Concepts, Challenges and Future Trends. *Acta Médica Portuguesa*, 29(12), 860. <https://doi.org/10.20344/amp.8403>
- Saigi-Rubio, F., Novillo-Ortiz, D., & Piette, J. D. (2017). CYTED-RITMOS network: toward the search for solutions to promote mobile health in Latin America. *Revista Panamericana de Salud Publica*, 41(2). <https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=10204989&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA520055505&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>
- Salkini, M. W., Doarn, C. R., Kiehl, N., Broderick, T. J., Donovan, J. F., & Gaitonde, K. (2010). The role of haptic feedback in laparoscopic training using the LapMentor II. *Journal of Endourology / Endourological Society*, 24(1), 99–102. <https://doi.org/10.1089/end.2009.0307>
- Sandoval, W. A. (2004). Developing learning theory by refining conjectures embodied in educational designs. *Educational Psychologist*, 39(4), 213–223. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3904_3
- Sandoval, W. A., & Bell, P. (2004). Design-based research methods for studying learning in context: Introduction. *Educational Psychologist*, 39(4), 199–201. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3904_1
- Sansregret, A., Fried, G. M., Hasson, H., Klassen, D., Lagacé, M., Gagnon, R., Pooler, S., & Charlin, B. (2009). Choosing the right physical laparoscopic simulator? comparison of LTS2000-ISM60 with MISTELS: validation, correlation, and user satisfaction. *American Journal of Surgery*, 197(2), 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2008.02.008>

- Satava, R. . (2001a). Accomplishments and challenges of surgical simulation: Dawning of the next-generation surgical education. *Surgical Endoscopy*, 15(3), 232–241. <https://doi.org/10.1007/s004640000369>
- 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. (2001b). Surgical Education and Surgical Simulation. *World Journal of Surgery*, 25(11), 1484–1489. <https://doi.org/10.1007/s00268-001-0134-0>
- Satava, R. M. (2008). Historical review of surgical simulation - A personal perspective. *World Journal of Surgery*, 32(2), 141–148. <https://doi.org/10.1007/s00268-007-9374-y>
- Satava, R. M., Cuschieri, A., & Hamdorf, J. (2003). Metrics for objective assessment: Preliminary summary of the Surgical Skills Workshop. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 17(2), 220–226. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-8869-8>
- Satava, R. M., & Ellis, S. R. (1994). Human interface technology. An essential tool for the modern surgeon. *Surgical Endoscopy*, 8(7), 817–820. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7974116>
- Satava, R. M., Gallagher, A. G., & Pellegrini, C. a. (2003). Surgical competence and surgical proficiency: Definitions, taxonomy, and metrics. In *Journal of the American College of Surgeons*, 196(6), pp. 933–937. [https://doi.org/10.1016/S1072-7515\(03\)00237-0](https://doi.org/10.1016/S1072-7515(03)00237-0)
- Schijven, M. ., & Jakimowicz, J. (2003a). Virtual reality surgical laparoscopic simulators. *Surgical Endoscopy*, 17(12), 1943–1950.
- Schijven, M. ., & Jakimowicz, J. J. (2005). Validation of virtual reality simulators: Key to the successful integration of a novel teaching technology into minimal access surgery. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies : MITAT : Official Journal of the Society for Minimally Invasive Therapy*, 14(4), 244–246. <https://doi.org/10.1080/13645700500221881>

- Schijven, M. P., & 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., & Jakimowicz, J. (2003b). Construct validity: Experts and novices performing on the Xitact LS500 laparoscopy simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *17*(5), 803–810. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-9151-9>
- Schijven, M. P., & Jakimowicz, J. (2004). The learning curve on the Xitact LS 500 laparoscopy simulator: Profiles of performance. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *18*(1), 121–127. <https://doi.org/10.1007/s00464-003-9040-x>
- Schijven, M. P., Jakimowicz, J. J., Broeders, I. a M. J., & Tseng, L. N. L. (2005). The Eindhoven laparoscopic cholecystectomy training course - Improving operating room performance using virtual reality training: Results from the first E.A.E.S. accredited virtual reality trainings curriculum. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *19*(9), 1220–1226. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-2240-1>
- Schlickum, M. K., Hedman, L., Enochsson, L., Kjellin, A., & Felländer-Tsai, L. (2008). Transfer of systematic computer game training in surgical novices on performance in virtual reality image guided surgical simulators. *Studies in Health Technology and Informatics*, *132*, 210–215. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/surgery.html>
- Schlickum, M. K., Hedman, L., Enochsson, L., Kjellin, A., & Felländer-Tsai, L. (2009). Systematic video game training in surgical novices improves performance in virtual reality endoscopic surgical simulators: A prospective randomized study. *World Journal of Surgery*, *33*(11), 2360–2367. <https://doi.org/10.1007/s00268-009-0151-y>
- Schlickum, M. K., Hedman, L., & Felländer-Tsai, L. (2016). Visual-spatial ability is more important than motivation for novices in surgical simulator training: a preliminary study. *International Journal of Medical Education*, *7*, 56–61. <https://doi.org/10.5116/ijme.56b1.1691>

- Schmidt, R. A. (1975). A Schema Theory of Discrete Motor Skill Learning. *Psychological Review*, 82(4), 225–260. <https://doi.org/DOI:10.1037/h0076770>
- Schout, B. M. A., Hendriks, A. J. M., Scherpbier, A. J. J. A., & Bemelmans, B. L. H. (2008). Update on Training Models in Endourology: A Qualitative Systematic Review of the Literature between January 1980 and April 2008. *European Urology*, 54(6), 1247–1261. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2008.06.036>
- Schout, B. M. A., Hendriks, A. J. M., Scheele, F., Bemelmans, B. L. H., & 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>
- Schreuder, H. W. R., Wolswijk, R., Zweemer, R. P., Schijven, M. P., & Verheijen, R. H. M. (2012). Training and learning robotic surgery, time for a more structured approach: A systematic review. *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 119(2), 137–149. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2011.03139.x>
- Scott, D. J., Bergen, P. C., Rege, R. V., Laycock, R., Tesfay, S. T., Valentine, R. J., Euhus, D. M., Jeyarajah, D. R., Thompson, W. M., & Jones, D. B. (2000). Laparoscopic training on bench models: Better and more cost effective than operating room experience? *Journal of the American College of Surgeons*, 191(3), 272–283. [https://doi.org/10.1016/S1072-7515\(00\)00339-2](https://doi.org/10.1016/S1072-7515(00)00339-2)
- Sedlack, R. E. (2007). Validation of computer simulation training for esophagogastroduodenoscopy: Pilot study. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 22(8), 1214–1219. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2007.04841.x>
- Sedlack, R. E. (2010). The Mayo Colonoscopy Skills Assessment Tool: Validation of a unique instrument to assess colonoscopy skills in trainees. *Gastrointestinal Endoscopy*, 72(6). <https://doi.org/10.1016/j.gie.2010.09.001>
- Selzer, D. J., & Dunnington, G. L. (2013, April). Surgical skills simulation: A shift in the conversation. *Annals of Surgery*, 257(4), 594–595. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3182894756>

- Semm, K. (1983). Endoscopic Appendectomy. *Endoscopy*, 15(02), 59–64. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021466>
- Sessa, L., Perrenot, C., Xu, S., Hubert, J., Bresler, L., Brunaud, L., & Perez, M. (2018). Face and content validity of Xperience™ Team Trainer: bed-side assistant training simulator for robotic surgery. *Updates in Surgery*, 70(1), 113–119. <https://doi.org/10.1007/s13304-017-0509-x>
- Seymour, N. E. (2008). VR to OR: A review of the evidence that virtual reality simulation improves operating room performance. *World Journal of Surgery*, 32(2), 182–188. <https://doi.org/10.1007/s00268-007-9307-9>
- Seymour, N. E., Gallagher, G., Roman, S., O'Brien, M., Bansal, V., Andersen, D., & Satava, R. (2002). Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Annals of Surgery*, 236(4), 458–463; discussion 463-464. <https://doi.org/10.1097/01.SLA.0000028969.51489.B4>
- Seymour, N. E., & Røtnes, J. S. (2006). Challenges to the development of complex virtual reality surgical simulations. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 20(11), 1774–1777. <https://doi.org/10.1007/s00464-006-0107-3>
- Shah, J., & Darzi, A. (2002). Virtual reality flexible cystoscopy: A validation study. *BJU International*, 90(9), 828–832. <https://doi.org/10.1046/j.1464-410X.2002.03090.x>
- Shah, J., Paul, I., Buckley, D., Davis, H., Frisby, J. P., & Darzi, A. (2003). Can tonic accommodation predict surgical performance? *Surgical Endoscopy*, 17(5), 787–790. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-9107-0>
- Shavelson, R. J., Phillips, D. C., Towne, L., & Feuer, M. J. (2003). On the Science of Education Design Studies. *Educational Researcher*, 32(1), 25–28. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001025>

- Shaw, S., & Crisp, V. (2001). Tracing the evolution of validity in educational measurement: past issues and contemporary challenges. *Research Matters: A Cambridge Assessment Publication*, 11, 14–19.
- Shea, B. J., Bouter, L. M., Peterson, J., Boers, M., Andersson, N., Ortiz, Z., Ramsay, T., Bai, A., Shukla, V. K., & Grimshaw, J. M. (2007). External validation of a measurement tool to assess systematic reviews (AMSTAR). *PloS One*, 2(12), e1350. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001350>
- Sherman, V., Feldman, L. S., Stanbridge, D., Kazmi, R., & Fried, G. M. (2005). Assessing the learning curve for the acquisition of laparoscopic skills on a virtual reality simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 19(5), 678–682. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-8943-5>
- Sidhu, R. S., Grober, E. D., Musselman, L. J., & Reznick, R. K. (2004). Assessing competency in surgery: where to begin? *Surgery*, 135(1), 6–20. <https://doi.org/10.1016/S0039>
- Simon, H. (1969). The Sciences of the Artificial. In *The sciences of the artificial* (3rd ed). The MIT press. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1057/jors.1969.121>
- Sinceri, S., Berchiolli, R., Marconi, M., Cioni, R., Ferrari, V., Ferrari, M., Moglia, A., & Carbone, M. (2018). Face, content, and construct validity of a simulator for training in endovascular procedures. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, 27(6), 315–320. <https://doi.org/10.1080/13645706.2018.1458038>
- Sinclair, M. J., Peifer, J. W., Halebian, R., Luxenberg, M. N., Green, K., & Hull, D. S. (1995). Computer-simulated eye surgery. A novel teaching method for residents and practitioners. *Ophthalmology*, 102(3), 517–521. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7891993>
- Singh, A., Jai, S., Ganpule, A., Vijayakumar, M., Sabnis, R., & Desai, M. (2018). Face, content, and construct validity of a novel chicken model for laparoscopic ureteric reimplantation. *Indian Journal of Urology*, 34(3), 189. https://doi.org/10.4103/iju.IJU_46_18

- Singh, H., Kalani, M., Acosta-Torres, S., El Ahmadieh, T., Loya, J., & Ganju, A. (2013). History of simulation in medicine: From resusci annie to the ann myers medical center. *Neurosurgery*, 73(SUPPL. 4), 9–14. <https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000000093>
- Singh, S., Sedlack, R. E., & Cook, D. A. (2014). Effects of Simulation-Based Training in Gastrointestinal Endoscopy: A Systematic Review and Meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 12(10), 1611-1623.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2014.01.037>
- Sireci, S., & Faulkner-Bond, M. (2014). Validity evidence based on test content. *Psicothema*, 26(1), 100–107. <https://doi.org/10.7334/psicothema2013.256>
- Sloane, F. (2006). Normal and Design Sciences in Education: Why Both are Necessary. In J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. Mckenney, & N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research* (pp. 19–44). Routledge. Taylor & Francis Group.
- Smith, C. D., Farrell, T. M., McNatt, S. S., & Metreveli, R. E. (2001). Assessing laparoscopic manipulative skills. *American Journal of Surgery*, 181(6), 547–550. [https://doi.org/10.1016/S0002-9610\(01\)00639-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(01)00639-0)
- Smith, W. D., Chung, Y. H., & Berguer, R. (2000). A virtual instrument ergonomics workstation for measuring the mental workload of performing video-endoscopic surgery. *Studies in Health Technology and Informatics*, 70, 309–315. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10977562>
- Snyder, C. W., Vandromme, M. J., Tyra, S. L., & Hawn, M. T. (2009). Proficiency-Based Laparoscopic and Endoscopic Training With Virtual Reality Simulators: A Comparison of Proctored and Independent Approaches. *Journal of Surgical Education*, 66(4), 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2009.07.007>
- Soligo, M., Roberti Maggiore, U. L., Oprandi, N. C., Nelva Stellio, L., De Ponti, E., Del Popolo, G., Finazzi Agrò, E., & Ferrazzi, E. (2019). Electronic Personal Assessment Questionnaire–Pelvic

Floor: Italian cultural adaptation and face validity. *Urologia Journal*, 86(2), 86–92.
<https://doi.org/10.1177/0391560319840196>

Soper, N. J., & Fried, G. M. (2008). The fundamentals of laparoscopic surgery: its time has come. *Bulletin of the American College of Surgeons*, 93(9), 30–32.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19469354>

Soyinka, A. S., Schollmeyer, T., Meinhold-Heerlein, I., Gopalghare, D. V., Hasson, H., & Mettler, L. (2008). Enhancing laparoscopic performance with the LTS3E: a computerized hybrid physical reality simulator. *Fertility and Sterility*, 90(5), 1988–1994.
<https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2007.08.077>

Spencer, F. C. (1979). The Gibbon lecture--competence and compassion: two qualities of surgical excellence. *Bulletin of the American College of Surgeons*, 64(11), 15–22.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10244068>

Sroka, G., Feldman, L. S., Vassiliou, M. C., Kaneva, P. a., Fayez, R., & Fried, G. M. (2010). Fundamentals of Laparoscopic Surgery simulator training to proficiency improves laparoscopic performance in the operating room-a randomized controlled trial. *American Journal of Surgery*, 199(1), 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2009.07.035>

Stassen, H. G., Dankelman, J., & Grimbergen, C. A. (1999). Open versus minimally invasive surgery: a man-machine system approach. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 21(4–5), 151–162. <https://doi.org/10.1177/014233129902100403>

Stefanidis, D., Acker, C., & Heniford, B. T. (2008). Proficiency-based laparoscopic simulator training leads to improved operating room skill that is resistant to decay. *Surgical Innovation*, 15(1), 69–73. <https://doi.org/10.1177/1553350608316683>

Stefanidis, D., Haluck, R., Pham, T., Dunne, J. B., Reinke, T., Markley, S., Korndorffer, J. R., Arellano, P., Jones, D. B., & Scott, D. J. (2007). Construct and face validity and task workload for laparoscopic camera navigation: Virtual reality versus videotrainer systems at the SAGES

- Learning Center. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 21(7), 1158–1164. <https://doi.org/10.1007/s00464-006-9112-9>
- Stefanidis, D., Korndorffer, J. R., Markley, S., Sierra, R., & Scott, D. J. (2006). Proficiency maintenance: Impact of ongoing simulator training on laparoscopic skill retention. *Journal of the American College of Surgeons*, 202(4), 599–603. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2005.12.018>
- Stefanidis, D., Korndorffer, J. R., Sierra, R., Touchard, C., Dunne, J. B., & Scott, D. J. (2005). Skill retention following proficiency-based laparoscopic simulator training. *Surgery*, 138(2), 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2005.06.002>
- Stefanidis, D., Korndorffer, J. R., & Sweet, R. (2019). *Comprehensive healthcare simulation : surgery and surgical subspecialties*. Springer International Publishing.
- Stefanidis, D., Scott, D. J., & Korndorffer, J. R. (2009). Do metrics matter? Time versus motion tracking for performance assessment of proficiency-based laparoscopic skills training. *Simulation in Healthcare : Journal of the Society for Simulation in Healthcare*, 4(2), 104–108. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e31819171ec>
- Stew, B., Kao, S. S.-T., Dharmawardana, N., & Ooi, E. H. (2018). A systematic review of validated sinus surgery simulators. *Clinical Otolaryngology : Official Journal of ENT-UK ; Official Journal of Netherlands Society for Oto-Rhino-Laryngology & Cervico-Facial Surgery*, 43(3), 812–822. <https://doi.org/10.1111/coa.13052>
- Stokes, D. E. (1997). *Pasteur's quadrant: Basic science and technological innovation*. Brookings Institution.
- Straub, D., Boudreau, M.-C., & Gefen, D. (2004). Validation Guidelines for IS Positivist Research. *Communications of the Association for Information Systems*, 13(1), 380–427.
- Ström, P., Hedman, L., Särnå, L., Kjellin, a., Wredmark, T., & Felländer-Tsai, L. (2006). Early exposure to haptic feedback enhances performance in surgical simulator training: A

- prospective randomized crossover study in surgical residents. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 20(9), 1383–1388. <https://doi.org/10.1007/s00464-005-0545-3>
- Ström, P., Kjellin, a., Hedman, L., Wredmark, T., & Felländer-Tsai, L. (2004). Training in tasks with different visual-spatial components does not improve virtual arthroscopy performance. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 18(1), 115–120. <https://doi.org/10.1007/s00464-003-9023-y>
- Ström, P., Kjellin, A., Hedman, L., Johnson, E., Wredmark, T., & Felländer-Tsai, L. (2003). Validation and learning in the Procedicus KSA virtual reality surgical simulator. *Surgical Endoscopy*, 17(2), 227–231. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-9078-1>
- Sturm, L. P., Windsor, J. A., Cosman, P. H., Cregan, P., Hewett, P. J., & Maddern, G. J. (2008). A Systematic Review of Skills Transfer After Surgical Simulation Training. *Annals of Surgery*, 248(2), 166–179. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318176bf24>
- Sturt, J., Dliwayo, T. R., Forjaz, V., Hamilton, K., Bryce, C., Fraser, J., & Griffiths, F. (2018). Eliciting the Impact of Digital Consulting for Young People Living With Long-Term Conditions (LYNC Study): Cognitive Interviews to Assess the Face and Content Validity of Two Patient-Reported Outcome Measures. *Journal of Medical Internet Research*, 20(10), e268. <https://doi.org/10.2196/jmir.9786>
- Stylopoulos, N., Cotin, S., Maithel, S. K., Ottensmeyer, M., Jackson, P. G., Bardsley, R. S., Neumann, P. F., Rattner, D. W., & Dawson, S. L. (2004). Computer-enhanced laparoscopic training system (CELTS): bridging the gap. *Surgical Endoscopy*, 18(5), 782–789. <https://doi.org/10.1007/s00464-003-8932-0>
- Sugden, C., & 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>

- Sullivan, K. J., Katak, S. S., & Burtner, P. A. (2008). Motor Learning in Children: Feedback Effects on Skill Acquisition. *Physical Therapy, 88*(6), 720–732. <https://doi.org/10.2522/ptj.20070196>
- Sutherland, L. M., Middleton, P. F., Anthony, A., Hamdorf, J., Cregan, P., Scott, D., & Maddern, G. J. (2006). Surgical simulation: a systematic review. *Annals of Surgery, 243*(3), 291–300. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000200839.93965.26>
- Sutton, C., McCloy, R., Middlebrook, A., Chater, P., Wilson, M., & Stone, R. (1997). MIST VR. A laparoscopic surgery procedures trainer and evaluator. *Studies in Health Technology and Informatics, 39*, 598–607. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10173070>
- Svendsen, M. B., Preisler, L., Hillingsoe, J. G., Svendsen, L. B., & Konge, L. (2014). Using motion capture to assess colonoscopy experience level. *World Journal of Gastrointestinal Endoscopy, 6*(5), 193–199. <https://doi.org/10.4253/wjge.v6.i5.193>
- Swanstrom, L. L., Fried, G. M., Hoffman, K. I., & Soper, N. J. (2006). Beta test results of a new system assessing competence in laparoscopic surgery. *Journal of the American College of Surgeons, 202*(1), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2005.09.024>
- Sweet, R. M., Beach, R., Sainfort, F., Gupta, P., Reihsen, T., Poniatowski, L. H., & McDougall, E. M. (2012). Introduction and validation of the American Urological Association Basic Laparoscopic Urologic Surgery skills curriculum. *Journal of Endourology, 26*(2), 190–196. <https://doi.org/10.1089/end.2011.0414>
- Sweet, R. M., Hananel, D., & Lawrenz, F. (2010). A unified approach to validation, reliability, and education study design for surgical technical skills training. *Archives of Surgery (Chicago, Ill. : 1960), 145*(2), 197–201. <https://doi.org/10.1001/archsurg.2009.266>
- Tabanfar, R., Chan, H. H. L., Lin, V., Le, T., & Irish, J. C. (2018). Development and face validation of a Virtual Reality Epley Maneuver System (VREMS) for home Epley treatment of benign paroxysmal positional vertigo: A randomized, controlled trial. *American Journal of Otolaryngology, 39*(2), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2017.11.006>

- Taffinder, N. J., McManus, I. C., Gul, Y., Russell, R. C., & Darzi, A. (1998). Effect of sleep deprivation on surgeons' dexterity on laparoscopy simulator. *Lancet (London, England)*, *352*(9135), 1191.
- Taffinder, N. J., Russell, R. C. G., McManus, I. C., And, J. J., & Darzi, A. (1998). An objective assessment of surgeons' psychomotor skills: validation of the MIST-VR laparoscopic simulator. *British Journal of Surgery*, *85*(Suppl 1(June)), 75.
- Taffinder, N., Sutton, C., Fishwick, R. J., McManus, I. C., & Darzi, A. (1998). Validation of virtual reality to teach and assess psychomotor skills in laparoscopic surgery: results from randomised controlled studies using the MIST VR laparoscopic simulator. *Studies in Health Technology and Informatics*, *50*, 124–130.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10180527>
- Takeda, H., Veerkamp, P., Tomiyama, T., & Yoshikawa, H. (1990). Modeling Design Processes. *AI Magazine*, *11*(4), 37–48.
<https://www.aaai.org/ojs/index.php/aimagazine/article/view/855/773>
- Takiguchi, S., Sekimoto, M., Yasui, M., Miyata, H., Fujiwara, Y., Yasuda, T., Yano, M., & Monden, M. (2005). Cyber visual training as a new method for the mastery of endoscopic surgery. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *19*(9), 1204–1210.
<https://doi.org/10.1007/s00464-004-8236-z>
- Tanoue, K., Ieiri, S., Konishi, K., Yasunaga, T., Okazaki, K., Yamaguchi, S., Yoshida, D., Kakeji, Y., A., & Hashizume, M. (2008). Effectiveness of endoscopic surgery training for medical students using a virtual reality simulator versus a box trainer: a randomized controlled trial. *Surgical Endoscopy*, *22*(4), 985–990.
- Tay, C., Khajuria, A., & Gupte, C. (2014). Simulation training: A systematic review of simulation in arthroscopy and proposal of a new competency-based training framework. *International Journal of Surgery*, *12*(6), 626–633. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2014.04.005>

- Taylor, J. A., & Ivry, R. B. (2012). The role of strategies in motor learning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1251, 1–12. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06430.x>
- The Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <http://www.designbasedresearch.org/reppubs/DBRC2003.pdf>
- The Southern Surgeons Club. (1991). A prospective analysis of 1518 laparoscopic cholecystectomies. *The New England Journal of Medicine*, 324(16), 1073–1078.
- Thiel, W. (1992). [The preservation of the whole corpse with natural color]. *Annals of Anatomy = Anatomischer Anzeiger : Official Organ of the Anatomische Gesellschaft*, 174(3), 185–195. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1503236>
- Thomas, M. P. (2013). The role of simulation in the development of technical competence during surgical training: A literature review. *International Journal of Medical Education*, 4, 48–58.
- Thomsen, A. S. S., Subhi, Y., Kiilgaard, J. F., la Cour, M., & Konge, L. (2015). Update on Simulation-Based Surgical Training and Assessment in Ophthalmology. *Ophthalmology*, 122(6), 1111-1130.e1. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.02.028>
- Torkington, J., Smith, S. G., Rees, B., & Darzi, A. (2001a). The role of the basic surgical skills course in the acquisition and retention of laparoscopic skill. *Surgical Endoscopy*, 15(10), 1071-1075.
- Torkington, J., Smith, S. G. T., Rees, B. I., & Darzi, a. (2000). The role of simulation in surgical training. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 82(2), 88–94.
- Torkington, J., Smith, S. G. T., Rees, B. I., & Darzi, a. (2001b). Skill transfer from virtual reality to a real laparoscopic task. *Surgical Endoscopy*, 15(10), 1076–1079. <https://doi.org/10.1007/s004640000233>
- Torres-de la Roche, L. A., Leicher, L., Steljes, I., Eidswick, J., Larionov, O., de Wilde, M. S., Campo, R., Tanos, V., & De Wilde, R. L. (2019). Training and qualification in gynecological minimal access surgery: A systematic review. *Best Practice & Research. Clinical Obstetrics & Gynaecology*. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2019.01.016>

- Troppmann, K. M., Palis, B. E., Goodnight, J. E., Ho, H. S., & Troppmann, C. (2009). Career and lifestyle satisfaction among surgeons: what really matters? The National Lifestyles in Surgery Today Survey. *Journal of the American College of Surgeons*, *209*(2), 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2009.03.021>
- Tsuda, S., Scott, D., Doyle, J., & Jones, D. B. (2009). Surgical Skills Training and Simulation. *Current Problems in Surgery*, *46*(4), 271–370. <https://doi.org/10.1067/j.cpsurg.2008.12.003>
- Twohig, H., Jones, G., Mackie, S., Mallen, C., & Mitchell, C. (2018). Assessment of the face validity, feasibility and utility of a patient-completed questionnaire for polymyalgia rheumatica: a postal survey using the QQ-10 questionnaire. *Pilot and Feasibility Studies*, *4*(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s40814-017-0150-y>
- Uccelli, J., Kahol, K., Ashby, A., Smith, M., & Ferrara, J. (2011). The validity of take-home surgical simulators to enhance resident technical skill proficiency. *American Journal of Surgery*, *201*(3), 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2010.08.028>
- Uchal, M., Raftopoulos, Y., Tjugum, J., & Bergamaschi, R. (2005). Validation of a six-task simulation model in minimally invasive surgery. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *19*(1), 109–116. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-8145-1>
- Vaishnavi, V., Kuechler, B., & Petter, S. (2009). *Design Science Research in Information Systems*. <http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/>
- Vakharia, V. N., Vakharia, N. N., & Hill, C. S. (2016). Review of 3-Dimensional Printing on Cranial Neurosurgery Simulation Training. *World Neurosurgery*, *88*, 188–198. <https://doi.org/10.1016/J.WNEU.2015.12.031>
- Vallas, C., Alexiou, K., Alexandrou, A., & Economou, N. (2015). Different forms of laparoscopic training: Review and comparison. *Hellenic Journal of Surgery*, *86*(6), 337–346. <https://doi.org/10.1007/s13126-014-0157-2>
- Valvassori, S. S., Dal-Pont, G. C., Resende, W. R., Varela, R. B., Lopes-Borges, J., Cararo, J. H., & Quevedo, J. (2019). Validation of the animal model of bipolar disorder induced by Ouabain:

- face, construct and predictive perspectives. *Translational Psychiatry*, 9(1), 158.
<https://doi.org/10.1038/s41398-019-0494-6>
- Valverde, H. H. (1973). A Review of Flight Simulator Transfer of Training Studies. *Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society*, 15(6), 510–522.
<https://doi.org/10.1177/001872087301500603>
- Van Aken, J. E. (2004). Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. *Journal of Management Studies*, 41(2), 219–246. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x>
- van den Akker, J. (1999). Principles and Methods of Development Research. In *Design Approaches and Tools in Education and Training* (pp. 1–14). Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-011-4255-7_1
- Van Der Meijden, O. a J., & Schijven, M. P. (2009). The value of haptic feedback in conventional and robot-assisted minimal invasive surgery and virtual reality training: A current review. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 23(6), 1180–1190.
<https://doi.org/10.1007/s00464-008-0298-x>
- van der Schaaf, M., Bakker, A., & ten Cate, O. (2019). When I say ... embodied cognition. In *Medical Education*, 53(3), pp. 219–220). Blackwell Publishing Ltd.
<https://doi.org/10.1111/medu.13678>
- van der Wiel, S., Koch, A., & Bruno, M. (2018). Face and construct validity of a novel mechanical ERCP simulator. *Endoscopy International Open*, 06(06), E758–E765.
<https://doi.org/10.1055/s-0044-101754>
- Van Dongen, K. W., Ahlberg, G., Bonavina, L., Carter, F. J., Grantcharov, T. P., Hyltander, A., Schijven, M. P., Stefani, A., Van Der Zee, D. C., & Broeders, I. a M. J. (2011). European consensus on a competency-based virtual reality training program for basic endoscopic surgical psychomotor skills. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 25(1), 166–171. <https://doi.org/10.1007/s00464-010-1151-6>

- Van Dongen, K. W., Tournoij, E., van der Zee, D. C., Schijven, M. P., & Broeders, I. A. M. J. (2007). Construct validity of the LapSim: Can the LapSim virtual reality simulator distinguish between novices and experts? *Surgical Endoscopy*, *21*(8), 1413–1417. <https://doi.org/10.1007/s00464-006-9188-2>
- Van Empel, P. J., Commandeur, J. P., Van Rijssen, L. B., Verdam, M. G. E., Huirne, J. a., Scheele, F., Bonjer, H. J., & Jeroen Meijerink, W. (2013). Learning curve on the TrEndo laparoscopic simulator compared to an expert level. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *27*(8), 2934–2939. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-2859-x>
- Van Empel, P. J., van der Veer, W. M., van Rijssen, L. B., Cuesta, M. a., Scheele, F., Bonjer, H. J., & Meijerink, W. J. (2012). Mapping the Maze of Minimally Invasive Surgery Simulators. *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*, *22*(1), 51–60. <https://doi.org/10.1089/lap.2010.0467>
- Van Empel, P. J., Van Rijssen, L. B., Commandeur, J. P., Verdam, M. G. E., Huirne, J. a., Scheele, F., Bonjer, H. J., & Jeroen Meijerink, W. (2012). Validation of a new box trainer-related tracking device: The TrEndo. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *26*(8), 2346–2352. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2187-6>
- Van Merriënboer, J. J. G., & 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>
- Van Nortwick, S. S., Lendvay, T. S., Jensen, A. R., Wright, A. S., Horvath, K. D., & Kim, S. (2010). Methodologies for establishing validity in surgical simulation studies. *Surgery*, *147*(5), 622–630. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2009.10.068>
- Van Sickle, K. R., McClusky, D. A., Gallagher, a. G., & Smith, C. D. (2005). Construct validation of the ProMIS simulator using a novel laparoscopic suturing task. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *19*(9), 1227–1231. <https://doi.org/10.1007/s00464-004-8274-6>

- Van Sickle, K. R., Ritter, E. M., Baghai, M., Goldenberg, A. E., Huang, I. P., Gallagher, A. G., & Smith, C. D. (2008). Prospective, Randomized, Double-Blind Trial of Curriculum-Based Training for Intracorporeal Suturing and Knot Tying. *Journal of the American College of Surgeons*, *207*(4), 560–568. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2008.05.007>
- Van Sickle, K. R., Ritter, E. M., McClusky, D. a., Lederman, A., Baghai, M., Gallagher, a. G., & Smith, C. D. (2007). Attempted establishment of proficiency levels for laparoscopic performance on a national scale using simulation: The results from the 2004 SAGES Minimally Invasive Surgical Trainer-Virtual Reality (MIST-VR) learning center study. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *21*(1), 5–10. <https://doi.org/10.1007/s00464-006-0011-x>
- Van Sickle, K. R., Ritter, E. M., & Smith, C. D. (2006). The pretrained novice: using simulation-based training to improve learning in the operating room. *Surgical Innovation*, *13*(3), 198–204. <https://doi.org/10.1177/1553350606293370>
- Vanderbilt, A. A., Grover, A. C., Pastis, N. J., Feldman, M., Granados, D. D., Murithi, L. K., & Mainous, A. G. (2014). Randomized controlled trials: a systematic review of laparoscopic surgery and simulation-based training. *Global Journal of Health Science*, *7*(2), 310–327. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v7n2p310>
- Vanderveen, K., & Bold, R. J. (2008). Effect of generational composition on the surgical workforce. *Archives of Surgery (Chicago, Ill. : 1960)*, *143*(3), 224–226. <https://doi.org/10.1001/archsurg.2007.57>
- Våpenstad, C., Hofstad, E. F., Bø, L. E., Chmarra, M. K., Kuhry, E., Johnsen, G., Mårvik, R., & Langø, T. (2013). Limitations of haptic feedback devices on construct validity of the LapSim® virtual reality simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *27*(4), 1386–1396. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2621-9>
- Våpenstad, C., Hofstad, E. F., Langø, T., Mårvik, R., & Chmarra, M. K. (2013). Perceiving haptic feedback in virtual reality simulators. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *27*(7), 2391–2397. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2745-y>

- Vassiliou, M. ., Kaneva, P. A., Poulouse, B. K., Dunkin, B. J., Marks, J. M., Sadik, R., Sroka, G., Anvari, M., Thaler, K., Adrales, G. L., Hazey, J. W., Lightdale, J. R., Velanovich, V., Swanstrom, L. L., Mellinger, J. D., & Fried, G. M. (2010). Global Assessment of Gastrointestinal Endoscopic Skills (GAGES): a valid measurement tool for technical skills in flexible endoscopy. *Surgical Endoscopy*, *24*(8), 1834–1841. <https://doi.org/10.1007/s00464-010-0882-8>
- Vassiliou, M. C., Dunkin, B. J., Fried, G. M., Mellinger, J. D., Trus, T., Kaneva, P., Lyons, C., Korndorffer, J. R., Ujiki, M., Velanovich, V., Kochman, M. L., Tsuda, S., Martinez, J., Scott, D. J., Korus, G., Park, A., & Marks, J. M. (2014). Fundamentals of endoscopic surgery: Creation and validation of the hands-on test. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *28*(3), 704–711. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-3298-4>
- Vassiliou, M. C., Dunkin, B. J., Marks, J. M., & Fried, G. M. (2010). FLS and FES: Comprehensive models of training and assessment. *Surgical Clinics of North America*, *90*(3), 535–558. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2010.02.012>
- Vassiliou, M. C., Feldman, L. S., Andrew, C. G., Bergman, S., Leffondré, K., Stanbridge, D., & Fried, G. M. (2005). A global assessment tool for evaluation of intraoperative laparoscopic skills. *American Journal of Surgery*, *190*(1), 107–113. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.04.004>
- Vassiliou, M. C., Ghitulescu, G. a., Feldman, L. S., Stanbridge, D., Leffondré, K., Sigman, H. H., & Fried, G. M. (2006). The MISTELS program to measure technical skill in laparoscopic surgery: Evidence for reliability. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, *20*(5), 744–747. <https://doi.org/10.1007/s00464-005-3008-y>
- Venable, J. (2006). The role of theory and theorising in Design Science research. *DESRIST 2006: Conference Proceedings*. <https://espace.curtin.edu.au/handle/20.500.11937/20936>
- Verdaasdonk, E. G. G., Dankelman, J., Lange, J. F., & Stassen, L. P. S. (2008a). Transfer validity of laparoscopic knot-tying training on a VR simulator to a realistic environment: A randomized

- controlled trial. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 22(7), 1636–1642.
<https://doi.org/10.1007/s00464-007-9672-3>
- Verdaasdonk, E. G. G., Dankelman, J., Lange, J. F., & Stassen, L. P. S. (2008b). Incorporation of proficiency criteria for basic laparoscopic skills training: How does it work? *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 22(12), 2609–2615.
<https://doi.org/10.1007/s00464-008-9849-4>
- Verdaasdonk, E. G. G., Stassen, L. P. S., Monteny, L. J., & Dankelman, J. (2006). Validation of a new basic virtual reality simulator for training of basic endoscopic skills: The SIMENDO. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 20(3), 511–518.
<https://doi.org/10.1007/s00464-005-0230-6>
- Verdaasdonk, E. G. G., Stassen, L. P. S., Schijven, M. P., & Dankelman, J. (2007). Construct validity and assessment of the learning curve for the SIMENDO endoscopic simulator. *Surgical Endoscopy*, 21(8), 1406–1412. <https://doi.org/10.1007/s00464-006-9177-5>
- Villamizar Osorio, M. L., & Laguado Jaimes, E. (2019). Content and face validity of the Spanish version of the Sexual Self-Concept Inventory for early adolescent girls. *Investigación y Educación En Enfermería*, 37(1), e2. <https://doi.org/10.17533/udea.iee.v37n1e02>
- Vitari, C., & 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.
- Wagh, M. S., & Waxman, I. (2006). Animal Models for Endoscopic Simulation. *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America*, 16(3), 451–456.
<https://doi.org/10.1016/j.giec.2006.03.011>
- Walker, D. (1992). Methodological Issues in Curriculum Research. In P. W. Jackson (Ed.), *Handbook of Research on Curriculum* (pp. 98–118). Macmillan.
<https://stars.library.ucf.edu/cirs/2222>

- Walker, D., & Bresler, L. (1993). Development research: Definitions, methods, and criteria. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
- Wallace, P. (1997). Following the threads of an innovation: the history of standardized patients in medical education. *Caduceus (Springfield, Ill.)*, 13(2), 5–28.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9509634>
- Walls, J. G., Widmeyer, G. R., & 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>
- Walsh, C. M., Sherlock, M. E., Ling, S. C., & Carnahan, H. (2012). Virtual reality simulation training for health professions trainees in gastrointestinal endoscopy. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 6, CD008237. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008237.pub2>
- Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. In *Educational Technology Research and Development*, 53(4), pp. 5–23. Springer Boston. <https://doi.org/10.1007/BF02504682>
- Wanzel, K. R., Ward, M., & 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>
- Watanabe, Y., Matt Ritter, E., Schwaitzberg, S. D., Korndorffer, J. R., Scott, D. J., Okrainec, A., Bilgic, E., Kaneva, P. A., O'Donnell, M. T., Feldman, L. S., Fried, G. M., & Vassiliou, M. C. (2015). Camera navigation and cannulation: validity evidence for new educational tasks to complement the Fundamentals of Laparoscopic Surgery program. *Surgical Endoscopy*, 29(3), 552–557. <https://doi.org/10.1007/s00464-014-3721-5>
- Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B., & Fisseler, D. (2013). Analysis of the accuracy and robustness of the Leap Motion Controller. *Sensors (Switzerland)*, 13(5), 6380–6393.
<https://doi.org/10.3390/s130506380>

- Wellens, L. M., Meulstee, J., van de Ven, C. P., Terwisscha van Scheltinga, C. E. J., Littooi, A. S., van den Heuvel-Eibrink, M. M., Fiocco, M., Rios, A. C., Maal, T., & Wijnen, M. H. W. A. (2019). Comparison of 3-Dimensional and Augmented Reality Kidney Models With Conventional Imaging Data in the Preoperative Assessment of Children With Wilms Tumors. *JAMA Network Open*, 2(4), e192633. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.2633>
- Wentink, M., Stassen, L. P. S., Alwayn, I., Hosman, R. J. a W., & Stassen, H. G. (2003). Rasmussen's model of human behavior in laparoscopy training. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 17(8), 1241–1246. <https://doi.org/10.1007/s00464-002-9140-z>
- Wignall, G. R., Denstedt, J. D., Preminger, G. M., Cadeddu, J. a., Pearle, M. S., Sweet, R. M., & 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>
- Wilhelm, D. M., Ogan, K., Roehrborn, C. G., Cadeddu, J. A., & Pearle, M. S. (2002). Assessment of basic endoscopic performance using a virtual reality simulator. *Journal of the American College of Surgeons*, 195(5), 675–681. [https://doi.org/10.1016/S1072-7515\(02\)01346-7](https://doi.org/10.1016/S1072-7515(02)01346-7)
- Williams, R. G., Verhulst, S., Colliver, J. A., Sanfey, H., Chen, X., & Dunnington, G. L. (2012). A template for reliable assessment of resident operative performance: Assessment intervals, numbers of cases and raters. *Surgery (United States)*, 152(4), 517–527. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2012.07.004>
- Wilson, M. S., Middlebrook, A., Sutton, C., Stone, R., & 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.
- Windsor, J. A., Diener, S., & Zoha, F. (2008). Learning style and laparoscopic experience in psychomotor skill performance using a virtual reality surgical simulator. *American Journal of Surgery*, 195(6), 837–842. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2007.09.034>
- Wolcott, M. D., Lobczowski, N. G., Lyons, K., & McLaughlin, J. E. (2019). Design-based research: Connecting theory and practice in pharmacy educational intervention research. In *Currents*

- in Pharmacy Teaching and Learning*, 11(3), pp. 309–318). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2018.12.002>
- Wolfe, B. M., Gardiner, B., & Frey, C. F. (2015). Laparoscopic Cholecystectomy: A Remarkable Development. *JAMA*, 314(13), 1406. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.12014>
- Wong, K., Yee, H. M., Xavier, B. A., & Grillone, G. A. (2018). Applications of Augmented Reality in Otolaryngology: A Systematic Review. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 159(6), 956–967. <https://doi.org/10.1177/0194599818796476>
- Woodrum, D. T., Andreatta, P. B., Yellamanchilli, R. K., Feryus, L., Gauger, P. G., & Minter, R. M. (2006). Construct validity of the LapSim laparoscopic surgical simulator. *American Journal of Surgery*, 191(1), 28–32. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.10.018>
- Wright, T., de Ribaupierre, S., & Eagleson, R. (2017). Design and evaluation of an augmented reality simulator using leap motion. *Healthcare Technology Letters*, 4(5), 210–215. <https://doi.org/10.1049/htl.2017.0070>
- Xiao, D. J., Jakimowicz, J. J., Albayrak, A., & Goossens, R. H. M. (2012). Ergonomic factors on task performance in laparoscopic surgery training. *Applied Ergonomics*, 43(3), 548–553. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.08.010>
- Xiao, D., Jakimowicz, J. ., Albayrak, A., Buzink, S. N., Botden, S. M. B. I., & Goossens, R. H. M. (2014). Face, content, and construct validity of a novel portable ergonomic simulator for basic laparoscopic skills. *Journal of Surgical Education*, 71(1), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.05.003>
- Yamaguchi, S., Konishi, K., Yasunaga, T., Yoshida, D., Kinjo, N., Kobayashi, K., Ieiri, S., Okazaki, K., Nakashima, H., Tanoue, K., Maehara, Y., & Hashizume, M. (2007). Construct validity for eye-hand coordination skill on a virtual reality laparoscopic surgical simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 21(12), 2253–2257. <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9362-1>

- Yamashita, Y., Kurohiji, T., & Kakegawa, T. (1994). Evaluation of two training programs for laparoscopic cholecystectomy: incidence of major complications. *World Journal of Surgery, 18*(2), 279–285; discussion 285. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8042335>
- Yesuf, E. A., Grill, E., Fröschl, G., Haile-Mariam, D., & Koller, D. (2019). Face and content validity of a prospective multidimensional performance instrument for service delivery in district health systems in low-income countries: a Delphi study. *International Health*. <https://doi.org/10.1093/inthealth/ihz064>
- Yoon, J. W., Chen, R. E., Kim, E. J., Akinduro, O. O., Kerezoudis, P., Han, P. K., Si, P., Freeman, W. D., Diaz, R. J., Komotar, R. J., Pirris, S. M., Brown, B. L., Bydon, M., Wang, M. Y., Wharen, R. E., & Quinones-Hinojosa, A. (2018). Augmented reality for the surgeon: Systematic review. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 14*(4), e1914. <https://doi.org/10.1002/rcs.1914>
- Young, J. R., Sih, C., Hogg, M. M., Anderson-Montoya, B. L., & Fasano, H. T. (2018). Qualitative Assessment of Face Validity and Cross-Cultural Acceptability of the Faces Pain Scale: “Revised” in Cameroon. *Qualitative Health Research, 28*(5), 832–843. <https://doi.org/10.1177/1049732318757488>
- Youngblood, P. L., Srivastava, S., Curet, M., Heinrichs, W. L., Dev, P., & Wren, S. M. (2005). Comparison of training on two laparoscopic simulators and assessment of skills transfer to surgical performance. *Journal of the American College of Surgeons, 200*(4), 546–551. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2004.11.011>
- Zendejas, B., Brydges, R., Hamstra, S. J., & Cook, D. a. (2013). State of the evidence on simulation-based training for laparoscopic surgery: a systematic review. *Annals of Surgery, 257*(4), 586–593. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318288c40b>
- Zendejas, B., Ruparel, R. K., & 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>

- Zhang, A., Hünerbein, M., Dai, Y., Schlag, P. M., & Beller, S. (2008). Construct validity testing of a laparoscopic surgery simulator (Lap Mentor®): Evaluation of surgical skill with a virtual laparoscopic training simulator. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 22(6), 1440–1444. <https://doi.org/10.1007/s00464-007-9625-x>
- Zheng, B., Hur, H. C., Johnson, S., & Swanström, L. L. (2010). Validity of using Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS) program to assess laparoscopic competence for gynecologists. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 24(1), 152–160. <https://doi.org/10.1007/s00464-009-0539-7>
- Zhou, M., Tse, S., Derevianko, A., Jones, D. B., Schwaitzberg, S. D., & Cao, C. G. L. (2012). Effect of haptic feedback in laparoscopic surgery skill acquisition. *Surgical Endoscopy*, 26(4), 1128–1134. <https://doi.org/10.1007/s00464-011-2011-8>
- Ziemnik, R. E., & Suchy, Y. (2019). Ecological validity of performance-based measures of executive functions: Is face validity necessary for prediction of daily functioning? *Psychological Assessment*. <https://doi.org/10.1037/pas0000751>
- Ziv, A., Ben-David, S., & Ziv, M. (2005). Simulation based medical education: an opportunity to learn from errors. *Medical Teacher*, 27(3), 193–199. <https://doi.org/10.1080/01421590500126718>
- Ziv, A., Wolpe, P. R., Small, S. D., & 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., & 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>
- Zivkovic, N., van Samkar, G., Hermanns, H., Lirk, P., Hollmann, M. W., van den Dobbelen, J. J., van Gerwen, D. J., & Stevens, M. F. (2019). Face and construct validity of TU-Delft epidural

simulator and the value of real-time visualization. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*, 44(3), 298–302. <https://doi.org/10.1136/rapm-2018-100161>

Zumbo, B. D., & Chan, E. K. H. (Eds.). (2014). *Validity and Validation in Social, Behavioral, and Health Sciences*, 54. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07794-9>

Anexos

Anexo 1. Revisiones sistemáticas de la literatura sobre simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS

Tabla 20. Revisiones sistemáticas de la literatura sobre simulación para el aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS

Estudio	Área de simulación	Propósito	Resultados/Conclusiones
(Feldman, Sherman, et al., 2004)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Una revisión de la literatura acerca de los simuladores disponibles, sus ventajas y debilidades como herramientas de evaluación. ¿El desempeño en un simulador puede predecir el desempeño en el quirófano?	Aunque los resultados de esta revisión demuestran una amplia variabilidad en el diseño experimental y en el rigor de los estudios, la evidencia sugiere que los simuladores son útiles para entrenar a los cirujanos novatos en las destrezas psicomotoras básicas en MIS y además hay evidencia preliminar que apoya que estas destrezas derivan en un desempeño más efectivo en el quirófano.
(Issenberg et al., 2005)	Simuladores de alta fidelidad en Medicina	¿Cuáles son las características y los usos de la simulación de alta fidelidad en Medicina que llevan al aprendizaje más efectivo?	La mejor evidencia disponible sugiere que la simulación de alta fidelidad en Medicina facilita el aprendizaje dadas las condiciones adecuadas.
(McGaghie et al., 2006)	Simuladores de alta fidelidad en Medicina	La hipótesis plantea que existe una asociación entre las horas de práctica en educación médica basada en la simulación y los desenlaces del aprendizaje estandarizado.	Las horas de práctica en un simulador de alta fidelidad tiene un efecto positivo con respecto a los desenlaces de aprendizaje en educación médica.
(Haque & Srinivasan, 2006)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Meta-análisis de la eficacia de los simuladores de realidad virtual en 1) transferencia de destrezas a la sala d operaciones, 2) habilidad para discriminar los niveles de experiencia entre diferentes usuarios	El meta-análisis reveló que el entrenamiento en simuladores de RV disminuye el tiempo necesario para completar una tarea quirúrgica y que claramente diferencia entre novatos y expertos
(Sutherland et al., 2006)	Simulación para entrenamiento quirúrgico	Evaluar la efectividad de la simulación quirúrgica comparada con otros métodos de entrenamiento quirúrgico.	Si bien se tienen múltiples razones para disminuir el uso de pacientes, cadáveres y animales para el entrenamiento quirúrgico, ninguno de los métodos de simulación para el entrenamiento quirúrgico por simulación ha mostrado ser mejor que las otras formas de entrenamiento quirúrgico.
(Lynagh et al., 2007)	Simulación para entrenamiento quirúrgico	Evaluar la efectividad de los laboratorios de destrezas o simuladores. Evaluar si el desempeño en destrezas médicas es transferible al ambiente clínico y se mantiene en el tiempo.	Los laboratorios de destrezas médicas mejoran las destrezas si se comparan con métodos estándar o no entrenamiento. Existe carencia de estudios bien diseñados sobre transferibilidad y retención.
(Gurusamy et al., 2008)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Determinar si el entrenamiento con RV puede suplementar y/o reemplazar el entrenamiento en MIS convencional en novatos con ninguna experiencia o experiencia limitada.	El entrenamiento con RV puede complementar el entrenamiento estándar. Es al menos tan efectivo como el entrenamiento con cajas.
(Schout et al., 2008)	Simuladores de realidad virtual en MIS en urología	Reconocer los modelos de entrenamiento y su validez.	Se requieren mas estudios de validación aleatorios y controlados con mayor número de participantes
(Sturm et al., 2008)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Evaluar si las destrezas adquiridas por simulación se transfieren al ambiente operatorio.	Las destrezas parecen ser transferibles al quirófano. Se requieren más estudios.
(Van Der Meijden & Schijven, 2009)	Simuladores de realidad virtual en MIS convencional y robótica	Revisar el valor de la retroalimentación táctil in MIS convencional y robótica y el entrenamiento usando RV.	No hay consenso sobre la importancia de la retroalimentación táctil en MIS. Esta es importante durante las primeras fases de la adquisición de la destreza psicomotora.
(Schout et al., 2010)	Validez en simulación	Realizar una revisión crítica de la literatura relacionada con la validación de simuladores.	El desarrollo y la validación de modelos de entrenamiento deben estar basados en un enfoque multidisciplinario que involucre especialistas (profesores), residentes (aprendices) y pedagogos (que enseñan a los profesores), diseñadores industriales. Además de las destrezas técnicas, se deben tener en cuenta los factores contextuales, interpersonales y relacionados con las tareas.

Estudio	Área de simulación	Propósito	Resultados/Conclusiones
(Van Nortwick et al., 2010)	Validez en simulación	Reportar los enfoques metodológicos y los criterios de referencia para establecer la validez de los estudios de simulación en cirugía.	No hay metodologías estandarizadas para establecer la validación.
(Modi et al., 2010)	Simuladores de realidad virtual en MIS en Ortopedia	Evaluar si los simuladores de RV son capaces de enseñar y evaluar destrezas en artroscopia y si estas son transferibles al ambiente quirúrgico	Los simuladores de artroscopia con retroalimentación táctil tienen altos niveles de consistencia y confiabilidad. Mejoran las destrezas en novatos y la evidencia sugiere que mejoran el desempeño en el quirófano
(Miskovic et al., 2010)	Simuladores de realidad virtual en MIS convencional y robótica Revisión sistemática y meta-análisis	Identificar y evaluar la influencia de la monitoría y el entrenamiento simulador en cirugía colorectal y definir los componentes para el aprendizaje de destrezas avanzadas.	Se soporta la evidencia de que los aprendices pueden obtener resultados clínicos similares a los de los expertos en cirugía colorectal laparoscópica si son supervisados por un experto. El modelo del cadáver es el mejor en cuanto a simulación. Se requieren más estudios sobre simulación.
(Ahmed et al., 2011)	Simulación en Urología.	Analizar los estudios que validan la efectividad y las deficiencias de la simulación para el entrenamiento y la evaluación en urología.	Los modelos actuales de simulación son válidos y confiables en las fases iniciales de entrenamiento y evaluación. Para la adquisición de niveles avanzados y especializados de destrezas los modelos animales pueden usarse pero su disponibilidad es limitada. Se requieren más estudios para la validación de entornos simulados para especialistas.
(Cook et al., 2011)	Simulación mejorada mediante tecnología para el entrenamiento de personal de Salud	Resumir los desenlaces del entrenamiento para personal de salud mediante simulación mejorada mediante tecnología cuando se compara con ninguna intervención.	En comparación con la no intervención, el entrenamiento mediante simulación mejorada por tecnología para profesionales de la salud se asoció de manera consistente con mayores efectos sobre los desenlaces de conocimiento, destrezas y comportamiento y efectos moderados sobre los resultados relacionados con el paciente.
(Schreuder et al., 2012)	Simuladores de realidad virtual en MIS robótica	Revisar las estrategias de entrenamiento y aprendizaje en MIS robótica.	El entrenamiento mediante RV podrá jugar un papel importante en el futuro.
(Cook et al., 2013)	Simuladores para la evaluación de los profesionales en Salud. Validez en simulación	Resumir las características de las herramientas, evidencia de la validez, calidad metodológica de los estudios sobre evaluación mediada por simulación en aprendices de las áreas de la salud.	La validez para la evaluación por medio de simulación es escasa y se concentra en especialidades, herramientas y fuentes de evidencia de validez muy específicas.
(Ansell et al., 2012)	Simuladores de realidad virtual en colonoscopia.	Evaluar la evidencia existente de la validez de los simuladores de RV en colonoscopia.	La evidencia apoya la validez de apariencia, de contenido y de constructo.
(Walsh et al., 2012)	Simuladores de realidad virtual en endoscopia digestiva.	Determinar si el entrenamiento mediante simulación puede suplementar o reemplazar el modelo convencional de aprendizaje en endoscopia digestiva.	Los entrenadores para endoscopia de realidad virtual pueden ser usados de manera efectiva pero aún no hay suficiente evidencia para recomendar la simulación como reemplazo del aprendizaje convencional.
(Larsen, Oestergaard, Ottesen, & Soerensen, 2012)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Evaluar la eficacia del entrenamiento mediante RV comparado con el tradicional o no entrenamiento y su impacto sobre el desempeño quirúrgico en animales y humanos.	Las destrezas en MIS pueden ser mejoradas mediante realidad virtual. Hay evidencia para apoyar el uso de simuladores de RV para el entrenamiento en MIS.
(Papanikolaou, 2013)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Evaluar el papel de los simuladores de RV en el entrenamiento quirúrgico.	En un futuro próximo, los simuladores de RV podrán ser una herramienta integral para entrenamiento y validación de destrezas.
(Nguyen et al., 2013)	Simulación mediante cajas en MIS	Comparar los entrenadores comerciales de video con cajas más sencillas y económicas para la adquisición de destrezas en MIS.	Los entrenadores sencillos y de video con igual de eficientes para el aprendizaje de destrezas, lo cual sugiere que pueden ser costo-efectivos
(Gravante & Venditti, 2013)	Simulación mediante cajas en MIS	Describir las cajas de entrenamiento más comunes y presentar su validez para el aprendizaje de destrezas avanzadas en MIS.	Las cajas de entrenamiento deben ser usadas por todos los aprendices de cirugía.

Estudio	Área de simulación	Propósito	Resultados/Conclusiones
(Michael et al., 2014)	Simuladores físicos y de realidad virtual en MIS	Explorar e identificar los simuladores basados en computadores otros usados por los estudiantes de Medicina para aprender información compleja.	Los simuladores puede proporcionar una experiencia realista y educativa a los estudiantes de Medicina.
(Kennedy et al., 2013)	Entrenamiento en broncoscopia mediante simulación	Identificar el estado del entrenamiento en broncoscopia mediante simulación.	El entrenamiento mediante simulación es efectivo cuando se compara con no intervención. Los estudios comparativos sobre efectividad son escasos.
(Thomas, 2013)	Simuladores físicos y de realidad virtual en MIS	Establecer el estado actual de la simulación quirúrgica para el desarrollo de competencias técnicas.	Basados en la evidencia actual, los aprendices pueden confiar en el uso de la simulación para su entrenamiento. La simulación quirúrgica por medio de cajas y RV deben ser utilizada. Sin embargo, siempre debe haber retroalimentación por los tutores.
(Moghul et al., 2013)	Simuladores físicos y de realidad virtual en NOTES	Revisar el estado actual de la educación y entrenamiento en NOTES.	La información es limitada. Se requiere investigación adicional.
(Nagendran et al., 2013)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Evaluar los beneficios (mejor proficiencia quirúrgica y mejores resultados para los pacientes) y riesgos (peores resultados para los pacientes) del entrenamiento suplementario mediante RV de novatos con experiencia mínima en MIS.	En entrenamiento mediante RV disminuye el tiempo operatorio y mejora el desempeño quirúrgico cuando se compara con no entrenamiento o entrenamiento en una caja. Se desconoce aún el impacto sobre el resultado en el paciente y los costos.
(Abboudi et al., 2013)	Simuladores de realidad virtual en MIS robótica	Analizar los estudios que validan la efectividad de los simuladores para cirugía robótica	Los simuladores existentes pueden ser usados en al fase inicial de entrenamiento. Se requieren nuevos estudios para evaluar costo-efectividad y transferibilidad de las destrezas en los pacientes reales.
(Zendejas et al., 2013)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Resumir los resultados y mejores prácticas del entrenamiento de MIS mediante simulación.	La simulación para el entrenamiento quirúrgico tiene beneficios cuando se compara con no intervención y es moderadamente más efectivo sobre el entrenamiento sin simulación. Las destrezas básicas pueden ser aprendidas con modelos de simulación de bajo costo. Este estudio muestra que el entrenamiento mediante simulación mejora la adquisición de destrezas respecto al método tradicional (Selzer & Dunnington, 2013; Selzer; Gallagher & Satava, 2015).
(Cook et al., 2014)	Validación en el área de simulación con realidad virtual en MIS	Enumerar las fuentes de evidencia de validez y los datos de soporte para la evaluación utilizando simulación mejorada por la tecnología.	Las relaciones con el nivel de entrenamiento parecen estar sobre-representadas en ese campo, mientras que la evidencia de las consecuencias y del proceso de respuesta se reportan con muy poca frecuencia. La ciencia de la validación mejorará a medida que los educadores usen marcos establecidos para coleccionar e interpretar la evidencia a partir de un espectro amplio de fuentes y elementos posibles.
(Dawe, Windsor, et al., 2014)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Buscar correlación entre el desempeño en el simulador y el desempeño en cirugía.	Estos estudios refuerzan la evidencia de que el entrenamiento basado en simuladores como parte de un programa estructurado permite la transferencia de las destrezas al quirófano.
(Dawe et al., 2014)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Determinar si las destrezas adquiridas mediante el entrenamiento con simulación se transfieren al quirófano en colecistectomía laparoscópica y endoscopia.	Las destrezas adquiridas mediante simulación parecen ser transferibles al quirófano.
(Nagendran et al., 2014)	Cajas de simulación en MIS	Comparar los beneficios y los peligros del modelo de entrenamiento con cajas comparado con no entrenamiento, otro modelo, el modelo animal o el modelo de cadáver.	Los resultados mostraron sesgos y errores. Las cajas parecen mejorar las destrezas técnicas cuando se compara con no entrenamiento en novatos.

Estudio	Área de simulación	Propósito	Resultados/Conclusiones
(Singh, Sedlack, & Cook, 2014)	Endoscopia gastrointestinal	Revisión sistemática y meta-análisis de la simulación para el entrenamiento en endoscopia gastrointestinal.	La educación basada en la simulación en endoscopia gastrointestinal se asocia con una mejoría en el desempeño en los exámenes y en la práctica clínica. De igual manera los resultados en el paciente son mejores si se compara con no intervención.
(Arora et al., 2014)	Simuladores de realidad virtual en MIS en Otorrinolaringología	Estudiar los datos de validez de los simuladores de RV en otorrino-	Varias plataformas en cirugía de hueso temporal y de senos merecen ser incorporadas en los programas de entrenamiento. Se requiere métrica estándar.
(Tay et al., 2014)	Simuladores de realidad virtual en MIS en Ortopedia	Revisar la literatura sobre simulación y RV en artroscopia.	La incorporación de la simulación con realidad virtual en otras áreas apoyan un posible papel de esta en ortopedia.
(Beyer-Berjot et al., 2014)	Simuladores de realidad virtual en MIS abdominal.	Identificar y evaluar el papel del entrenamiento en MIS abdominal y definir las maneras de mejorar este tipo de entrenamiento.	Se requieren estudios de mayor calidad para avalar el valor educativo en este campo.
(Vanderbilt et al., 2014)	Simuladores de realidad virtual en MIS	Analizar el impacto y describir el entrenamiento basado en simulación en MIS	La revisión sugiere que el entrenamiento basado en simulación es una manera efectiva para enseñar destrezas en MIS, aumentar la transferencia de estas al quirófano y aumentar la seguridad para el paciente.
(Kirkman et al., 2014)	Simuladores de realidad virtual en MIS en neurocirugía	Revisar la aplicación de la simulación en el entrenamiento en neurocirugía y explorar el estado del arte.	Se tienen beneficios cualitativos y cuantitativos de algunos simuladores pero con fallos en la metodología y en diseño de los estudios.
(Hallet et al., 2015)	Simulación preoperatoria en hepatectomías	Examinar el impacto de la simulación preoperatoria y de la navegación intraoperatoria en el resultado de hepatectomías.	La simulación preoperatoria parece ser exacta al medir el volumen y los márgenes quirúrgicos. La simulación parece útil para planear hepatectomías.
(Brydges et al., 2015)	Simulación en MIS	Examinar la evidencia que apoya el uso de evaluación basada en simulación como reemplazo de los resultados relacionados con el paciente en el lugar de trabajo	La evaluación basada en la simulación con frecuencia se correlacionó de manera positiva con los desenlaces de los pacientes. Las herramientas con evidencia bien establecida pueden reemplazar las evaluaciones para destrezas en el lugar de trabajo.
(Brunckhorst et al., 2015)	Simulación en Urología	Identificar los simuladores disponibles en ureteroscopia, explorar la evidencia acerca su efectividad y hacer recomendaciones.	Hay modelos válidos para el entrenamiento mediante simulación en ureteroscopia. Sin embargo, se carece de estudios de alta calidad.
(Thomsen et al., 2015)	Simulación en Oftalmología	Revisar la evidencia de la simulación para el entrenamiento en oftalmología, la validez y su capacidad de transferencia al quirófano.	La metodología de los estudios es aún inadecuada. Se requiere evidencia.
(Zendejas et al., 2016)	Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS) en MIS	Recopilar evidencia con respecto a la validez de los puntajes del FSL.	Se encontró inter-rater confiabilidad para otra evidencia para validez es escasa. Se requieren más estudios.
(Alaker et al., 2016)	Simulación con realidad virtual en MIS	Revisión sistemática y meta-análisis para evaluar la simulación con realidad virtual en MIS en abdomen comparándolo con otros modelos y no entrenamiento.	El uso de entrenamiento con VR bajo supervisión y con instrucciones oportunas y retroalimentación, y la retroalimentación táctil ha probado ser la forma más efectiva para proporcionar entrenamiento con VR.
(Hetaimish et al., 2016)	Simulación para el entrenamiento en Ortopedia	Evaluar los resultados de la efectividad de la simulación en el entrenamiento de artroscopia de la rodilla y reportar la consistencia de los estudios de validación en el área.	Los resultados fueron variables y se requieren más estudios sobre el tema.
(Aydin, Shafi, et al., 2016)	Simulación en Urología	Identificar los métodos actuales para el entrenamiento en urología, el estado de validez y la evidencia detrás de cada modelo.	Hay pocos estudios de validación con alto nivel de evidencia acerca de la transferencia de las destrezas. Sin embargo, los modelos disponibles deben ser usados en los programas de formación.
(Barsom et al., 2016)	Realidad virtual aumentada en educación médica	Investigar hasta qué punto la realidad aumentada se usa para validar el entrenamiento del personal médico.	No hay evidencia que soporte el uso de realidad aumentada en educación médica.

Estudio	Área de simulación	Propósito	Resultados/Conclusiones
(Bhutta, 2016)	Simulación en Otorrinolaringología	Revisar las plataformas de simulación para cirugía del hueso temporal, evaluar su valor educativo en términos de validez y de transferencia al quirófano.	Actualmente la simulación con cadáveres es la mejor plataforma de entrenamiento. Los avances tecnológicos los nuevos modelos podrán ser comparables con el modelo cadaavérico.
(Moglia et al., 2016)	Simulación con realidad virtual en cirugía robótica	Evaluar la evidencia sobre la eficacia del entrenamiento de cirugía robótica en simuladores de realidad virtual.	Se requieren con urgencia estudios aleatorios controlados multicéntricos bien diseñados en el tema.
(Rehder et al., 2016)	Simulación en Neurocirugía.	Identificar los modelos de simulación en Neurocirugía.	Hay múltiples simuladores en Neurocirugía para complementar el entrenamiento y todos ellos son prometedores.
(Aim et al., 2016)	Simulación con realidad virtual en Ortopedia	Determinar la efectividad de la realidad virtual para el entrenamiento en cirugía ortopédica.	El entrenamiento con realidad virtual mejora las destrezas técnicas en cirugía ortopédica. Aún no se ha determinado su transferencia al quirófano.
(Forgione & Guraya, 2017)	Simulación para el entrenamiento en cirugía.	Explorar el valor de las herramientas quirúrgicas disponibles por fuera del quirófano y de los programas de entrenamiento en centros de clase mundial con el propósito de formular un programa estructurado y unificado para entrenamiento quirúrgico.	Los centros reconocidos mundialmente para entrenamiento en cirugía emplean varias herramientas que pretenden adquirir conocimiento y habilidades técnicas. Sin embargo no hay un currículo unificado aceptado universalmente.
(Pike et al., 2017)	Simulación preoperatoria para calentamiento quirúrgico	Identificar los estudios que describen el uso de técnicas de simulación preoperatoria como precalentamiento.	Se advierte la necesidad de un enfoque riguroso para el desarrollo de rutinas de calentamiento prequirúrgico.
(Ryu et al., 2017)	Simulación sobre pacientes específicos para el entrenamiento en cirugía.	Evaluar la utilización y el valor educativo de la simulación de pacientes específicos para el entrenamiento quirúrgico.	La evidencia muestra la factibilidad y la utilidad de la simulación de pacientes específicos para la educación en cirugía. Con los desarrollos futuros esta modalidad podrá soportar el entrenamiento de competencias de alto nivel y de destrezas quirúrgicas.
(Li & George, 2017)	Uso de simuladores de bajo costo	Realizar una revisión sistemática acerca de los simuladores en MIS de bajo costo	Los modelos de bajo costo proporcionan opciones simples y de fácil acceso para el aprendizaje aunque un porcentaje significativo de ellos no ha sido sometidos a validación. Los simuladores portátiles pueden ser la solución más equitativa para la práctica regular de destrezas básicas.
(Pfandler et al., 2017)	Realidad virtual en Neurocirugía	Identificar y evaluar la investigación actual en RV en procedimientos espinales y la calidad de los estudios.	Se requieren estudios de mayor calidad con resultados finales en los pacientes.
(Musbahi et al., 2017)	Simulación en Otorrinolaringología.	Identificar los simuladores disponibles en otorrinolaringología, su estado de validación y evaluar el nivel de evidencia disponible para cada modelo y establecer los niveles de recomendación.	Se carece de evidencia en los estudios de resultados y existe un número limitado de simuladores con estudios de validez.
(Mazur et al., 2018)	Realidad virtual en Neurocirugía.	Examinar la literatura acerca de la simulación para la planeación prequirúrgica y el entrenamiento en tumores intracraneales y evaluar la calidad de estos estudios.	La realidad virtual ha documentado ser útil para planear una cirugía craneana. Se ha demostrado validez aparente y de constructo.
(Patel et al., 2018)	Simulación en cirugía pediátrica	Identificar los simuladores disponibles en cirugía pediátrica, valorar su validez y la evidencia.	Hay un número creciente de simuladores específicos para cirugía pediátrica. Sin embargo, tienen bajo nivel de evidencia y de recomendación.
(Morgan et al., 2017)	Simulación en Ortopedia.	Revisar los simuladores para entrenamiento y evaluación en ortopedia.	Los simuladores en Ortopedia son sometidos a estudios de validación, pero el nivel de evidencia es bajo. Faltan estudios sobre destrezas no técnicas y de análisis de costos.
(Rashed et al., 2018)	Simulación en artroscopia (Ortopedia).	Revisar la utilidad de los simuladores de artroscopia para el aprendizaje de destrezas quirúrgicas.	Se advierte considerable evidencia sobre el uso de simuladores en el entrenamiento de artroscopia. Debe desarrollarse un curso estándar que pueda ser comparado con el modelo de entrenamiento en el quirófano.
(Khan et al., 2018)	Simulación con realidad virtual en endoscopia gastrointestinal.	Evaluar la efectividad del entrenamiento con simulación con realidad virtual en endoscopia gastrointestinal.	El entrenamiento basado en simulación de realidad virtual puede usarse para suplementar el entrenamiento convencional en endoscopia. Pero no hay suficiente evidencia para reemplazar el método tradicional.


Estudio	Área de simulación	Propósito	Resultados/Conclusiones
(Wong et al., 2018)	Realidad aumentada en Otorrinolaringología	Identificar y evaluar las aplicaciones de realidad aumentada en Otorrino y examinar la tendencia en el tiempo.	Si bien lo niveles de evidencia son modestos, el tópicó crece con rapidez y continúa en expansión.
(Yoon et al., 2018)	Realidad aumentada en cirugía	Desde la introducción de dispositivos para utilizar en la cabeza se observa mucho interés en adaptar esta tecnología en la práctica rutinaria de la cirugía.	Los dispositivos de realidad aumentada con capacidad de sobreponer imágenes en el campo quirúrgico serán claves en la nueva generación de dispositivos para usar en la cabeza en cirugía.
(Stew et al., 2018)	Realidad virtual en simulación en Otorrinolaringología	Analizar la evidencia sobre la simulación para la cirugía endoscópica de senos paranasales.	Se han validado simuladores para cirugía de senos paranasales. No fue posible realizar un meta-análisis.
(Bertolo et al., 2019)	Realidad virtual aumentada en Urología.	Investigar el impacto clínico de la realidad virtual aumentada en Urología.	Existe evidencia limitada que muestra mayores beneficios terapéuticos de la cirugía guiada por realidad aumentada cuando se compara con el enfoque tradicional.
(Torres-de la Roche et al., 2019)	Simulación con realidad virtual en Ginecología.	Identificar cómo se usa la simulación para entrenamiento y calificación de MIS en ginecología.	No hay evidencia clara que avale la superioridad de una herramienta sobre los otros métodos. Sin embargo, los estudios prospectivos indican que los cursos que combinan diferentes métodos de entrenamiento mejoran las destrezas en MIS.
(Fiard et al., 2019)	Simulación en Urología	Revisar sistemáticamente la literatura sobre las herramientas disponibles para el entrenamiento quirúrgico en urología y su nivel de validación.	Hay muchos simuladores en urología que permiten la reproducción de una gran variedad de procedimientos. Sin embargo, el nivel de validación es inconsistente.
(Rasmussen, Grauslund, & Vergmann, 2019)	Simulación en Oftalmología	Revisar la literatura actual en simulación para el entrenamiento en cirugía de vítreo y retina y evaluar su calidad.	La simulación puede ayudar a adquirir destrezas en el área. Se requieren estudios adicionales para avalar la transferencia de las destrezas al quirófano.

El estudio demuestra que hay evidencia suficiente que soporta el uso de simulación con realidad virtual para la enseñanza y aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS o que los estudios de validación y su metodología han sido apropiados.



El estudio demuestra que no hay evidencia suficiente que soporte el uso de simulación con RV para la enseñanza y aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS o que los estudios de validación y su metodología no han sido apropiados.

Anexo 2. Simuladores comerciales



Tabla 21. Simuladores comerciales más frecuentemente usados para enseñanza/aprendizaje de destrezas psicomotoras en MIS

Simulador	Casa productora	Características	Estudios de validación	Imagen
<p>Cajas de entrenamiento ("pelvic trainers", "video trainers")</p> <p>McGill Inanimate System for Training and Evaluation of Laparoscopic Skills (MISTELS)</p>	<p>(SAGES, Los Angeles, CA, USA).</p>	<p>Simulador de tareas</p>	<p>(Derossis, Bothwell, et al., 1998; Derossis et al., 1998; Jordan et al., 2001; Dauster et al., 2005; Fraser et al., 2003; Vassiliou et al., 2006; Sansregret et al., 2009; Fried et al., 2004; Munro, 2012; Tanoue et al., 2008; Debes et al., 2010; Stefanidis et al., 2008; Stefanidis et al., 2005; Korndorffer, Dunne, et al., 2005; Stefanidis et al., 2006; Ritter et al., 2007; Ritter et al., 2007; Fried et al., 1999; Derossis et al., 1999; Feldman, Hagarty, et al., 2004; Azzie et al., 2011; Zheng et al., 2010; Sroka et al., 2010)</p>	 <p>(Dauster et al., 2005)</p>

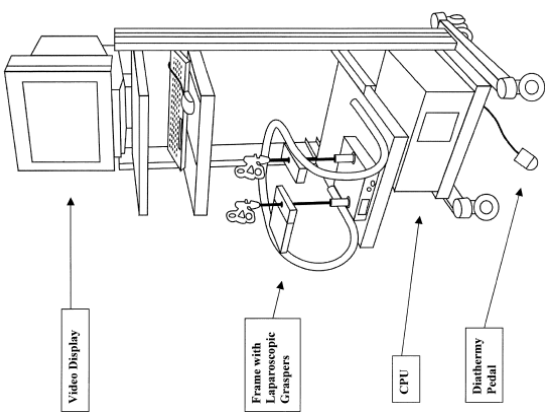
<p>Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS)</p>	<p>(SAGES, Los Angeles, CA, USA)</p>	<p>Simulador de tareas</p>	<p>(Vassiliou, Dunkin, et al., 2010; Poulouse et al., 2014; Vassiliou et al., 2014)</p>	
<p>eoSim</p>	<p>(eoSurgical, Edinburgh, UK)</p>	<p>Simulador de tareas</p>	<p>(Hennessey & Hewett, 2013; Retrosi et al., 2015; Leijte et al., 2019; Mansoor et al., 2019)</p>	
<p>EndoVis</p>	<p>National Polytechnic Institute of Mexico</p>	<p>Simulador de tareas</p>	<p>(Escamirosa et al., 2015)</p>	


TASKit	(Ethicon Endo-surgery Inc. USA.)	Simulador de tareas	(Nakamura et al., 2012)	 <p>(Nakamura et al., 2012)</p>
Simuladores híbridos o de realidad virtual aumentada				
Simulador Surgical SIM (Lts3E)	Casa productora (METI, Sarasota, FL, USA)	Tipo de simulador Simulador de tareas	Estudios (Soyinka et al., 2008)	 <p>(Soyinka et al., 2008)</p>



TrEndo	(Delft University of Technology, Delft, The Netherlands)	Simulador de tareas	(Van Empel, Van Rijssen, et al., 2012; (Van Empel et al., 2013; Chmarra, Jansen, Grimbergen, & Dankelman, 2008).	 <p>(Dankelman, 2008)</p>
LTS 2000-ISM 60	(Realism Systems, Albuquerque, NM, USA)	Simulador de tareas	(Sansregret et al., 2009; Madan, Frantzides, Tebbit, et al., 2005; Fichera et al., 2005; Fichera et al., 2005; Madan & Frantzides, 2007b).	 <p>(Fichera et al., 2005)</p>


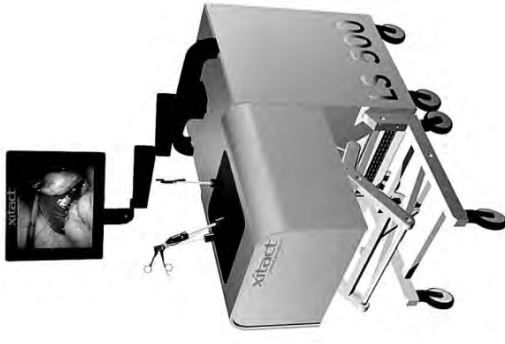
<p>ProMIS</p>	<p>(Haptica Inc., Boston, MA, USA) (Haptica, Dublin, Ireland)</p>	<p>Simulador de tareas / Simulador de procedimientos</p>	<p>(Botden et al., 2008; Pellen et al., 2009; Van Sickle et al., 2005; Neary et al., 2008; Stefanidis et al., 2009; Ritter et al., 2007).</p>	 <p>(Neary et al., 2008)</p>
<p>CELTS (Computer-Enhanced Laparoscopic Training System)</p>	<p>(CIMIT, Boston, MA, USA).</p>	<p>Simulador de tareas</p>	<p>(Stylopoulos et al., 2004; Maithel et al., 2005; Maithel et al., 2006).</p>	 <p>(Stylopoulos et al., 2004)</p>


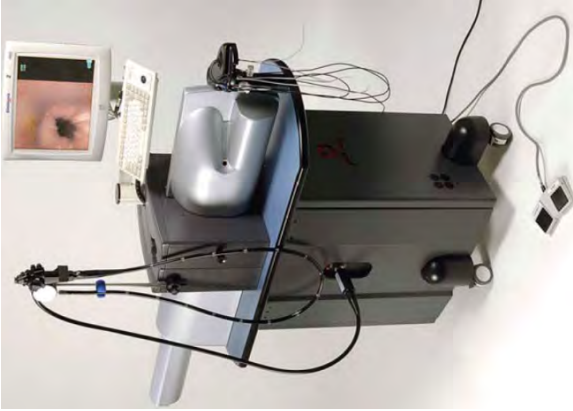
Simuladores de realidad virtual

Simulador	Casa productora	Tipo de simulador	Estudios	Imagen
Minimally Invasive Surgical Trainer -Virtual Reality MIST-VR MIST-VR Prodecicus MIST Nephrectomy	(Mentice Medical Simulation AB, Gothenburg, Sweden) MIST-VR Prodecicus (SimSurgery A/S, Oslo, Norway)	Simulador de tareas	Véase: Estudios de validación del MIST-VR MIST Nephrectomy (Brewin et al., 2010)	 <p align="right">(McNatt & Smith, 2001)</p>

<p>LAPMentor system</p>	<p>(3D Systems, formerly Symbionix Corporation, Cleveland, OH, USA)</p>	<p>Simulador de procedimientos.</p>	<p>(Andreatta et al., 2006; Andreatta et al., 2006; Andreatta et al., 2007; Salkini et al., 2010; McDougall et al., 2006; Zhang et al., 2008; Yamaguchi et al., 2007; Schlickum et al., 2008).</p>	 <p>(Yamaguchi et al., 2007)</p>
-------------------------	---	-------------------------------------	--	---

<p>LapSim VR laparoscopic simulator</p> <p>LapSim Skills, Dissection</p> <p>Basic LapSim</p> <p>LapSim essence</p>	<p>(Surgical Science, Gothenburg, Sweden)</p>	<p>Simulador de tareas / Simulador de procedimientos</p>	<p>(Snyder et al., 2009; Kovac et al., 2012; Van Dongen et al., 2007; Hyltander et al., 2002; Larsen et al., 2006; Munz et al., 2004; Eriksen & Grantcharov, 2005; Woodrum et al., 2006; Duffy et al., 2005; Våpenstad, Hofstad, Langø, et al., 2013; Van Dongen et al., 2011; Youngblood et al., 2005; Ro et al., 2005; Sherman et al., 2005; Alwaal et al., 2015).</p>	 <p>LapSim VR</p> <p>(Våpenstad, Hofstad, Bø, et al., 2013)</p>  <p>LapSim essence</p> <p>https://surgicalscience.com/systems/lapsim/lapsim-essence/lapsim-essence-product-1200/</p>
--	---	--	--	--

Simendo	(Delta Tech, Delft, Netherlands)	Simulador de tareas	(Verdaasdonk et al., 2006; Verdaasdonk et al., 2007; Verdaasdonk et al., 2008a; Verdaasdonk et al., 2008b; Kundhal & Grantcharov, 2009).	 <p>(Verdaasdonk et al., 2007)</p>
Xitact LS 500	(Xitac S.A., Morges, Switzerland)	Simulador de procedimientos Combina sensación táctil con RV de alta fidelidad	(Schijven & Jakimowicz, 2002; Schijven & Jakimowicz, 2003b; Schijven & Jakimowicz, 2004; Rosenthal et al., 2007; Schijven et al., 2005)	 <p>(Schijven & Jakimowicz, 2003b)</p>

LapVR	(Immersion Inc., San Jose, CA, USA)	Simulador de procedimientos	(Iwata et al., 2011; Loukas et al., 2012; Rivard et al., 2014)	 <p>https://medical-simulator.com/cae-lapvr/2476-cae-lapvr.html</p>
GI Mentor GI/BRONCH/URO	(3D systems formerly Symbionix Corporation, Cleveland, OH, USA)	Simulador de tareas	(Vassiliou et al., 2014; Koch et al., 2008; Ritter et al., 2003; Favez et al., 2010; Buzink et al., 2007; Wilhelm et al., 2002)	 <p>(Koch et al., 2008)</p>

Endotower	(Verifi Technologies, Inc, Elizabethtown, PA, USA)	Simulador de navegación con la cámara en MIS.	(Maitzel et al., 2006; Ganai et al., 2007; Stefanidis et al., 2007).	 <p>(Stefanidis et al., 2007)</p>
Tulane trainer	(Tulane Center for Minimally Invasive Surgery, New Orleans, LA, USA)	Simulador de navegación con la cámara en MIS	(Stefanidis et al., 2007).	 <p>(Stefanidis et al., 2007)</p>

Anexo 3. Estudios de validación del MIST-VR

Tabla 22. Estudios de validación del MIST-VR

Estudio	Propósito/Objetivo	Resultados	Tipo de validez
(McCloy et al., 1997)	Las tareas clave con instrumentos con ambas manos en MIS se han diseñado de manera abstracta en un entrenador y evaluador de destrezas psicomotoras de realidad virtual	Desarrollo del MIST-VR	Validez de constructo
(Taffinder, McManus, Gul, Y., Russell, & Darzi, 1998)	Cuantificar el efecto de la ausencia del sueño sobre las habilidades en MIS por medio de un simulador de realidad virtual (MIST-VR).	Los hallazgos sugieren que la ausencia de sueño puede afectar el desempeño en el quirófano.	Relación con otras variables
(Taffinder, Sutton, Fishwick, McManus, & Darzi, 1998)	Evaluar cirujanos con diferente experiencia quirúrgica para validar el sistema de puntaje Evaluar de manera aleatoria controlada el efecto de un curso estándar de entrenamiento en MIS.	El MIST-VR puede evaluar de manera objetiva el número de cualidades deseables en MIS, y puede diferenciar entre cirujanos novatos y experimentados. También se cuantificó el beneficio de un curso estructurado para la adquisición de destrezas psicomotoras.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity").
(Taffinder, Russell, McManus, And, & Darzi, 1998)	Desarrollar criterios objetivos para evaluar las destrezas psicomotoras en un simulador de VR y validar estas medidas comparando cirujanos con experiencia diferente.	Un simulador de VR puede diferenciar entre cirujanos experimentados, cirujanos entrenados y no cirujanos por medio de medidas objetivas no sesgadas. La habilidad para cuantificar la experticia técnica puede tener implicaciones para el entrenamiento, la evaluación y la acreditación.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity").
(Chaudhry et al., 1999)	El estudio analiza la tasa de familiarización temprana con las áreas/instrumental/computador por medio de puntajes consecutivos obtenidos por individuos novatos y con experiencia quirúrgica.	El desempeño fue mejor en los cirujanos experimentados. Estos obtuvieron de manera consistente y de manera significativamente mejores puntajes que los otros sujetos en todas las tareas. La práctica en el simulador mejora los puntajes.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity"). Consecuencias de la prueba
(Gallagher, McClure, McGuigan, Crothers, & Browning, 1999)	Evaluar al efectividad del MIST-VR como un dispositivo de entrenamiento comparado con una caja tradicional.	El entrenamiento por medio de realidad virtual representa una solución potencial y viable para que los aprendices novatos superen el efecto <i>fulcrum</i> en un ambiente de aprendizaje replicable y seguro que permita una medición objetiva y confiable del nivel de destrezas del aprendiz. El MIST-VR fue superior a la caja de entrenamiento.	Relación con otras variables (concurrente)
(Gallagher, Hughes, Reinhardt-Rutland, A. H., McGuigan, & McClure, 2000)	Realizar una evaluación prospectiva y rigurosa del MIST-VR con respecto a los métodos tradicionales de entrenamiento (caja de entrenamiento).	La realidad virtual parece ofrecer una herramienta para el entrenamiento en MIS y para la adquisición de destrezas psicomotoras.	Relación con otras variables (concurrente)
(Jordan, Gallagher, McGuigan, McGlade, et al., 2000)	El propósito fue evaluar la efectividad del MIST-VR como un dispositivo para el entrenamiento en MIS para la adquisición de la automatización del efecto <i>fulcrum</i> y compararlo con el programa de entrenamiento basado en la alternancia aleatoria entre una imagen normal y una imagen con el eje Y invertido. MIST-VR versus una caja de simulación (imagen alternada de manera aleatoria) versus una caja de simulación (imagen normal).	Los resultados muestran que el programa de entrenamiento con RV permite una adquisición más rápida de destrezas con respecto a la automatización del fenómeno <i>fulcrum</i> . El MIST-VR proporciona una nueva forma de entrenar destrezas en MIS.	Relación con otras variables (concurrente)

Estudio	Propósito/Objetivo	Resultados	Tipo de validez
(Jordan, Gallagher, McGuigan, & McClure, 2000)	Evaluar la VR como un dispositivo para entrenar en MIS y ayudar a los cirujanos a automatizar el efecto <i>fulcrum</i> comparándolo con programas de entrenamiento que usan imágenes alternadas de manera aleatoria y condiciones de visión normal en laparoscopia.	Los resultados muestran que el entrenamiento con realidad virtual puede permitir adquirir rápidamente la destreza con respecto a la automatización del efecto <i>fulcrum</i> . El MIST-VR es una nueva manera para entrenar destrezas psicomotoras en cirugía.	Relación con otras variables (concurrente)
(Gallagher et al., 2001)	Comparar las destrezas espaciales innatas usando el MIST-VR, que evalúa de manera objetiva la sensación espacial entre tres grupos (urólogos, residentes de urología y controles que no eran cirujanos).	Los urólogos no se diferenciaron de la población general en términos de habilidad innata espacial. Los urólogos en entrenamiento superaron a los urólogos en estas tareas; la razón no es clara. El MIST-VR no es útil para evaluar aptitudes en urólogos en entrenamiento, aunque puede tener un papel para el aprendizaje de MIS.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity").
(Gallagher et al., 2001)	El propósito fue establecer si el cirujano experimentado tiene mejor desempeño que los cirujanos jóvenes y los cirujanos aprendices.	El MIST-VR diferenció entre los tres grupos de cirujanos. La VR proporciona una herramienta para la evaluación objetiva de las destrezas psicomotoras en MIS.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity").
(Grantcharov, Bardram, et al., 2001)	Investigar la hipótesis si una noche de turno podría afectar adversamente el desempeño del cirujano al realizar tareas laparoscópicas simuladas.	Los cirujanos mostraron disminución en la velocidad y en la exactitud luego de una noche de turno.	Relación con otras variables.
(Grantcharov, Rosenberg, et al., 2001)	Validar el papel de la simulación en VR como un método para evaluar las destrezas quirúrgicas en MIS.	El desempeño laparoscópico en el modelo animal se correlacionó de manera significativa con el desempeño en el simulador. Por tanto, el modelo computarizado parece ser un método promisorio y objetivo para la evaluación de las destrezas psicomotoras en MIS.	Validez interna. Relación con otras variables.
(Jordan et al., 2001)	Evaluar y comparar tres tipos de entrenamiento en un simulador: el MIST-VR, una tarea laparoscópica Z "maze-tracking" y una tarea laparoscópica U maze-tracking	Las personas que entrenaron en el MIST-VR realizaron de manera significativa mejores incisiones y menos incisiones incorrectas. El entrenamiento en un simulador de VR ayuda a los novatos a adaptarse de manera más rápida al fenómeno <i>fulcrum</i> . El entrenamiento en el MIST-VR es superior a no entrenarse.	Validez interna Consecuencias de la prueba
(McNatt & Smith, 2001)	Evaluar la habilidad de un dispositivo para evaluar destrezas en MIS para diferenciar el desempeño de novatos con respecto al desempeño de cirujanos experimentados y además validar su uso en educación quirúrgica.	Un dispositivo para evaluar destrezas en MIS puede discernir entre diversos niveles de destrezas en MIS. Estos dispositivos pueden usarse para entrenamiento y para evaluar objetivamente la adquisición de destrezas en MIS.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity").
(Paisley et al., 2001)	Determinar la validez de criterio y de constructo de los simuladores para la evaluación de las destrezas en MIS	Se debe mejorar la evaluación de las destrezas técnicas en MIS. Se debe establecer la confiabilidad y validez de los simuladores disponibles	Relación con otras variables (validez de criterio).
(Smith, Farrell, McNatt, & Metreveli, 2001)	Para cuantificar la velocidad y la exactitud durante el desempeño en destrezas en MIS se ha desarrollado un dispositivo para evaluación de destrezas usando una plataforma de simulación que mide con exactitud el movimiento de los instrumentos durante el desarrollo de manipulaciones en MIS.	Cuando a personas no entrenadas se les enseña una tarea manipulativa en MIS, la medición del tiempo solamente falla al considerar con exactitud la curva de aprendizaje más prolongada. Por tanto, los dispositivos y programas de entrenamiento que no consideran la evaluación objetiva de la exactitud, pueden sobreestimar el desempeño.	Validez interna
(Torkington et al., 2001a)	Evaluar las transferencias de destrezas en MIS a un grupo de aprendices básicos en cirugía que atienden un curso de destrezas quirúrgicas básicas.	El curso de destrezas quirúrgicas básicas produce mejoras cuantificables en las destrezas en MIS que se pueden medir en el MIST-VR. Existe un efecto de aprendizaje asociado con el uso sólo del MIST-VR.	Consecuencias de la prueba

Estudio	Propósito/Objetivo	Resultados	Tipo de validez
(Torkington et al., 2001b)	Validar la utilidad de los simuladores de VR. Investigar la transferencia de destrezas a tareas reales. Aleatorio controlado	El entrenamiento de novatos utilizando el MIST-VR permite cambios cuantificables en las destrezas que son transferibles a tareas reales simples y son similares a los resultados que se obtuvieron con el método convencional.	Consecuencias de la prueba
(Ahlberg et al., 2002)	Los propósitos fueron (a) determinar si el entrenamiento con el MIST-VR puede mejorar el desempeño quirúrgico de estudiantes médicos sin experiencia quirúrgica, y (b) evaluar si los resultados obtenidos con el simulador se pueden correlacionar con el desempeño quirúrgico medido por un puntaje calculado a partir de la evaluación de un video. Entrenamiento en el computador vs no entrenamiento Estudio aleatorio y controlado	El MIST-VR puede predecir el desenlace quirúrgico de estudiantes médicos que realizan una cirugía tipo MIS. No se pudo establecer el efecto positivo del entrenamiento previo en el MIST-VR, por tiempo insuficiente de práctica o por la ausencia de aspectos pedagógicos del proceso de entrenamiento. Se cree que los simuladores serán parte importante del entrenamiento y evaluación de los cirujanos en el futuro y que se requieren más estudios. No se encontró diferencia	Validez interna Consecuencias de la prueba
(Ali et al., 2002)	Evaluar la factibilidad de entrenar un grupo de novatos en tareas laparoscópicas usando un sistema de RV. Estudio aleatorio controlado	La simulación con VR es un método efectivo para el entrenamiento para el novato y provee una mejora significativa en las destrezas en un período relativamente corto. Tareas más difíciles parecen proporcionar mejoría a lo largo del tiempo y mejores habilidades.	Validez interna Consecuencias de la prueba
(Gallagher & Satava, 2002)	El principal objetivo fue investigar la utilidad del MIST VR como una métrica del desempeño psicomotor de laparoscopistas experimentados, junior y novatos. Otro propósito fue proporcionar una medida objetiva del desempeño de puntos de referencias para tareas repetidas (ej. Curvas de aprendizaje para los tres grupos).	El MIST VR puede ser usado como métrica para diferenciar entre el desempeño de cirujanos expertos, junior y novatos.	Relación con otras variables (características del aprendizaje- "known group construct validity").
(Hamilton et al., 2002)	El estudio tuvo tres objetivos (a) comparar la mejoría de las habilidades psicomotoras luego de entrenar en un sistema de VR y en una caja tradicional (b) evaluar si las habilidades aprendidas en un sistema son transferibles al otro, y (c) evaluar si el entrenamiento en simuladores de VR o en caja tradicional mejora el desempeño quirúrgico.	Las habilidades psicomotoras mejoraron luego del entrenamiento en simuladores tradicionales y de realidad virtual y estas habilidades son transferibles. El entrenamiento en un sistema de realidad virtual puede mejorar el desempeño quirúrgico durante una colecistectomía laparoscópica.	Relación con otras variables (concurrente) Consecuencias de la prueba.
(Kothari et al., 2002)	La hipótesis es si el MIST-VR puede ser tan efectivo como una caja de simulación para mejorar las destrezas de sutura intracorpórea en MIS. Randomized controlled	El MIST-VR es equivalente al Yale Skills Course para el entrenamiento de las destrezas avanzadas para nudos intracorpóreos en MIS.	Relación con otras variables (concurrente)
(Mackay et al., 2002)	Determinar si hay un efecto de distribución de práctica en medicina. Además, investigar si cualquier beneficio sobre el aprendizaje de la práctica distribuida puede compensar la pérdida de tiempo en el simulador si la extensión de la sesión de entrenamiento fue limitada Estudio aleatorio controlado	Se observó un beneficio de la práctica distribuida sobre la práctica masiva en el aprendizaje de destrezas en MIS en el MIST-VR.	Validez de contenido Práctica distribuida vs. práctica masiva
(Pearson et al., 2002)	Evaluar la efectividad de cinco métodos de entrenamiento - cuatro estructurados y uno no estructurado- para el aprendizaje de nudos intracorpóreos. Simulador MIST VR versus caja de simulación versus auto práctica versus instrucción didáctica versus entrenamiento estándar. Estudio aleatorio controlado	El entrenamiento estructurado puede ser útil para desarrollar destrezas en MIS. El MIST VR es parte clave de este entrenamiento en especial para la evaluación objetiva del desempeño. Resultados inconsistentes.	Relación con otras variables (concurrente)

Estudio	Propósito/Objetivo	Resultados	Tipo de validez
(Seymour et al., 2002)	Demostrar que el entrenamiento con RV transfiere las destrezas técnicas al quirófano. Estudio aleatorio, controlado, doble ciego MIST VR vs entrenamiento estándar.	El uso de simulación quirúrgica con VR para alcanzar ciertos criterios de manera significativa mejoró el desempeño en el quirófano de residentes durante una colectomía laparoscópica. Esta validación de la transferencia de destrezas desde la realidad virtual al quirófano sienta las bases para usos más sofisticados de la VR en evaluación, entrenamiento, reducción del error y certificación de cirujanos.	Relación con otras variables (concurrente)
(Bann et al., 2003)	Evaluar la factibilidad y aplicabilidad de la evaluación objetiva de aprendices usando los modelos empleados en el Imperial College.	Los métodos de evaluación objetiva de las destrezas técnicas en UK son aplicables en Hong Kong. Su uso debe promoverse al igual que el seguimiento de las destrezas desarrolladas.	Validez interna
(Gallagher, Smith, et al., 2003)	Estandarizar el desempeño de las destrezas psicomotoras de cirujanos experimentados en MIS en una tarea en un simulador de VR y en una caja de entrenamiento	Es posible la evaluación objetiva las destrezas psicomotoras en MIS. El estudio demostró que es posible una métrica objetiva que permita identificar las personas con déficit para las habilidades psicomotoras básicas en MIS.	Validez de contenido Validez interna
(Gor et al., 2003)	Evaluar los usos del MIST-VR presentando los datos recolectado a partir de 21 ginecólogos y comparándolos con aquellos provenientes de estudios en cirugía general.	Los simuladores de tareas parciales como el MIST evalúan las habilidades psicomotoras de una manera consistente y confiable.	Validez de contenido Validez interna
(Grantcharov et al., 2003a)	Analizar la tasa de aprendizaje de destrezas en MIS en un sistema de VR y establecer si el simulador fue capaz de diferenciar entre cirujanos con diferente experiencia en MIS. Estudio aleatorio controlado.	Hubo diferentes curvas para los cirujanos con diferentes niveles de experiencia. La tasa de familiarización con el simulador fue proporcional al grado de experiencia de los cirujanos. Los cirujanos más experimentados mostraron mejor desempeño en MIS en el simulador, seguidos por los de experiencia intermedia y por los principiantes. Esto indica que el sistema de puntaje del MIST-VR es sensible y específico al medir destrezas relevantes en MIS.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity"). Validez de contenido Validez interna
(Grantcharov et al., 2003b)	Identificar los factores que influyen sobre el desempeño de los cirujanos, medido mediante un computador de realidad virtual	El estudio proporcionó evidencia de que hay diferencias en las habilidades laparoscópicas entre cirujanos de distinto género, mano dominante y experiencia con computadores.	Relación con otras variables
(Madan et al., 2003)	Comparar la habilidad para evaluar el desempeño de la mano dominante y de la no dominante. La hipótesis es que el desempeño individual de cada mano evaluado con el LTS 2000 (caja de entrenamiento) no correlaciona con al desempeño de cada mano en el MIST-VR Se presenta la validación de un examen con seis tareas para aprendices de cirugía.	Los simuladores de realidad virtual como el MIST-VR permite evaluar las destrezas de cada mano, lo cual puede mejorar y acelerar la adquisición de destrezas en MIS. La valoración del desempeño de cada mano es más difícil con las cajas de entrenamiento.	Relación con otras variables (concurrente)
(Mackay et al., 2003)	Evaluar el potencial de la acomodación tónica en cirugía usando el MIST-VR como una medida del desempeño quirúrgico.	El examen de las destrezas es un método factible y efectivo para evaluar las habilidades técnicas de los aprendices de cirugía	Validez de contenido
(Shah et al., 2003)	Tuvo dos objetivos: estudiar el efecto del entrenamiento en el Procedicus KSA que presenta retroalimentación táctil y un entorno abdominal con el MIST-VR sin retroalimentación táctil.	La acomodación tónica puede jugar un papel en las diferencias individuales de desempeño que se observan cuando se opera con MIS.	Relación con otras variables
(Ström et al., 2003)	Comprobar la habilidad del MIST-VR para diferenciar entre el desempeño de individuos con el mismo nivel experiencia pero con habilidades psicomotoras diferentes.	El uso de simuladores quirúrgicos como el Procedicus KSA y MIST como herramientas pedagógicas para el entrenamiento de estudiantes médicos es exitosa	Relación con otras variables (concurrente)
(Gallagher, Lederman, McGlade, Satava, & Smith, 2004)		El MIST-VR es capaz de evaluar las destrezas psicomotoras necesarias en MIS y discriminar entre expertos y novatos. Más aún, aunque algunos novatos mejoraron sus habilidades rápidamente, un subgrupo tuvo dificultades para adquirir las destrezas. El MIST-VR puede ser útil para identificar este subgrupo de novatos.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity"). Validez discriminativa

Estudio	Propósito/Objetivo	Resultados	Tipo de validez
(Gonzalez et al., 2004)	Evaluar si unos metas específicos y el feedback estimulan a los aprendices a mejorar sus destrezas en MIS.	Trazar metas y usar la retroalimentación motivan a los estudiantes a practicar más cuando se comparan con el grupo auto-dirigido. No hubo diferencias en los puntajes finales en el MIST-VR o en el desempeño en el animal de laboratorio, excepto para la mano no dominante.	Relación con otras variables (concurrente) Consecuencias de la prueba
(Grantcharov et al., 2004)	Este estudio aleatorio examinó el impacto de la simulación con VR en la mejoría de las destrezas psicomotoras en MIS necesarias para realizar una colecistectomía. MIST-VR versus no entrenamiento	Los cirujanos que recibieron entrenamiento en el MIST-VR mostraron un desempeño significativamente mejor en el quirófano que el grupo control. Por tanto, la simulación con VR es una herramienta válida para el entrenamiento de destrezas psicomotoras en MIS y debe ser incorporada en los programas de entrenamiento quirúrgico. MIST-VR fue superior al no entrenamiento	Consecuencias de la prueba
(Ström et al., 2004)	Evaluar la hipótesis de que el desempeño en el simulador de artroscopia no mejora luego de entrenamiento con otros simuladores (MIST-VR) con componentes visuales y espaciales diferentes.	Una hora de entrenamiento en contextos visuales-espaciales distintos no fue suficiente para mejorar el desempeño en las tareas virtuales en artroscopia, sin embargo no se puede excluir que aprendices avanzados puedan mejorar su desempeño.	Relación con otras variables (concurrente)
(McClusky et al., 2004)	Comprender el impacto del entrenamiento con RV en sujetos con experiencia limitada en MIS durante la ejecución de una colecistectomía laparoscópica completa. Estudio aleatorio, controlado.	El entrenamiento en RV de residentes novatos lleva a un menor número de errores intra-operatorios y mejor consistencia en el desempeño durante una colecistectomía laparoscópica.	Consecuencias de la prueba
(Adamsen et al., 2005)	Investigar si hay correlación entre las destrezas manuales en MIS y destrezas psicomotoras en endoscopia flexible.	Ambos simuladores pudieron diferenciar entre sujetos experimentados y no experimentados. Las destrezas en MIS simulada se correlacionan con las destrezas en endoscopia flexible simulada.	Relación con otras variables (características del aprendizaje- "known group construct validity").
(Arora et al., 2005)	Estudiar la relación entre el desempeño en un simulador de otorrino (ES3) y las habilidades fundamentales perceptuales, visual-espaciales y psicomotoras del MIST-VR.	Los puntajes en el simulador de otorrino se correlacionaron significativamente con medidas validadas en el MIST-VT. El ES3 proporciona una evaluación confiable de los factores importantes para adquirir destrezas en MIS, lo que demuestra validez de constructo.	Relación con otras variables (características del aprendizaje- "known group construct validity").
(Avgerinos et al., 2005)	Comparar la efectividad de dos programas de entrenamiento, uno físico y otro virtual. Estudio aleatorio controlado	El modelo físico es más sensible que la realidad virtual para la detectar las diferencias en los niveles de experiencia en MIS.	Relación con otras variables (características del aprendizaje- "known group construct variables (concurrente)
(Madan, Frantzides, & Sasso, 2005)	El MIST-VR puede ser utilizado para diferenciar diversas destrezas en MIS entre novatos.	Si bien no todas las posibles relaciones demostraron correlación significativa, la mayoría si las demostraron. La VR puede ser una manera de medir la habilidad quirúrgica en MIS.	Validez de contenido Relación con otras variables
(Madan, Frantzides, Tebbit, et al., 2005)	Evaluar la hipótesis de que los participantes preferirán un simulador determinado.	Mientras que los simuladores de VR pueden tener algunas ventajas, muchos participantes sintieron que la caja puede ser más útil e interesante y que la escogerían dado el caso.	Relación con otras variables (concurrente)
(Brunner et al., 2005)	El entrenamiento hasta el nivel de experto puede establecer la proficiencia de una manera más eficiente. El propósito es determinar los niveles de experticia para el entrenamiento basado en el desempeño.	Este estudio proporciona el primer paquete de estándares para ayudar a los programas que usan como sistema de entrenamiento al MIST-VR. Estos estándares deben desarrollarse e integrarse en la educación quirúrgica.	Relación con otras variables (características del aprendizaje- "known group construct validity"). Validez de contenido

Estudio	Propósito/Objetivo	Resultados	Tipo de validez
(McClusky et al., 2005)	Analizar si las aptitudes visuales espaciales o psicomotoras se correlacionan con la cantidad de entrenamiento requerido para alcanzar objetivos específicos de desempeño en un simulador de VR	La habilidad visual especial no se correlaciona de significativamente con la duración del entrenamiento. El número de intentos requeridos para entrenar sujetos para lograr objetivos en la tarea de diatermia en el MIST-VR se correlaciona de manera significativa con la aptitud perceptual y psicomotora	Validez interna Validez de contenido
(Stefanidis et al., 2005)	El propósito fue evaluar la retención de destrezas luego de completar un currículo validado de destrezas en MIS.	Aunque los residentes no retuvieron todas las destrezas adquiridas (más en VR que en caja), el entrenamiento en simuladores lleva a destrezas que perduran.	Relación con otras variables (concurrente) Validez de contenido
(Schijven et al., 2005)	Investigar el desempeño en el quirófano de los residentes de cirugía luego de participar en el curso Eindhoven de colecistectomía por VR.	El curso de colecistectomía por MIS Eindhoven por VR mejora las destrezas quirúrgicas en el quirófano por encima del nivel de los residentes entrenados por otros métodos.	Consecuencias de la prueba Relación con otras variables (concurrente)
(Takiguchi et al., 2005)	Evaluar la efectividad del entrenamiento visual por VR para enseñar el anudado. Se tuvieron en cuenta el tiempo y una valoración técnica que se llevó a cabo en el sistema de VR.	El concepto de entrenamiento ciber-visual es efectivo para aprender la técnica de anudado.	Validez de contenido
(Uchal et al., 2005)	Validar un modelo de simulación con 6 tareas para la adquisición de destrezas psicomotoras en MIS.	La simulación con 6 taras es válida. Confiable para la adquisición de destrezas psicomotoras en MIS.	Validez de contenido
(Aggarwal et al., 2006)	Validar un currículo estructurado de VR para proporcionar un enfoque basado en la evidencia para los programas de entrenamiento en MIS. Estudio aleatorio controlado.	Este estudio puede ser útil para incorporar la simulación con VR en los programas de entrenamiento.	Validez de contenido Validez interna
(Maitheil et al., 2006)	Comparar la validez de apariencia y de constructo de tres simuladores diferentes.	Los tres simuladores demostraron validez de apariencia y de contenido significativas.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity"). Fidelidad al criterio
(Ström et al., 2006)	Analizar si la adición de retroalimentación táctil en la fase temprana del entrenamiento mejora el desempeño en MIS, utilizando el MIST-VR. Estudio aleatorio controlado	El estudio indica que la retroalimentación táctil puede ser útil en la fase temprana del entrenamiento para la adquisición de destrezas mediante el uso de simuladores.	Validez interna
(Hedman et al., 2006)	Evaluar si la destreza visual espacial de novatos se relaciona con el desempeño en dos simuladores (MIST-VR) con y sin gráficas anatómicas y retroalimentación táctil que difieren en su complejidad visual-espacial	La destreza visual-espacial es importante para los novatos en la fase temprana de entrenamiento.	Validez interna
(Hackethal et al., 2006)	Obtener los datos de una cohorte de novatos durante un curso de MIS utilizando el MIST-VR y se evaluaron para definir puntos de referencia estándar y puntajes transversales a todas las tareas.	Nuestros resultados proporcionan valores promedios y las desviaciones estándar para la fase de automatización del aprendizaje. Estos datos son útiles para evaluar el desempeño de los aprendices.	Validez interna Validez de contenido
(Madan & Frantzides, 2007b)	La carencia de retroalimentación táctil y la ausencia de realismo pueden ser factores que afectan negativamente el entrenamiento mediante RV. Se examina si no existe diferencia en la adquisición de destrezas en MIS cuando los simuladores de RV se reemplazan parcialmente por cajas inanimadas. La combinación de RV y entrenamiento en cajas lleva a un mejor adquisición de destrezas en MIS comparado alguno de los métodos solamente o sin entrenamiento? Estudio aleatorio controlado.	No se encontró diferencia en la adquisición de destrezas laparoscópicas cuando se incorporan simuladores de RV en un currículo basado en cajas inanimadas. Los centros de entrenamiento deben utilizar ambos modelos.	Relación con otras variables (concurrente)

Estudio	Propósito/Objetivo	Resultados	Tipo de validez
(Madan & Frantzides, 2007a)	¿La combinación de RV y cajas de entrenamiento lleva a una mejor adquisición de destrezas en MIS que cada método de manera individual o ningún entrenamiento?	La combinación de RV y cajas inanimadas lleva a una mejora adquisición de destrezas. Los centros de entrenamiento deben utilizar ambos modelos.	Relación con otras variables (concurrente)
(Hedman et al., 2007)	Estudiar la correlación entre la memoria de trabajo y el desempeño en el MIST-VR y el GI Mentor Estudio crossover	La memoria visual de trabajo en novatos puede ser importante para el desempeño en dos simuladores bien conocidos y validados.	Relación con otras variables (concurrente) Validez interna
(Munz et al., 2007)	Evaluar la factibilidad y efectividad para enseñar nudos intracorpóreos mediante realidad virtual.	La enseñanza de nudos intracorpóreos mediante simuladores de RV es factible y efectiva. Sugiere fuertemente que los simuladores de RV son suficientes para producir transferencia significativa de las habilidades a escenarios en la vida real.	Consecuencias de la prueba Validez de contenido
(Van Sickle et al., 2007)	El propósito fue lograr un estándar nacional de proficiencia usando el MIST-VR basados en el desempeño de cirujanos experimentados.	Se establecieron niveles de proficiencia para las destrezas en MIS usando el MIST-VR.	Validez interna Validez de contenido
(Schlickum et al., 2008)	El propósito es investigar la transferencia del entrenamiento en videojuegos a simuladores avanzados (MIST-VR y GI Mentor).	Existe un efecto de transferencia y la experiencia con videojuegos son importantes en los resultados del entrenamiento de procedimientos quirúrgicos mediante simulación. El entrenamiento con videojuegos puede ser útil al diseñar currículos para el entrenamiento de destrezas en MIS.	Validez interna Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity")
(Madan et al., 2008)	Investigar la hipótesis de que los puntajes basales pueden predecirse en cajas de entrenamiento y de VR para habilidades no quirúrgicas.	Las habilidades no quirúrgicas no predicen los puntajes basales en ninguno de los entrenadores.	Relación con otras variables (concurrente)
(A. K. Moore et al., 2008)	Evaluar si el desempeño en el MIST refleja la experiencia entre ginecólogos y aprendices	Una mayor experiencia quirúrgica y la edad se asociaron con peor desempeño en el MIST-VR.	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity")
(Tanoue et al., 2008)	Evaluar la efectividad del entrenamiento en un simulador de RV y en una caja para el aprendizaje de anudado intracorpóreo para determinar las características de cada método. Estudio aleatorio controlado.	Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los tres grupos, los hallazgos mostraron que el entrenamiento en RV y en la caja tienen diferentes desenlaces. Un currículo de simulación debe usar ambos métodos.	Relación con otras variables (concurrente)
(Kanumuri et al., 2008)	Comparar la efectividad de la RV (MIST-VR) y la realidad aumentada (PROMIS) para el aprendizaje de destrezas laparoscópicas complejas por parte de aprendices.	El entrenamiento en dispositivos de realidad virtual y realidad aumentada tuvo efectos equivalentes en la mejoría del desempeño en novatos.	Relación con otras variables (concurrente) Consecuencias de la prueba
(Van Sickle et al., 2008)	Examinar el impacto de un enfoque basado en un currículo para el aprendizaje de sutura y realización de nudos laparoscópicos. Prospectivo, aleatorio, doble ciego	Los sujetos que recibieron entrenamiento mediante simulación mostraron mejor desempeño intraoperatorio. Este entrenamiento debe ser estándar en los currículos de aprendizaje de destrezas en MIS..	Relación con otras variables (concurrente) Consecuencias de la prueba
(Windson et al., 2008)	Estudiar la relación entre el estilo de aprendizaje, la experiencia quirúrgica y el desempeño psicomotor usando el MIST-VR.	Este estudio resaltó la relación entre el estilo de aprendizaje, la destreza psicomotora y la experiencia en MIS con las implicaciones para la selección de cirujanos, su entrenamiento y la certificación	Validez de contenido Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity")
(Botden et al., 2009)	Evaluar la curva de desempeño para el módulo de sutura del simulador ProMIS de realidad aumentada. El pre-entrenamiento se realizó en el MIST-VR.	El módulo de sutura del ProMIS es una herramienta poderosa para aprender destrezas psicomotoras en MIS.	Relación con otras variables (concurrente)
(Grantcharov & Funch-Jensen, 2009)	Determinar los patrones de la curva de aprendizaje para las destrezas técnicas en MIS.	Los resultados indican que un grupo de sujetos no alcanza proficiencia en las destrezas psicomotoras en MIS.	Relación con otras variables

Estudio	Propósito/Objetivo	Resultados	Tipo de validez
(Schlickum et al., 2009)	Estudio aleatorio y prospectivo para investigar si un entrenamiento sistemático durante cinco meses en dos diferentes videojuegos puede influir el desempeño en dos diferentes simuladores de VR (MIST-VR y GI Mentor II)	El entrenamiento sistemático en videojuegos mejora el desempeño en simuladores de VR. El desempeño en video juegos puede ser un factor predictivo del desempeño en simuladores quirúrgicos.	Relación con otras variables
(Debes et al., 2010)	Evaluar la transferibilidad de las destrezas básicas en MIS en el MIST-VR y en una caja de entrenamiento	Ambos simuladores proporcionaron una mejoría significativa en el desempeño. Las destrezas aprendidas en el MIST-VR son transferibles a la caja, pero no se pudo demostrar lo contrario.	Concurrent
(Zhou et al., 2012)	Examinar mediante un estudio experimental controlado el efecto de la retroalimentación táctil en la curva de aprendizaje de una tarea compleja de sutura y anudado en MIS	En general, el aprendizaje con retroalimentación táctil fue significativamente mejor que sin esta, pero sólo durante las primeras 5 horas de entrenamiento. La retroalimentación táctil puede no ser deseable en los entrenadores de MIS. El beneficio de a un corto tiempo inicial debe sopesarse con el costo de implementación.	Validez interna Relación con otras variables
(Hedman et al., 2013)	Se investigó si los modos de compromiso y de autoeficacia percibida diferían en los principiantes quirúrgicos antes y después del entrenamiento aleatorio en dos videojuegos diferentes durante cinco semanas, y un grupo de control sin entrenamiento	Se sugiere que el entrenamiento con video juegos puede tener un efecto sobre el desempeño en el simulador quirúrgico.	Relación con otras variables
(Gallagher et al., 2013)	Evaluar la efectividad de la transferencia del entrenamiento y la tasa de efectividad de la transferencia a partir de la simulación con RV. Evaluar la concordancia entre el desempeño en un procedimiento simulado y uno in vivo. differences between 2 matched groups carrying out the same task but with 1 group pretrained on VR simulation. Prospectivo, aleatorio y ciego	La simulación con RV es una plataforma poderosa y efectiva para el entrenamiento seguro de destrezas en MIS	Relación con otras variables (características del aprendizaje "known group construct validity") Relación con otras variables (concurrente) Consecuencias de la prueba
(Schlickum, Hedman, & Felländer-Tsai, 2016)	Identificar si el desempeño en simulación quirúrgica y la experiencia previa con videojuegos se correlacionan con la motivación para entrenarse en tareas específicas y si la destreza viso-espacial puede ser más importante que los anteriores.	Se encontraron diferencias individuales con respecto al efecto del entrenamiento en el simulador sobre la motivación que deben ser tenidas en cuenta al diseñar un currículo de entrenamiento.	Validez interna Relación con otras variables

(Carstensen & Bernhard, 2019): “*design science research*” y “*design science*”

Letter to the Editor

Natural User Interfaces: Is It a Solution to Accomplish Ubiquitous Training in Minimally Invasive Surgery?

Fernando Alvarez-Lopez, MD,^{1,2} Marcelo Fabián Maina, PhD¹, and Francesc Saigi-Rubió, PhD¹

Dear Editor:

Graphical user interfaces have evolved to become a standard in the interaction between man and computer. Touch screens have become popular but they require physical contact. Natural user interfaces (NUIs) or gesture-based user interfaces are designed to use human behavior to interact with computers. One behavior can be hand gestures. NUIs allow one to manage without the use of mechanical devices and physical contact with devices such as mouse and keyboards; this characteristic has remarkable importance in medical environments such as operating and autopsy rooms.^{1,2}

The methods used for gestures acquisition can be divided in those that include a specific device that the user can physically hold or annex to the body and those that are hands-free/body-free, which do not require physical contact.^{3,5}

In 2013, the Leap Motion Controller (Leap Motion, Inc. San Francisco, CA) was launched. It is a device to detect the position and gestures. The Leap Motion Controller, with its API (application programmer interface), detects the position of predetermined objects (hands, fingers, instruments, pens) in a Cartesian plane in real time and reports discrete positions, gestures, and motion. The system consists of 3 infrared light transmitters and 2 infrared cameras (optical tracking system based on stereo vision), which can be classified as an optical tracking system based on the stereo vision principle.⁶

Among its applications the manipulation of medical images in dental surgery,⁷ urology,⁷ orthopedics,^{8,10} and general and hand surgery⁹ have been described as well as for manipulation of images during the making of angiography procedures,^{11,12} and autopsies.³ Vargas and Vivas were the first to publish the use of the Leap Motion for the manipulation of a virtual surgical robot.¹³

Currently within the framework of the PhD program in e-Learning at the Universitat Oberta de Catalunya, an interdisciplinary working group formed by a pediatric surgeon, engineers, and education experts is designing a virtual 3D online environment for learning basic motor skills in minimally invasive surgery, using exercises from



Figure 1. Leap Motion allows interaction between the laparoscopic instruments and virtual exercises for learning basic skills in minimally invasive surgery without the use of hardware. These must be validated.

the Minimally Invasive Surgery Trainer-Virtual Reality and an additional from the Fundamentals of Laparoscopic Surgery program. The environment is designed in Unity, and it is used as the device for interaction with the laparoscopic surgery forceps of the Leap Motion Controller. In the current phase, the metrics and the feedback to proceed to make the studies of subjective and objective validation are taking place (Figure 1).

If it is possible to demonstrate that the 3D online environments mediated by NUIs allow the learning of motor skills in minimally invasive surgery, a new research field and development in the area of surgical simulation will be opened. On the other hand, the dream of learning motor skills everywhere anytime with low-cost devices

¹Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, Spain
²Universidad de Manizales, Manizales, Colombia

Corresponding Author:
Fernando Alvarez-Lopez, Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias de la Salud, Carrera 9 N° 19-03, Manizales, Caldas, Colombia.
Email: fernvalvarezlo@ime.com

(ubiquitous learning) will be a reality as “ubiquitous training.” Likewise, a tool with the aforementioned characteristics would facilitate the “warming-up” before any surgical procedure.

Author Contributions

Study concept and design: Fernando Alvarez-Lopez, Marcelo Fabian Maína and Francesc Saigí-Rubió
 Acquisition of data: Fernando Alvarez-Lopez
 Analysis and interpretation: Fernando Alvarez-Lopez, Marcelo Fabian Maína and Francesc Saigí-Rubió
 Study supervision: Fernando Alvarez-Lopez, Marcelo Fabian Maína and Francesc Saigí-Rubió

Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The author(s) received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

References

- Rosa GM, Elizondo ML. Use of a gesture user interface as a touchless image navigation system in dental surgery: case series report. *Imaging Sci Dent*. 2014;44:155-160.
- Ebert LC, Hatch G, Ampanozi G, Thall MJ, Ross S. You can't touch this: touch-free navigation through radiological images. *Surg Innov*. 2012;19:301-307.
- Tani B, Maia R, Von Wangenheim A. A gesture interface for radiological workstations. Paper presented at: *Proceedings of the Twentieth IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'07)*, Washington, DC: IEEE Computer Society; 2007; 27-32. doi:10.1109/CBMS.2007.6.
- Bigdelou A, Schwarz A, Navab N. An adaptive solution for intra-operative gesture-based human-machine interaction. Paper presented at: *Proceedings of the 2012 ACM International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '12)*, New York, NY: ACM; 2012;75-84. doi:10.1145/2166966.2166981.
- Jacob MG, Waechts JP, Packer RA. Hand-gesture-based sterile interface for the operating room using contextual cues for the navigation of radiological images. *J Am Med Inform Assoc*. 2013;20:e183-e186.
- Weichert F, Buchmann D, Rudak B, Fisseler D. Analysis of the accuracy and robustness of the Leap Motion Controller. *Sensors (Basel)*. 2013;13:6380-6393.
- Ruppert GC, Reis LO, Amorim PH, de Moraes TF, da Silva JV. Touchless gesture user interface for interactive image visualization in urological surgery. *World J Urol*. 2012;30:687-691.
- Bizzotto N, Costanzo A, Bizzotto L, Regis D, Sandri A, Magnan B. Leap motion gesture control with OsiriX in the operating room to control imaging: first experiences during live surgery. *Surg Innov*. 2014;21:655-656.
- Bizzotto N, Costanzo A, Maluta T, et al. Preliminary experience with the use of leap motion gesture control to manage imaging in the operating room. *J Orthop Traumatol*. 2014;15(suppl 1):S19-S20.
- Frame M. A novel system for hands free manipulation of digital X-rays in a sterile environment using consumer electronics and software. Paper presented at: CARS 2012; Computer Assisted Radiology and Surgery: 26th International Congress and Exhibition; June 27-30, 2012; Pisa, Italy.
- Ogura T, Sato M, Ishida Y, Hayashi N, Doi K. Development of a novel method for manipulation of angiographic images by use of a motion sensor in operating rooms. *Radiol Phys Technol*. 2014;7:228-234.
- Johnson R, O'Hara K, Sellen A, Cousins C, Criminisi C. Exploring the potential for touchless interaction in image-guided interventional radiology. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*. New York, NY: ACM; 2011; 3323-3332. doi:10.1145/1978942.1979436.
- Vargas HF, Vivas OA. Gesture recognition system for surgical robot's manipulation. Paper presented at: 2014 XIX Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision; September 17-19, 2014; Armenia. IEEE. doi:10.1109/STSIVA.2014.7010172.

Anexo 5 . Denominaciones utilizadas en el campo de la educación

Tabla 23. Denominaciones utilizadas en el campo de la educación con base en 51 autores consultados

	"Design experimentation" (DE) o "Design experiments" 5 (9.8%)	"Formative experiments" 1 (1.9%)	"Formative research" 3 (5.8%)	"Formative evaluation" 1 (1.9%)	"Design research" (DR) 15 (29,4%)	"Educational design research" (EDR) 1 (1,9%)	"Design-based research" (DBR) 22 (43,1%)	"Action research" (AR) 3 (5,8%)	"Development research" (DR) o "developmental research" o "design and development research" (DDR) 6 (11,7%)	Tópico
(Newman, 1990)			X							Educación
(Flagg, 1990)				X						Educación
(Elliott, 1991)								X		Educación
(Brown, 1992)	X				X					Educación
(Collins, 1992)	X				X					Educación
(Walker, 1992)			X							Educación
(Walker & Bresler, 1993)									X	Educación
(Richey & Nelson, 1996)									X	Educación
(van den Akker, 1999)										Educación
(McKay & Marshall, 2001)								X		Educación
(Hoadley, 2002)							X			Educación
(Edelson, 2002)					X					Educación
(The Design-Based Research Collective, 2003)							X			Educación
(Reigeluth & Frick, 2003)			X							Educación
(Kelly, 2003)										Educación
(Cobb et al., 2003)	X				X					Educación
(Dede, 2004)							X			Educación
(Kelly, 2004)					X					Educación

(Barab & Squire, 2004)											X				Educación
(Bell, 2004)											X				Educación
(Conceição et al., 2004)														X	Educación
(Disessa & Cobb, 2004)	X														Educación
(Fishman et al., 2004)															Educación
(Collins et al., 2004)	X														Educación
(Sandoval, 2004)															Educación
(Sandoval & Bell, 2004)															Educación
(Hoadley, 2004)															Educación
(O'Donnell, 2004)															Educación
(Cole et al., 2005)															Educación
(Reeves et al., 2005)															Educación
(Dede, 2005)															Educación
(Wang & Hannafin, 2005)															Educación
(McKenney & Van Den Akker, 2005)															Educación
(Sloane, 2006)															Educación
(Phillips, 2006)															Educación
(Reeves, 2006)															Educación
(Herrington et al., 2007)															Educación
(Amiel & Reeves, 2008)															Educación
(Reinking & Bradley, 2008)															Educación
(Cotton et al., 2009)															Educación
(Oh & Reeves, 2010)															Educación
(Plomp & Nieveer, 2010)															Educación
(Dolmans & Tigelaar, 2012)															Educación
(T. Anderson & Shattuck, 2012)															Educación
(Kennedy-Clark, 2013)															Educación
(McKenney & Reeves, 2013)															Educación
(Koivisto, Haavisto, et al., 2018)															Educación Enfermería

(Koivisto, Hannula, et al., 2018)										X		Educación Simulación en Ciencias para la Salud
(Bakker, 2019)												Educación
(Wolcott et al., 2019)										X		Educación Farmacología
(Dolmans, 2019)										X		Educación Ciencias para la Salud

Cinco autores (9.8%) utilizaron en sus publicaciones dos términos de manera indiferente así:

(Brown, 1992): “*design experiments*” y “*design research*”.

(Collins, 1992): “*design experiments*” y “*design research*”.

(DiSessa & Cobb, 2004): “*design experiments*” y “*design research*”.

(Cole et al., 2005): “*design research*” y “*action research*”.

(Oh & Reeves, 2010): “*design research*” y “*development research*”.

Anexo 6 . Denominaciones utilizadas en ingeniería, sistemas de información, tecnologías de la información, diseño, arquitectura, artes y manejo organizacional

Tabla 24. Denominaciones utilizadas en los campos de la ingeniería, los sistemas de información, tecnologías de la información, diseño, arquitectura, artes, manejo organizacional. N = 32

	"Design Science Research Methodology"	Design Research 7 (21.8%)	Information systems research 2 (6.2%)	Design Science 13 (40.6%)	"Operations Research" 1 (3,1%)	"Design Science Research for Information Systems" (ISDSR) 2 (6.2%)	"Action Research" 2 (6.2%)	Design Cycle 3 (9,3%)	Design-based Research 3 (9,3%)	Interdisciplinary Research 1 (3,1%)	Tópico
(Takeda et al., 1990)	12 (37,5%)							X			"Information Systems"
(Nunamaker & Chen, 1990)			X								"Information Systems"
(Nunamaker et al., 1991)			X	"Engineering approach"							"Information Systems"
(Eekels & Roozenburg, 1991)								X			Ingeniería
(Walls et al., 1992)		X		X							Ingeniería, arquitectura, artes, "Information Systems"
(March & Smith, 1995)	X										"Information Systems", Information Technologies
(Cross, 1999)		X									Diseño
(Cross, 2001)		X									Diseño
(McKay & Marshall, 2001)							X				"Information Systems"
(Purao, 2002)		X									"Information Systems"
(Romme, 2003)				X							"Organizational management"

Once (34.3%) de los autores consultados utilizan dos o mas términos para referirse al tema.

(Walls et al., 1992): “*design research*” y “*design science*”

(Cole et al., 2005): “*design research*” y “*action reseach*”

(Manson, 2006): “*design research*”, “*design science*” y “*operations research*”

(Venable, 2006): “*design science research*”, “*design research*” y “*design science*”

(Peppers et al., 2007): “*design science research*” y “*design science*”

(Vaishnavi et al., 2009): “*design science research*”, “*design science*” y “*design science research for information systems*”

(Baskerville et al., 2009): “*design science research*” y “*design science*”

(Alturki et al., 2011): “*design science research*” y “*design cycle*”

(Purao, 2013): “*design science research*” y “*design science*”

(Christensen et al., 2018): “*design-based research*” e “*interdisciplinary design research*”

Anexo 7. Carta del Dr. Korndorffer, editor asociado de la revista “Journal of Surgical Education”

Cuando sometimos nuestra publicación sobre desarrollo y validación del SIMISGEST-VR a la revista “*Journal of Surgical Education*”, recibimos como respuesta una carta del Dr. *James R Korndorffer Jr*, editor de la revista, donde nos invitaba a replantear el modelo de validación que estábamos utilizando, y a adoptar el propuesto por los “*Standards for Educational and Psychological Testing*” (American Educational Research Association et al., 2014) .

“The authors perform a “validation” and “validity” study. Unfortunately, the approach used is incorrect and based on the consensus standards proposed over 40 years ago by the American Educational Research Association, American Psychological Association, and National Council on Measurement in Education in 1974. Herein lies the problem. This validity framework has been altered significantly since 1974 with “types of validity” and “valid instruments” giving way to “sources of validity evidence” and “validity of results, viewed in relation to the intended use of those results”. (Joint Committee on Standards for Educational and Psychological Testing, American Psychological Association, American Educational Research Association, and National Council on Measurement in Education: Standards for Educational and Psychological Testing, Washington, DC, 1999.) The contemporary framework used in the 1985, 1999 and 2016 “Standards” define validity and validation as “appropriateness, meaningfulness, and usefulness of the specific inferences made from test scores” and validation is defined as the hypothesis driven “process of accumulating evidence to support such inferences.”? The evidence comes from multiple sources, test content, response process, internal structure, relationships to other variables, and consequences of testing. As such using an outdated framework at best makes the paper of little value and at worst potentially harmful to the readership by continuing inappropriate use of validation studies.

Additionally, Face Validity is a term that has been rejected by the education literature since the mid 20th century (Mosier, 1947): Face validity is not validity at all. It is a reference to fidelity or proximity to a criterion, neither of which provide any meaningful validity evidence. see: (Downing, 2006). Even if it did exist, to use true novices to rate realism of a device is flawed. How can a novice determine if it is realistic if s/he has never used the device? If realism is to be discussed, only the expert opinion should matter.

I realize the authors note that other papers have done similar work, but continuing inappropriate usage of validity just because others do, does not advance the science”.

James R Korndorffer Jr MD MHPE

Associate Editor

Journal of Surgical Education

Anexo 8. Resultados de la consulta en PubMed

La Tabla 24 muestra los resultados de una consulta realizada en PubMed con los términos “face AND validity” entre enero de 2018 y junio de 2019. Se identificaron 53 publicaciones que utilizan en su título la palabra face validity. De ellas 31 (58,4%) fueron en revistas clasificadas como Q1 y 8 (15%) como Q2. Las publicaciones abarcaron múltiples áreas de conocimiento en Ciencias de la Salud incluídas Medicina General (5), Psiquiatría (4) Psicología (3), Salud Pública (3)

19 (35,8%) de las publicaciones tuvieron que ver con simulación en cirugía y 9 (47,3%) de estos con simulación en MIS y 6 fueron publicados en revistas Q1.

Tabla 25. Artículos referenciados en PubMed entre enero de 2018 y junio de 2019 sobre validación de apariencia (face validity)

Artículo	Revista	Título	Área	Scimago Journal Rank
(Yesuf et al., 2019)	<i>International Health</i>	Face and content validity of a prospective multidimensional performance instrument for service delivery in district health systems in low-income countries: a Delphi study.	Salud pública	Q2
(Ziemnik & Suchy, 2019)	<i>Psychological Assessment</i>	Ecological validity of performance-based measures of executive functions: Is face validity necessary for prediction of daily functioning?	Psicología	Q1
(Lopes et al., 2019)	<i>Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetricia</i>	Content and Face Validity of the Mackey Childbirth Satisfaction Rating Scale Questionnaire Cross-culturally Adapted to Brazilian Portuguese.	Ginecología y obstetricia	Q3
(McGlinchey et al., 2019)	<i>BMC Health Services Research</i>	Serious illness care Programme UK: assessing the ‘face validity’, applicability and relevance of the serious illness conversation guide for use within the UK health care setting.	Salud Pública	Q1
(Prens et al., 2019)	<i>British Journal of Dermatology</i>	The refined Hurley classification: the interrater and intrarater reliability and face validity.	Dermatología	Q1
(van der Wiel et al., 2018)	<i>Endoscopy International Open</i>	Face and construct validity of a novel mechanical ERCP simulator	Gastroenterología Simulación en ERCP	NA
(Soligo et al., 2019)	Urología	Electronic Personal Assessment Questionnaire–Pelvic Floor: Italian cultural adaptation and face validity.	Urología	Q3
(Onos et al., 2019)	<i>PLOS Genetics</i>	Enhancing face validity of mouse models of Alzheimer’s disease with natural genetic variation.	Genética	Q1
(Valvassori et al., 2019)	<i>Translational Psychiatry</i>	Validation of the animal model of bipolar disorder induced by Ouabain: face, construct and predictive perspectives.	Psiquiatría	Q1
(Moulton, Cole, Ridgers, Pepin, & Barnett, 2019)	<i>Australian Occupational Therapy Journal</i>	Measuring movement skill perceptions in preschool children: A face validity and reliability study.	Terapia ocupacional	Q2
(Villamizar Osorio & Laguado Jaimes, 2019)	<i>Investigación y Educación En Enfermería</i>	Content and face validity of the Spanish version of the Sexual Self-Concept Inventory for early adolescent girls.	Enfermería	Q3

Artículo	Revista	Título	Área	Scimago Journal Rank
(Mårtensson et al., 2019)	PLOS ONE	Quality of Research Practice – An interdisciplinary face validity evaluation of a quality model.	Medicina General	Q1
(Zivkovic et al., 2019)	Regional Anesthesia & Pain Medicine	Face and construct validity of TU-Delft epidural simulator and the value of real-time visualization.	Anestesiología	Q1
(Leijte et al., 2019)	Surgical Endoscopy	Construct, content and face validity of the eoSim laparoscopic simulator on advanced suturing tasks.	Cirugía Simulación en MIS	Q1
(Mansoor et al., 2019)	Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies	Construct validity of eoSim – a low-cost and portable laparoscopic simulator.	Cirugía Simulación en MIS	Q3
(Larsen, Morville, & Hansen, 2019)	Scandinavian Journal of Occupational Therapy	Translating the Canadian Occupational Performance Measure to Danish, addressing face and content validity	Terapia ocupacional	Q2
(Jeanblanc et al., 2019)	Addiction Biology	Face validity of a pre-clinical model of operant binge drinking: just a question of speed.	Psiquiatría	Q1
(Arikatla et al., 2019)	Surgical Endoscopy	Development and face validation of a virtual camera navigation task trainer.	Cirugía Simulación en MIS	Q1
(Rispin et al., 2019)	African Journal of Disability	Development of the Wheelchair Interface Questionnaire and initial face and content validity.	Fisioterapia	Q1
(Koch et al., 2018)	Journal of the American Academy of Audiology	Face and Content Validity of a Probe Tube Placement Training Simulator	Cirugía Simulación	Q1
(Nikpajouh et al., 2018)	Medical Journal of the Islamic Republic of Iran	Health promoting hospitals in Iran: Persian translation, cultural adaptation, content and face validation of self-assessment form of the standards of health promoting hospitals affiliated to the World Health Organization	Medicina General	Q3
(Sinceri et al., 2018)	Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies	Face, content, and construct validity of a simulator for training in endovascular procedures.	Endovascular Simulación	Q3
(Farhan et al., 2018)	Journal of Surgical Education	Face, Content, and Construct Validations of Endoscopic Needle Injection Simulator for Transurethral Bulking Agent in Treatment of Stress Urinary Incontinence.	Cirugía, Urología Simulación	Q1
(Sturt et al., 2018)	Journal of Medical Internet Research	Eliciting the Impact of Digital Consulting for Young People Living With Long-Term Conditions (LYNC Study): Cognitive Interviews to Assess the Face and Content Validity of Two Patient-Reported Outcome Measures.	Telemedicina	Q1
(Prasad et al., 2018)	Surgical Innovation	Face and Construct Validity of a Novel Virtual Reality–Based Bimanual Laparoscopic Force-Skills Trainer With Haptics Feedback.	Cirugía Simulación en MIS	Q2
(Meade et al., 2018)	Musculoskeletal Care	Comprehension and face validity of the Exercise Adherence Rating Scale in patients with persistent musculoskeletal pain.	Ortopedia	Q2
Hollensteiner, M., Malek, M., Augat, P., Fürst, D., Schrödl, F., Hunger, S., ... Schrempf, A. (2018).	Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery	Validation of a simulator for cranial graft lift training: Face, content, and construct validity.	Cirugía cráneo-maxilofacial Simulación en cirugía	NA
(Bartlett et al., 2018)	Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy	Virtual reality hip arthroscopy simulator demonstrates sufficient face validity.	Ortopedia Simulación en MIS	Q1
(Singh et al., 2018)	Indian Journal of Urology	Face, content, and construct validity of a novel chicken model for laparoscopic ureteric reimplantation.	Urología Simulación en MIS	Q3
(Elarbi et al., 2018)	Journal of the American Veterinary Medical Association	Face, construct, and concurrent validity of a simulation model for laparoscopic ovariectomy in standing horses.	Cirugía veterinaria Simulación en MIS	Q1

Artículo	Revista	Título	Área	Scimago Journal Rank
(Connell et al., 2018)(Connell et al., 2018)	Quality of Life Research	The importance of content and face validity in instrument development: lessons learnt from service users when developing the Recovering Quality of Life measure (ReQoL).	Medicina Ocupacional	Q1
(Holland et al., 2018)	The Journal of Rheumatology.	Content and Face Validity and Feasibility of 5 Candidate Instruments for Psoriatic Arthritis Randomized Controlled Trials: The PsA OMERACT Core Set Workshop at the GRAPPA 2017 Annual Meeting	Reumatología	Q4
(Gustafsson et al., 2018)	Health Psychology Research	Face and content validity and acceptability of the Swedish ICECAP-O capability measure: cognitive interviews with 70-year-old persons.	Psicología	NA
(Jeanblanc et al., 2018)	Neuroscience & Biobehavioral Reviews	Animal models of binge drinking, current challenges to improve face validity	Neurología / Psiquiatría	Q1
(Galupo et al., 2018)	Archives of Sexual Behavior	Face Validity Ratings of Sexual Orientation Scales by Sexual Minority Adults: Effects of Sexual Orientation and Gender Identity.	Sexología	Q1
(Lebet et al., 2018)	Australian Critical Care	Face and content validity of variables associated with the difficult-to-sedate child in the paediatric intensive care unit: A survey of paediatric critical care clinicians.	Cuidado Crítico Pediatría	Q1
(Küttner-Magalhães et al., 2018)(Küttner-Magalhães et al., 2018)	United European Gastroenterology Journal	Training in endoscopic mucosal resection and endoscopic submucosal dissection: Face, content and expert validity of the live porcine model.	Gastroenterología Simulación en cirugía	Q1
(Cachon et al., 2018)	Veterinary Journal	Face validity of a proposed tool for staging canine osteoarthritis: Canine OsteoArthritis Staging Tool (COAST).	Medicina Veterinaria	Q1
(W. de A. Ferreira et al., 2018)	Ciência & Saúde Coletiva	Validade Concorrente e de Face da Escala de MacArthur para Avaliação do Status Social Subjetivo: Estudo Longitudinal de Saúde do Adulto (ELSA-Brasil).	Salud Pública	Q2
(Melich et al., 2018)	Diseases of the Colon & Rectum	Rectal Dissection Simulator for da Vinci Surgery.	Cirugía de Colon y Recto Simulación en MIS	Q1
(Young et al., 2018)	Qualitative Health Research	Qualitative Assessment of Face Validity and Cross-Cultural Acceptability of the Faces Pain Scale: "Revised" in Cameroon.	Algología	Q1
(De Groef et al., 2018)	PLOS ONE	An evaluation tool for Myofascial Adhesions in Patients after Breast Cancer (MAP-BC evaluation tool): Concurrent, face and content validity.	Medicina General	Q1
(Sessa et al., 2018)	Updates in Surgery	Face and content validity of Xperience™ Team Trainer: bed-side assistant training simulator for robotic surgery.	Cirugía Simulador en MIS robótica	Q1
Brunelli, A. (2018).	Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery	European Society of Thoracic Surgeons preoperative mediastinal staging guidelines: From face validity to external validity.	Cirugía torácica y cardiovascular	Q1
(Tabanfar et al., 2018)	American Journal of Otolaryngology	Development and face validation of a Virtual Reality Epley Maneuver System (VREMS) for home Epley treatment of benign paroxysmal positional vertigo: A randomized, controlled trial.	Otorrinolaringología	Q3
Nesbitt, C., Tingle, S. J., Williams, R., McCaslin, J., Searle, R., Mafeld, S., & Stansby, G. (2018)	Annals of Vascular Surgery	A Pulsatile Fresh Frozen Human Cadaver Circulation Model for Endovascular Training: A Trial of Face Validity.	Cirugía vascular Simulación en cirugía	Q2
Muris, P., van den Broek, M., Otgaar, H., Oudenhoven, I., & Lennartz, J. (2018).	Journal of Child and Family Studies	Good and Bad Sides of Self-Compassion: A Face Validity Check of the Self-Compassion Scale and an Investigation of its Relations to Coping and Emotional Symptoms in Non-Clinical Adolescents	Psicología	Q2

Artículo	Revista	Título	Área	Scimago Journal Rank
Pafitanis, G., Veljanoski, D., Suci, C. O., Ghanem, A. M., & Myers, S. (2018).	Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery	Non-living microvascular training models: Face validity of liquid latex and the challenge of structural vs. "physiological" patency assessment.	Cirugía Plástica Simulación en cirugía	Q1
(Rod et al., 2018)	Journal of Surgical Education	Low-Cost Training Simulator for Open Dismembered Pyeloplasty: Development and Face Validation.	Cirugía Simulación en cirugía	Q1
(Kristensen et al., 2018)	Molecular Psychiatry	Face and predictive validity of the ClockΔ19 mouse as an animal model for bipolar disorder: a systematic review.	Psiquiatría	Q1
Svedbo Engström, M., Leksell, J., Johansson, U.-B., Eeg-Olofsson, K., Borg, S., Palaszewski, B., & Gudbjörnsdóttir, S. (2018).	Patient Education and Counseling	A disease-specific questionnaire for measuring patient-reported outcomes and experiences in the Swedish National Diabetes Register: Development and evaluation of content validity, face validity, and test-retest reliability.	Medicina General	Q1
(Twohig et al., 2018)	Pilot and Feasibility Studies	Assessment of the face validity, feasibility and utility of a patient-completed questionnaire for polymyalgia rheumatica: a postal survey using the QQ-10 questionnaire.	Medicina General	Q2

Los nombres de las revistas en **color rojo** son las Q1 que publicaron artículos sobre simulación, y las que están en **color rojo** y resaltadas en amarillo fueron las Q1 que rechazaron nuestra publicación.

Anexo 9. Guía para el uso del marco de referencia de fuentes de validez de Messick

Tabla 26. Guía para el uso del marco de referencia de fuentes de validez de Messick (1995b)

Fuentes de validez	Objetivo de la evaluación	Cómo implementarlo	Ejemplos significativos
<p>Modelo de Messick Evidencia a partir del contenido de la evaluación. Modelo tradicional: "Face validity" "Content validity"</p>	<p>Una descripción de los pasos que se toman para asegurar que el contenido de la prueba o evaluación (escenarios, preguntas, opciones de respuesta e instrucciones) refleja el constructo o característica que se pretende medir.</p> <p>Debe haber una relación lógica y empírica entre el contenido de la prueba y el dominio de contenido del constructo. Esta evidencia es igual al concepto antiguo de validez de contenido.</p> <p>Se puede basar en instrumentos previos (MIST-VR como en nuestro caso), mediante la revisión de expertos o usando un plano de evaluación (assessment blueprint). La opinión y retroalimentación por parte de expertos es lo que en el marco tradicional se conocía como "face validity" pero ahora se considera evidencia para la validez de contenido. El contenido debe representar el constructo verdadero, el constructo completo y nada más que al constructo. Por tanto se deben tener en cuenta la definición del constructo, el propósito del instrumento, el proceso de desarrollo y selección de los ítems (preguntas individuales, indicaciones, casos o ejercicios de la prueba), la redacción de cada ítem y la preparación de los escritores y los revisores de los ítems.</p> <p>La evidencia de contenido con frecuencia se presenta como una descripción detallada de los pasos tomados para asegurar que los ítems sean representativos del constructo.</p> <p>La evidencia de validación orientada hacia el contenido esta enmarcada en lo que se denomina como <i>alineación</i> en el área de la educación y que se refiere a la evaluación de la correspondencia entre los estándares de aprendizaje</p>	<p>Encuestas Likert sobre la fidelidad al criterio.</p> <p>Panel de expertos o grupo de consenso: cuestionarios (entrevista, método Delphi). Incluye análisis formal de las tareas.</p> <p>Instrumento previamente validado: un nuevo instrumento basado en (o modificado a partir) de un instrumento previamente validado.</p> <p>Prueba piloto y revisión: desarrollo iterativo de un instrumento que incluye prueba piloto y revisión.</p> <p>Guías clínicas: uso de guías clínicas o de evidencia de alta calidad para determinar los elementos claves.</p> <p>Marco de referencia de la puntuación "Scoring framework": uso de teoría, framework, o de un plano de la prueba (test blueprint) para desarrollar el método de puntuación.</p> <p>Plano de la prueba "Test blueprint": uso de teoría, marco de referencia, o plano de la prueba para desarrollar los ítems del instrumento.</p> <p>Desajuste entre contenido y constructo: defecto grave en el alineamiento entre el constructo y la prueba (contenido de la prueba irrelevante con respecto al constructo, o constructo no representado).</p> <p>Calidad de las preguntas de la prueba.</p> <p>Observaciones sistemáticas de un comportamiento</p>	<p>(Sedlack, 2007; Sedlack, 2010; Gofton et al., 2012; Cooper et al., 2010; Palter, MacRae, & Grantcharov, 2011; Palter, Graafland, Schijven, & Grantcharov, 2012; Berkenstadt et al., 2006; Ruesseler et al., 2010; Fried et al., 2004; Sweet et al., 2012; Hennessey & Hewett, 2013; Poulouse et al., 2014)</p>

Fuentes de validez	Objetivo de la evaluación	Cómo implementarlo	Ejemplos significativos
	<p>para el estudiante y el contenido de la prueba.</p> <p><i>Pregunta clave:</i> ¿Los items del instrumento representan completamente al constructo ? o ¿La prueba evalúa las habilidades del aprendiz como se había planeado?</p> <p><i>En nuestro modelo, la validez de constructo está dada por la opinión de los expertos de múltiples instituciones (cuestionario) con respecto a la valoración del entorno virtual, del funcionamiento del LMC y de las tareas. Otra fuente de evidencia para la validez de contenido está dada por los múltiples estudios a que ha sido sometido el MIST-VR.</i></p>		
<p>Modelo de Messick</p> <p>Evidencia del proceso de respuesta "Response process"</p> <p>Modelo tradicional: No hay equivalente</p>	<p>Es un análisis teórico o empírico que evalúa la relación entre constructo previsto y el proceso de pensamiento/acciones (procesos cognitivos y físicos) de los estudiantes y de los observadores mientras se realiza la medición. Evalúa qué tan bien el registro documentado (respuesta, puntuación o narrativa libre) reflejó el desempeño observado.</p> <p>El proceso de respuesta también se define como la evidencia de la integridad de los datos de tal manera que todas las fuentes de error asociados con la administración de la prueba son controlados o eliminados de la mejor manera posible</p> <p>Incluye análisis de seguridad de la prueba, de los pensamientos o acciones (comportamiento) y control de calidad.</p> <p>Minimiza sesgos en la evaluación y la evidencia generalmente procede del análisis de las respuestas individuales pero también de la evaluación dada por los evaluadores sobre el comportamiento de los evaluados.</p> <p><i>Pregunta clave:</i> ¿Con qué exactitud los puntajes de la prueba reflejan el desempeño observado en el aprendiz?</p>	<p>Resultados empíricos que muestran consistencia en el desempeño de las tareas empleando procesos similares. Contraste entre el desempeño de las tareas empleando procesos diferentes a partir del constructo.</p> <p>Análisis de datos del evaluador.</p> <p>Seguridad de la prueba.</p> <p>Problemas con la captura del video.</p> <p>Efecto del entrenamiento del evaluador</p> <p>Justificación de los resultados dispares: <i>"rationale for composite outcomes"</i></p> <p>Protocolo de pensar en voz alta.</p> <p>Calidad de control del puntaje.</p> <p>Validación de los puntajes preliminares (estudio piloto)</p> <p>Instrucciones escritas estandarizadas</p> <p>Evaluadores enmascarados</p>	<p>(Sedlack, 2010) (Dagnaes-Hansen et al., 2018) (Rosenstock et al., 2004).</p>
<p>Modelo de Messick</p> <p>Evidencia a partir de la estructura interna de la evaluación</p>	<p>Comprende los datos que evalúan las relaciones entre los puntos individuales de evaluación "individual assessment items" y cómo estos se correlacionan con el constructo general "overarching construct". Con frecuencia, toma la forma de medidas de reproducibilidad (confiabilidad "reliability") entre los ítems, estaciones o evaluados, pero</p>	<p>Cualquier confiabilidad: reproducibilidad de los puntajes a través cualquier aspecto de variación</p> <p>Test-retest reliability: correlación de los puntajes de una prueba que se administra más de una vez a un grupo homogéneo de test takers en dos momentos diferentes (estabilidad temporal); entre más prolongado el</p>	<p>(Vassiliou et al., 2006; Rose Hatala et al., 2009; Sedlack, 2010; Williams et al., 2012; Vassiliou, Kaneva, et al., 2010; Goh et al., 2012; Cooper et al., 2010; Henrichs et al.,</p>

Fuentes de validez	Objetivo de la evaluación	Cómo implementarlo	Ejemplos significativos
<p>Modelo tradicional: Confiabilidad.</p>	<p>también incluye el análisis de los ítems (dificultad y discriminación) y análisis factorial “factor analysis”. Se refiere por tanto a la generalización, confiabilidad y reproducibilidad del simulador.</p> <p>El punto más importante es si el puntaje generado por los datos refleja o no de manera acertada la valoración implícita en el constructo y, por tanto, proporciona una valoración precisa del rendimiento.</p> <p>En general, se refiere a las características psicométricas o estadísticas de las preguntas o del desempeño, de las propiedades de la escala (reproducibilidad, generalización) y el modelo psicométrico usado para puntuar y escalar la evaluación.</p> <p>La confiabilidad es un aspecto importante de la evidencia para la validez de la evaluación. La confiabilidad se refiere a la reproducibilidad de los puntajes de la prueba; una confiabilidad alta indica que si la prueba se repite a través del tiempo, los examinados deben lograr los mismos puntajes que obtuvieron en la primera prueba. Al menos que los puntajes de la evaluación sean confiables y reproducibles (como en un experimento) es prácticamente imposible interpretar el significado de estos puntajes y por tanto se carece de evidencia de validez.</p> <p><i>Pregunta clave:</i> ¿Qué tan confiables son los puntajes generados por la prueba?</p>	<p>período de tiempo, es menos probable que la persona recuerde los ejercicios en el simulador y por tanto existirá menor amenaza al test-retest (Straub et al., 2004).</p> <p>O reproducibilidad entre diferentes versiones de la prueba.</p> <p>Inter-station reliability: reproducibilidad de los puntajes entre diferentes estaciones o tareas.</p> <p>Confiabilidad entre observador “Inter-rater reliability”: reproducibilidad de los puntajes entre diferentes evaluadores.</p> <p>Grado de acuerdo entre los evaluadores que observan el desempeño de los aprendices. Se denomina inter-observador cuando la herramienta se evalúa por dos observadores diferentes. Se denomina intra-observador cuando la herramienta se prueba por el mismo evaluador en dos ocasiones diferentes.</p> <p>Consistencia interna: correlación de puntajes de un subconjunto de ítems que miden el mismo constructo. Es la reproducibilidad entre diferentes ítems en la prueba. ¿Todos los ítems de un instrumento miden al mismo constructo? Se debe esperar que los puntajes que miden un solo constructo tengan una alta correlación (consistencia interna alta).</p> <p>Otra confiabilidad: reproducibilidad de los puntajea través de otra facet of variation.</p> <p>Análisis crítico de la distribución de datos: evaluación de la distribución de los datos, respuestas faltantes, y/o valores atípicos en términos de lo adecuado de la puntuación</p> <p>Puntaje empírico: análisis de datos empíricos para apoyar el método de puntuación.</p> <p>Análisis de ítems: evaluación de la correlación Inter-ítem o discriminación de ítems y la correlación item-total</p> <p>Dificultad de los ítems</p> <p>Factor analysis: análisis factorial exploratorio o confirmatorio.</p> <p>Teoría de generalización.</p> <p>Estabilidad temporal (Correlación Pearson’s)</p> <p>Consistencia interna (Confiabilidad “Split-half”, Kuder-Richardson, Cronbach’s alfa)</p> <p>Teoría de generalización (“G- and D-study” y coeficiente de generalización)</p>	<p>2009; Gofton et al., 2012).</p>
<p>Modelo de Messick</p>	<p>Se refiere a las asociaciones estadísticas positivas o negativas, fuertes o débiles entre los puntajes de</p>	<p>Características del aprendiz (cualquiera): asociación con una característica de aprendiz que tiene influencia hipotética.</p>	<p>(Perrenot et al., 2012; Watanabe et al., 2015; Dong et al.,</p>

Fuentes de validez	Objetivo de la evaluación	Cómo implementarlo	Ejemplos significativos
<p>Evidencia en relación con otras variables.</p> <p>Modelo tradicional: Validez de criterio (validez concurrente - validez predictiva) y validez de constructo (validez concurrente y validez discriminante)</p>	<p>las evaluaciones y otras mediciones externas independientes o características del aprendiz que tiene una relación teórica específica y que tienen asociaciones predecibles con el constructo (medidas de criterio adecuadas). La correlación también se realiza con los puntajes de otro instrumento que evalúa el mismo constructo. Esta evidencia se corresponde con los conceptos clásicos de validez de criterio y de validez de constructo.</p> <p>Las predicciones que subyacen esta evidencia dependen en gran manera del constructo teórico y cómo este se relaciona con otros constructos (ej. medidas de desempeño vs. reducción en las complicaciones de un procedimiento) o una correlación positiva con el desempeño en el quirófano. Es por tanto una fuente de evidencia estadística y correlacional y es la que se utiliza con más frecuencia. La relación de los puntajes de la prueba con un puntaje de un “<i>criterion measure</i>” es un diseño típico de un “estudio de validación” en el cual una nueva medición se “valida” contra una medida antigua con características bien definidas.</p> <p>La relación entre los puntajes de la prueba y otras medidas en constructos similares bien establecidos constituye <i>evidencia convergente/predictiva</i>, mientras que las medidas que se obtienen de constructos diferentes no relacionados y se encuentra asociación, constituyen <i>evidencia discriminante o divergente</i> en cuyo caso la relación será negativa.</p> <p>Pregunta clave: ¿Los puntajes de la prueba se correlacionan con otras medidas conocidas de habilidad?</p>	<p>Característica del aprendiz: entrenamiento general. Asociación con el nivel general de entrenamiento “known group construct validity”. Compara los puntajes entre grupos con diferente nivel de habilidad en las destrezas evaluadas de acuerdo con su nivel de entrenamiento (experto, intermedio o novato) o con su estado (entrenado/no entrenado). Ejemplo: cirujano experimentado versus residente de primer año.</p> <p>Característica del aprendiz: entrenamiento en una tarea específica. Asociación con el estado de entrenamiento para una tarea específica, con con participantes que de otro modo tienen el mismo estado de entrenamiento (ejemplo: estudiantes de cuarto año de Medicina, entrenados versus los no entrenados para este estudio específico).</p> <p>Característica del aprendiz, otras características: nivel de desempeño programado, confianza auto-informada, experiencia con videojuegos, predicción diferencial entre subgrupos.</p> <p>Medición separada, cualquiera: asociación con una medida separada (sin restricción de tiempo).</p> <p>Medición separada, concurrente: asociación con una medida separada dentro de 1 mes de la valoración inicial. Cuidado del paciente.</p> <p>Diferente simulador: asociación con una medida de desempeño con un simulador diferente o un paciente estandarizado.</p> <p>Mismo simulador: asociación con una medida de desempeño usando el mismo simulador (ejemplo, mismo simulador, métrica diferente).</p> <p>Examen oral, escrito o en computador</p> <p>Medida separada tardía (predictiva): asociación con una medida separada luego de un mes o más.</p> <p>Cuidado del paciente</p> <p>Diferente simulador: asociación con una medida de desempeño en un simulador diferente o en un paciente estandarizado.</p> <p>Examen oral, escrito o en computador</p> <p>Respuesta al entrenamiento: cambios en los puntajes luego de las intervenciones de entrenamiento.</p> <p>Correlaciones de “test criterion”: fortaleza de la relación entre los puntajes de la prueba y los puntajes del “criterion”</p>	<p>2010; Feldman, Hagarty, et al., 2004; Fried et al., 2004; Sweet et al., 2012; Maithel et al., 2005; Sherman et al., 2005; Swanstrom et al., 2006; Yamaguchi et al., 2007; Schijven & Jakimowicz, 2003b; Hatala et al., 2008; Sedlack, 2010; LeBlanc et al., 2009; Gofton et al., 2012; Lee et al., 2012; Hennessey & Hewett, 2013; Dauster et al., 2005; Poulouse et al., 2014).</p>

Fuentes de validez	Objetivo de la evaluación	Cómo implementarlo	Ejemplos significativos
		Predictivo Concurrente Generalización de la validez: meta-análisis	
Modelo de Messick Evidencia de consecuencias de la prueba. Modelo tradicional: Validez predictiva	Impacto, beneficio o daño de la evaluación en sí misma y de las acciones y decisiones que resultan. También incluye factores que impactan directamente el rigor de dichas decisiones tal como la definición del puntaje de aprobación (¿los puntajes realmente hacen la diferencia?) Esta fuente de evidencia para las decisiones tomadas con base en los resultados de la evaluación es en esencia que las decisiones funcionan y por tanto considera las implicaciones derivadas de las decisiones tomadas (eventos adversos, complicaciones). El significado de las consecuencias depende si la herramienta de evaluación está diseñada con fines formativos (para retroalimentación) o sumativos (aprobación/no aprobación) <i>Pregunta clave:</i> ¿Cuál es el impacto de la prueba y/o de los puntajes sobre los aprendices, el programa de entrenamiento, o los pacientes y la sociedad?	Enfoque establecido para el punto de corte riguroso de aprobación/no aprobación. Evaluación de la tasa de aprobación Consecuencias sobre los aprendices Impacto anticipado o no anticipado de la aprobación o de la no aprobación <i>“Differential item functioning”</i> Establecer un puntaje para aprobación/no aprobación Determinar las consecuencias de este puntaje.	Método de contraste de grupos “Constrasting groups method” (Análisis de consecuencia) Análisis ROC (“receiver operating characteristics”) (Goldenberg, Goldenberg, & Grantcharov, 2017) (Sedlack, 2010), (Stefanidis et al., 2009), (Vassiliou et al., 2014)

(American Educational Research Association et al., 2014)

(Cook & Beckman, 2006) (Cook et al., 2011) (Cook et al., 2013) (Cook et al., 2014) (Zendejas et al., 2016) (Borgersen et al., 2018) (Andreatta & Gruppen, 2009) (Downing, 2003) (American Educational Research Association et al., 2014) (Goldenberg & Lee, 2018) (Brydges et al., 2015) (Beckman et al., 2005) (Straub et al., 2004) (Messick, 1995a) (Cook & Reed, 2015) (Cook et al., 2015).

Encuesta demográfica para los estudios de fidelidad de criterio, validación de contenido y el estudio de búsqueda de múltiples fuentes de validez para los ejercicios y los puntajes del SIMISGEST-VR.

Anexo 10. Encuesta demográfica y de fidelidad al criterio

Name _____

Age _____

Sex _____

Nationality _____

Dominant hand: Right ___ Left ___ Ambidextrous ___

Do you have previous experience with simulators in minimally invasive surgery?

YES ___ **NO** ___

If YES, what type of simulator?

- Physical _____
- Hybrid/augmented virtual reality _____
Virtual reality _____

Do you have regular experience with video games? YES ___ NO ___

If YES, how often do you play video games?

Daily	Weekly	Monthly	Occasionally
-------	--------	---------	--------------

Have you had previous experience with virtual reality devices YES ___ NO ___

If YES, how often do you perform activities with virtual/augmented reality devices?

Daily	Weekly	Monthly	Occasionally
-------	--------	---------	--------------

Select the most appropriate answer regarding your level of education

1. Undergraduate student
2. Surgical resident
3. Practicing surgeon
4. Other. Please specify. _____

Select which of these options describes your level of experience in laparoscopic surgery:

1. None
2. Basic manipulation of the camera and/or retraction with forceps
3. Basic operating level (cholecystectomy, appendectomy)
4. Intermediate operating level (fundoplication)

5. Advanced level

Please, tell us which technology or tools do you regularly use:

	At work	Personal use	Work and personal use	I don't use this technology
Mobile phone with internet connection				
Desktop computer				
Laptop computer				
Smartphone (iPhone, Samsung Galaxy, etc.)				
Tablet				

Fidelity to the criterion survey

Tabla 27. Fidelity to the criterion

	1. Strongly disagree	2. Disagree	3. Neither agree nor disagree	4. Agree	5. Strongly agree
Was the tool easy to use?					
Was the navigation menu of the tool user-friendly?					
Do you consider that the tool is relevant as a simulator for basic psychomotor skills training in laparoscopic surgery?					
Do the physical devices of the tool give an adequate sensation of the <i>fulcrum</i> effect?					
Did you have the sensation that the movements you made with the physical instrument were represented in the virtual environment?					
Does the tool properly simulate the movements of laparoscopic surgery?					
Do you consider this idea to be innovative?					
Do you consider the design to be attractive?					
Do you consider that the tool has the ability to provide feedback?					
Did you feel that the feedback provided was adequate?					
Please make a final comment about the tool					

Anexo 11. Resultados de la evaluación del criterio del SIMISGEST-VR

Tabla 28. Fidelity to the criterion

	1	2	3	4	5
Was the tool easy to use?	0	0	0	8	22
Was the navigation menu of the tool user-friendly?	0	0	0	8	22
Do you consider that the tool is relevant as a simulator for basic psychomotor skills training in laparoscopic surgery?	0	1	1	6	22
Do the physical devices of the tool give an adequate sensation of the <i>fulcrum</i> effect?	0	3	5	9	13
Did you have the sensation that the movements you made with the physical instrument were represented in the virtual environment?	0	1	7	9	13
Does the tool properly simulate the movements of laparoscopic surgery?	0	0	5	14	11
Do you consider this idea to be innovative?	0	0	1	6	23
Do you consider the design to be attractive?	0	0	0	12	18
Do you consider that the tool has the ability to provide feedback?	0	0	1	7	22
Did you feel that the feedback provided was adequate?	0	0	1	11	18

Anexo 12. Encuesta de contenido y resultados

Tabla 29. Content validity survey

	1. Strongly disagree	2. Disagree	3. Neither agree nor disagree	4. Agree	5. Strongly agree
Training capacity					
Do you consider that the exercises allow the learning of hand-eye coordination?					
Do you consider that the exercises allow the learning of depth perception?					
Do you consider that the virtual environment allows the learning of basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?					
Do you consider that the virtual environment reflects the basic steps of any laparoscopic procedure?					
Do you consider that the performance metrics provided (time, error, efficiency of movement, economy of diathermy) are adequate?					
Do you consider that the prototype could become a solution for ubiquitous learning of basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?					
Tasks					
Task 1. Grip and placement. Does it reflect the grasping and retraction of a tissue into a given position?					

	1. Strongly disagree	2. Disagree	3. Neither agree nor disagree	4. Agree	5. Strongly agree
Task 2. Transfer and place. Does it reflect the manipulation of a needle in an intracorporeal suture?					
Task 3. Cross. Does it reflect exploration of the small intestine?					
Task 4. Removal and introduction. Does it reflect the removal and introduction of the laparoscopic instruments?					
Task 5. Diathermy. Does it reflect the cauterization of a blood vessel?					
Task 6. Manipulation and diathermy. Does it reflect cauterization of the gallbladder bed?					

Tabla 30. Fidelity to the criterion according to level of training

Fidelity to the criterion	Total (n = 30)	Residents (n = 8)	Practicing surgeon (n = 21)	Other (n = 1)	p
Was the tool easy to use?	4.73	4.75	4.71	5.00	0.819
Was the navigation menu of the tool user-friendly?	4.73	4.88	4.67	5.00	0.448
Do you consider that the tool is relevant as a simulator for basic psychomotor skills training in laparoscopic surgery?	4.63	4.38	4.71	5.00	0.599
Do the physical devices of the tool give an adequate sensation of the <i>fulcrum</i> effect?	4.07	3.50	4.29	4.00	0.108
Did you have the sensation that the movements you made with the physical instrument were represented in the virtual environment?	4.13	4.00	4.14	5.00	0.526
Does the tool properly simulate the movements of laparoscopic surgery?	4.20	3.88	4.29	5.00	0.140
Do you consider this idea to be innovative?	4.73	4.63	4.76	5.00	0.838
Do you consider the design to be attractive?	4.60	4.50	4.62	5.00	0.607
Do you consider that the tool has the ability to provide feedback?	4.70	4.63	4.71	5.00	0.682
Did you feel that the feedback provided was adequate?	4.57	4.38	4.62	5.00	0.327

Tabla 31. Fidelity to the criterion according to level of experience

Fidelity to the criterion	Total (n = 30)	Basic manipulation (n = 3)	Basic operating level (n = 11)	Intermediate operating level (n = 8)	Advanced operating level (n = 8)	p
Was the tool easy to use?	4.73	4.67	4.64	4.88	4.75	0.710
Was the navigation menu of the tool user-friendly?	4.73	4.67	4.91	4.75	4.500	0.271

Do you consider that the tool is relevant as a simulator for basic psychomotor skills training in laparoscopic surgery?	4.63	4.0	4.64	4.88	4.63	0.694
Do the physical devices of the tool give an adequate sensation of the <i>fulcrum</i> effect?	4.07	3.67	3.91	4.38	4.13	0.619
Did you have the sensation that the movements you made with the physical instrument were represented in the virtual environment?	4.13	4.33	4.18	4.00	4.13	0.961
Does the tool properly simulate the movements of laparoscopic surgery?	4.20	4.00	4.36	4.25	4.00	0.642
Do you consider this idea to be innovative?	4.73	4.33	4.82	4.75	4.75	0.885
Do you consider the design to be attractive?	4.60	4.33	4.73	4.75	4.38	0.269
Do you consider that the tool has the ability to provide feedback?	4.70	4.67	4.64	5.00	4.50	0.196
Did you feel that the feedback provided was adequate?	4.57	4.33	4.64	4.75	4.38	0.539

* Basic manipulation of the camera and/or retraction with forceps

& Basic operating level (cholecystectomy, appendectomy)

+ Intermediate operating level (fundoplication)

^ Advanced operating level

Tabla 32. Fidelity to the criterion vs. experience and training levels

	Level of experience				Level of training		
	Basic manipulation (n = 3)	Basic operating level (n = 11)	Intermediate operating level (n = 8)	Advanced operating level (n = 8)	Practicing surgeon (n = 21)	Resident (n = 8)	Other (n = 1)
<i>Was the tool easy to use?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	1	4	1	2	6	2	0
5	2	7	7	6	15	6	1
<i>The menu of navigation was friendly?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	2	4	7	1	0
5	2	10	6	4	14	7	1
<i>Do you consider that the tool is relevant as a simulator for basic psychomotor skills training in MIS?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0
3	0	1	0	0	1	0	0
4	0	2	1	3	4	2	0
5	2	8	7	5	16	5	1
<i>Do the physical devices of the tool give an adequate sensation of the fulcrum effect?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0

2	1	0	1	1	2	1	0
3	0	5	0	0	2	3	0
4	1	2	2	4	5	3	1
5	1	4	5	3	12	1	0
<i>Did you have the feeling that the movements you did with the physical instrument were represented in the virtual environment?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	0	0
3	1	2	1	3	4	3	0
4	0	5	3	1	7	2	0
5	2	4	3	4	9	3	1
<i>Does the tool properly simulate the movements of MIS?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	2	2	4	1	0
4	3	5	2	4	7	7	0
5	0	5	4	2	10		1
<i>Do you consider this idea to be innovative?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	1	0
4	0	2	2	2	5	1	0
5	2	9	6	6	16	6	1
<i>Do you consider the design attractive?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	2	3	2	5	8	4	0
5	1	8	6	3	13	4	1
<i>Do you consider that the tool has the ability to provide feedback?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	1	0	0
4	1	2	0	4	4	3	0
5	2	8	8	4	16	5	1
<i>Did you feel the feedback provided was adequate?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	1	0	0
4	2	4	2	3	6	5	0
5	1	7	6	4	14	3	1

Anexo 13. Results of the content validity survey

Tabla 33. Content validity

Capacity of training	1	2	3	4	5
Do you consider that the exercises allow the learning of hand-eye coordination?	0	1	1	8	20
Do you consider that the exercises allow the learning of depth perception?	0	1	3	9	17
Do you consider that the virtual environment allows the learning of basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?	0	0	1	8	21
Do you consider that the virtual environment reflects the basic steps of any laparoscopic procedure?	0	0	2	13	15
Do you consider that the performance metrics provided (time, error, efficiency of movement, economy of diathermy) are adequate?	0	0	5	11	13
Do you consider that the prototype could become a solution for ubiquitous learning of basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?	0	0	0	11	19
Tasks	1	2	3	4	5
Task 1. Grip and placement. Does it reflect the grasping and retraction of a tissue into a given position?	0	0	9	12	9
Task 2. Transfer and place. Does it reflect the manipulation of a needle in an intracorporeal suture?	1	2	4	13	10
Task 3. Cross. Does it reflect exploration of the small intestine?	1	2	5	12	10
Task 4. Removal and introduction. Does it reflect the removal and introduction of the laparoscopic instruments?	0	4	3	8	15
Task 5. Diathermy. Does it reflect the cauterization of a blood vessel?	0	0	3	8	19
Task 6. Manipulation and diathermy. Does it reflect cauterization of the gallbladder bed?	0	0	3	12	15

1. Strongly Disagree 2. Disagree 3. Neither agree nor disagree 4. Agree 5. Strongly agree

Tabla 34. Content validity. Training capacity of the SIMISGEST-VR according to level of training

Content validity	Total (n = 30)	Residents (n = 8)	Practicing surgeon (n = 21)	Other (n = 1)	p
Do you consider that the exercises allow the learning of hand-eye coordination?	4.57	4.50	4.57	5.00	0.554
Do you consider that the exercises allow the learning of depth perception?	4.40	4.13	4.48	5.00	0.328
Do you consider that the virtual environment allows the learning of basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?	4.67	4.38	4.76	5.00	0.266
Do you consider that the virtual environment reflects the basic steps of any laparoscopic procedure?	4.43	4.38	4.43	5.00	0.571
Do you consider that the performance metrics provided (time, error, efficiency of movement, economy of diathermy) are adequate?	4.28	4.00	4.35	5.00	0.375
Do you consider that the prototype could become a solution for ubiquitous learning of basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?	4.63	4.38	4.71	5.00	0.187

Tabla 35. Content validity. Capacity for training of the SIMISGEST-VR according to level of experience

Content validity	Total (n = 30)	Basic manipulation (n = 3)	Basic operating level (n = 11)	Intermediate operating level (n = 8)	Advanced operating level (n = 8)	p
Do you consider that the exercises allow the learning of hand-eye coordination?	4.57	4.33	4.73	4.63	4.38	0.656
Do you consider that the exercises allow the learning of depth perception?	4.40	4.67	4.36	4.38	4.38	0.940
Do you consider that the virtual environment allows the learning of basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?	4.67	4.00	4.73	4.88	4.63	0.254
Do you consider that the virtual environment reflects the basic steps of any laparoscopic procedure?	4.43	4.33	4.45	4.75	4.13	0.231
Do you consider that the performance metrics provided (time, error, efficiency of movement, economy of diathermy) are adequate?	4.28	4.0	4.10	4.38	4.50	0.704
Do you consider that the prototype could become a solution for ubiquitous learning of basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?	4.63	4.33	4.64	4.88	4.50	0.300

Basic manipulation of the camera and/or retraction with forceps

& Basic operating level (cholecystectomy, appendectomy)

+ Intermediate operating level (fundoplication)

^ Advanced operating level

Tabla 36. Content validity vs levels of experience and training

	Level of experience				Level of training		
	Basic manipulation (n = 3)	Basic operating level (n = 11)	Intermediate operating level (n = 8)	Advanced operating level (n = 8)	Practicing surgeon (n = 21)	Resident (n = 8)	Other (n = 1)
<i>Do you consider that the exercises allow the learning of hand-eye coordination?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	0	0
3	0	0	1	0	1	0	0
4	2	3	1	2	4	4	0
5	1	8	6	5	15	4	1
<i>Do you consider that the exercises allow the learning of depth perception?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	0	0
3	0	2	0	1	1	2	0

	Level of experience				Level of training		
	Basic manipulation (n = 3)	Basic operating level (n = 11)	Intermediate operating level (n = 8)	Advanced operating level (n = 8)	Practicing surgeon (n = 21)	Resident (n = 8)	Other (n = 1)
4	1	3	2	3	6	3	0
5	2	6	5	4	13	3	1
<i>Do you consider that the virtual environment allows the learning of the basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	1	0
4	1	3	1	3	5	3	0
5	1	8	7	5	16	4	1
<i>Do you consider that the virtual environment reflects the basic steps of any laparoscopic procedure?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	2	0	0
4	2	4	2	5	8	5	0
5	1	6	6	2	11	3	1
<i>Do you consider that the metrics of performance provided (time, error, efficiency of movement, economy of diathermy) are adequate?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	1	3	1	0	2	3	0
4	1	3	3	4	9	2	0
5	1	4	4	4	9	3	1
<i>Do you consider that the prototype could become a solution for ubiquitous learning of basic psychomotor skills in laparoscopic surgery?</i>							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	2	4	1	4	6	5	0
5	1	7	7	4	15	3	1