



Artículo de revisión

Impacto de la simulación quirúrgica en alumnos de pregrado y postgrado

Impact of surgical simulation on undergraduate and postgraduate students

Eduardo E Montalvo-Javé,^{*} Raciél Vilchis-Valencia,[‡] Danaé Jiménez-Recillas,[‡]
Gabriela Rodríguez-Mendoza,[‡] Oswaldo Martínez-Hernández,[‡] Ricardo Romero-Carrillo,[‡]
Claudia Cruz-Alcántara,[‡] Alejandro Rossano-García,[‡] Marco A García-Puig,[‡] Miguel D Santana-Domínguez,[‡]
Natalia Nuño-Lámbarri,^{‡,§} Alejandro Rodríguez-Báez,^{‡,¶} Vladimir Miranda-Galván[‡]

^{*} Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina (FM), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Servicio de Cirugía General. Hospital General de México «Dr. Eduardo Liceaga» (HGM-DEL). Servicio de Cirugía General y Gastroenterología. Hospital Médica Sur. México. ORCID: 0000-0003-4616-1275

[‡] Departamento de Cirugía de la FM, UNAM. México.

[§] Unidad de Investigación Traslacional, Fundación Clínica Médica Sur. México.

[¶] Servicio de Cirugía General, HGM-DEL. México.

RESUMEN

La simulación laparoscópica se ha consolidado como un componente esencial en la formación quirúrgica, permitiendo el desarrollo de habilidades técnicas en un entorno seguro y controlado. El objetivo de esta revisión fue analizar la evidencia disponible sobre los diferentes tipos de simuladores, las métricas de evaluación empleadas y su capacidad para predecir el desempeño quirúrgico real. Se realizó una revisión narrativa de la literatura en bases de datos internacionales, incluyendo estudios publicados entre 2001 y 2025. Los simuladores fueron clasificados en cinco categorías principales: físicos convencionales, realidad virtual, híbridos, modelos biológicos y plataformas con métricas automatizadas. Los resultados muestran que todas las modalidades contribuyen significativamente a la adquisición de habilidades básicas, como coordinación ojo-mano, precisión y eficiencia de movimiento. Sin embargo, los simuladores de realidad virtual y los sistemas híbridos destacan por su capacidad para ofrecer métricas objetivas y reproducibles. Las métricas más utilizadas incluyen tiempo de ejecución, tasa de errores y economía del movimiento, aunque su valor predictivo es limitado cuando se emplean de forma aislada. En contraste, la combinación de estas métricas con escalas estructuradas como GOALS y OSATS proporciona una evaluación más integral y con

ABSTRACT

Laparoscopic simulation has become a cornerstone in surgical training, enabling the development of technical skills in a safe and controlled environment. This review aimed to analyze current evidence regarding different types of simulators, evaluation metrics, and their ability to predict real surgical performance. A narrative literature review was conducted using international databases, including studies published between 2001 and 2025. Simulators were classified into five main categories: conventional physical trainers, virtual reality simulators, hybrid systems, biological models, and platforms with automated performance metrics. The findings indicate that all modalities significantly contribute to the acquisition of fundamental skills such as hand-eye coordination, precision, and movement efficiency. However, virtual reality and hybrid systems offer advantages in providing objective and reproducible performance metrics. Commonly used metrics include task completion time, error rate, and motion economy; however, their predictive value is limited when used in isolation. In contrast, combining these objective metrics with structured assessment tools such as GOALS and OSATS provides a more comprehensive evaluation and shows stronger correlation with intraoperative performance. In conclusion, the effectiveness of laparoscopic simulation depends

Recibido: 30/09/2025. Aceptado: 06/03/2026.

Correspondencia: **Eduardo E Montalvo-Javé, MD., PhD., FACS. (Hon.)**

E-mail: montalvoeduardo@hotmail.com

Citar como: Montalvo-Javé EE, Vilchis-Valencia R, Jiménez-Recillas D, Rodríguez-Mendoza G, Martínez-Hernández O, Romero-Carrillo R et al. Impacto de la simulación quirúrgica en alumnos de pregrado y postgrado.

Rev Mex Cir Endoscop. 2026; 27 (1-2): 25-32. <https://dx.doi.org/10.35366/122992>



mayor correlación con el desempeño intraoperatorio. En conclusión, la efectividad de la simulación laparoscópica depende más de su integración en programas estructurados y del uso de métricas validadas que del nivel de fidelidad tecnológica. Se requieren estudios futuros enfocados en la estandarización de métricas y en la validación de su impacto clínico.

Palabras clave: cirugía laparoscópica, simulador, realidad virtual, habilidad, curva de aprendizaje.

more on its integration into structured training programs and the use of validated assessment tools than on the level of technological fidelity. Future research should focus on metric standardization and validation of clinical outcomes.

Keywords: laparoscopic surgery, simulator, virtual reality, skill, learning curve.

Abreviaturas:

FLS = *Fundamentals of Laparoscopic Surgery* (Fundamentos de Cirugía Laparoscópica)

GOALS = *Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills* (Evaluación Operativa Global de Habilidades Laparoscópicas)

MISTELS = *McGill Inanimate System for Training and Evaluation of Laparoscopic Skills* (Sistema inanimado de McGill para el entrenamiento y la evaluación de habilidades laparoscópicas)

OSATS = *Objective Structured Assessment of Technical Skills* (Evaluación Objetiva Estructurada de Habilidades Técnicas)

INTRODUCCIÓN

La simulación laparoscópica se consolidó desde la década de 1990 como un componente central del entrenamiento quirúrgico, en respuesta a la necesidad de adquirir habilidades psicomotoras específicas en un entorno seguro y reproducible.¹ La colecistectomía laparoscópica, uno de los procedimientos paradigmáticos de la cirugía de mínima invasión, presenta una curva de aprendizaje pronunciada, lo que impulsó el desarrollo de estrategias formativas capaces de acelerar la adquisición de destrezas técnicas y reducir la dependencia exclusiva del aprendizaje intraoperatorio.²

Entre 1994 y 1996, la simulación laparoscópica comenzó a difundirse con mayor amplitud en los congresos del *American College of Surgeons*, particularmente como herramienta para el perfeccionamiento de habilidades básicas y técnicas de sutura.³ Posteriormente, a finales de la década de 1990, surgieron modelos estructurados de entrenamiento y evaluación, entre ellos el *McGill Inanimate System for Training and Evaluation of Laparoscopic Skills* (MISTELS), así como simuladores de realidad virtual como MIST-VR, que marcaron un punto de inflexión al introducir métricas objetivas de desempeño.⁴ Este proceso culminó con la presentación formal del programa *Fundamentals of Laparoscopic Surgery* (FLS) en 2004 durante la conferencia de la *Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons*, programa que posteriormente se integró a los estándares de certificación quirúrgica en los Estados Unidos.⁵

En la actualidad, la discusión sobre simulación laparoscópica ha evolucionado desde su valor histórico y pedagógico hacia la calidad de la evidencia que respalda su impacto clínico. Estudios contemporáneos muestran que

el entrenamiento en simuladores mejora el rendimiento de los residentes durante sus primeras intervenciones laparoscópicas en quirófano, apoyando la existencia de una transferencia real de habilidades desde el entorno simulado hacia la práctica clínica. Sin embargo, esta transferencia no es uniforme entre plataformas, tareas ni niveles de experiencia, y parece ser más robusta para habilidades técnicas básicas que para procedimientos complejos o para la integración de competencias no técnicas.⁶

De manera paralela, uno de los principales debates actuales se centra en la relación entre fidelidad y costo. Aunque los simuladores de realidad virtual y los modelos de alta fidelidad ofrecen ventajas como retroalimentación automatizada, estandarización y registro detallado de métricas, la evidencia disponible sugiere que los simuladores de caja y otros modelos de menor costo pueden alcanzar resultados comparables en la adquisición de habilidades fundamentales, especialmente en etapas iniciales del aprendizaje. Esto ha desplazado el foco desde la complejidad tecnológica del simulador hacia su accesibilidad, validez educativa e integración dentro de currículos estructurados basados en objetivos.⁷

No obstante, persisten limitaciones metodológicas relevantes. La literatura continúa mostrando heterogeneidad considerable en los tipos de simuladores, ejercicios empleados, métricas de evaluación y definiciones de competencia, lo que dificulta la comparación directa entre estudios. Asimismo, la validez predictiva, entendida como la capacidad del desempeño en simulación para anticipar el rendimiento intraoperatorio real, sigue siendo inconsistente entre plataformas y más sólidamente demostrada para algunos sistemas y tareas específicas que para una competencia quirúrgica integral. En consecuencia, el reto actual no radica únicamente en desarrollar simuladores más avanzados, sino en construir programas de entrenamiento con métricas estandarizadas, evidencia de transferencia clínica y adecuada relación costo-efectividad.^{8,9}

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión de la literatura enfocada en el uso de simuladores para el desarrollo de habilidades laparos-

cópicas. La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en las bases de datos Cochrane Library, Scopus, PubMed y Web of Science. Se empleó la siguiente estrategia de búsqueda: «laparoscopic simulation» OR «laparoscopic simulator» AND «surgical training» OR «surgical education» AND «skill acquisition» OR «learning curve».

De cada artículo, se extrajeron y analizaron las siguientes variables: tipo de estudio, tipo de simulador utilizado, número de participantes, tipo de ejercicios realizados, métricas de evaluación empleadas y tipo de validez reportada. Dada la heterogeneidad en los diseños de estudio, tipos de simuladores y métricas de evaluación, no fue posible realizar un análisis cuantitativo. Por lo tanto, se llevó a cabo una síntesis narrativa comparativa de los hallazgos. Los estudios incluidos abarcan un periodo comprendido entre 2001 y 2025.

Interpretación comparativa de los resultados

Los estudios incluidos correspondieron predominantemente a investigaciones originales, abarcando ensayos clínicos aleatorizados, estudios prospectivos, diseños experimentales en simulación y estudios observacionales, además de un número menor de revisiones sistemáticas centradas en educación quirúrgica y entrenamiento en cirugía mínimamente invasiva.

Los simuladores fueron clasificados en cinco categorías principales: simuladores físicos convencionales, simuladores de realidad virtual, simuladores híbridos, modelos de entrenamiento con material biológico y plataformas con sistemas de métricas automatizadas para la evaluación del desempeño. En la *Figura 1* se ilustra un simulador de realidad virtual utilizado en la Unidad de Posgrado de la UNAM.

Se realizó un análisis comparativo considerando tres variables clave para la formación quirúrgica: costo-efectividad

del sistema de entrenamiento, reproducibilidad de los resultados y grado de mejoría en las habilidades laparoscópicas adquiridas. Estas variables fueron seleccionadas por su relevancia en la implementación de programas formativos y en la evaluación integral de la eficacia de las distintas plataformas de simulación.

A partir de este enfoque, se identificaron diferencias sustanciales en el rendimiento educativo y en la aplicabilidad de las tecnologías evaluadas, lo que permitió establecer una interpretación comparativa en función del tipo de simulador empleado.

En términos de costo-efectividad, los simuladores físicos convencionales, como las cajas de entrenamiento o pelvitainers (*Figuras 2 y 3*), se posicionan como una de las opciones más accesibles para el entrenamiento laparoscópico. Su bajo costo inicial, facilidad de implementación y reutilización favorecen su integración en programas de formación, particularmente en entornos con recursos limitados. En contraste, los simuladores de realidad virtual implican una inversión inicial significativamente mayor debido a su complejidad tecnológica y requerimientos de *software* especializado. No obstante, diversos estudios sugieren que pueden alcanzar una adecuada costo-efectividad en centros de alto volumen, al permitir múltiples sesiones sin consumo de insumos y ofrecer escalabilidad en el entrenamiento.

En relación con la reproducibilidad de los resultados, los simuladores que integran métricas automatizadas (especialmente los sistemas de realidad virtual y plataformas híbridas con sensores de movimiento) demostraron una mayor capacidad para estandarizar la evaluación del desempeño. Estos sistemas permiten el registro objetivo de variables como tiempo de ejecución, economía de movimiento, trayectoria de los instrumentos y tasa de errores (*Figura*



Figura 1:

Simulador de realidad virtual de mínima invasión o cirugía laparoscópica.



Figura 2: Estudiante de pregrado entrenando en un simulador de tipo convencional.

4). Por el contrario, los simuladores físicos tradicionales dependen en mayor medida de la evaluación subjetiva del instructor o de escalas clínicas, lo que introduce variabilidad interobservador y limita la estandarización.

En cuanto a la adquisición de habilidades laparoscópicas, la evidencia analizada coincide en que todas las modalidades de simulación contribuyen de manera significativa al desarrollo de competencias técnicas fundamentales, incluyendo coordinación ojo-mano, precisión instrumental, triangulación y eficiencia de movimiento. Sin embargo, los simuladores de realidad virtual y los sistemas híbridos con retroalimentación objetiva permiten una caracterización más detallada de la curva de aprendizaje y facilitan la monitorización del progreso individual. Por su parte, los modelos basados en material biológico ofrecen una mayor fidelidad tisular y realismo quirúrgico, lo que los posiciona como herramientas particularmente valiosas en etapas avanzadas del entrenamiento.

En conjunto, estos hallazgos subrayan que, más allá del tipo de simulador, la eficacia del entrenamiento depende de su integración en programas estructurados, el uso de métricas objetivas y la adecuación del nivel de fidelidad al estadio formativo del aprendiz.

Ejercicios que mostraron mayor correlación con desempeño quirúrgico real

Diversos estudios han demostrado que ejercicios fundamentales de simulación laparoscópica, como la transferencia de clavijas, el corte de figuras geométricas (p. ej., círculos), el lazo de ligadura y la sutura (tanto intracorpórea como extracorpórea) se asocian de manera significativa con mejoras en el desempeño

quirúrgico, evidenciadas mediante incrementos en la puntuación de la escala *Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills* (GOALS).^{2,5,10-15} Asimismo, el entrenamiento en técnicas específicas como la realización de nudos deslizantes y el cierre de defectos utilizando simuladores tipo «caja negra» ha demostrado facilitar una transición más segura hacia procedimientos complejos, como la cirugía bariátrica, reportándose una baja incidencia de complicaciones en etapas iniciales de la práctica clínica.⁴

En el ámbito de la simulación avanzada, los simuladores de realidad virtual han permitido la práctica de procedimientos quirúrgicos completos, incluyendo colecistectomía e hysterectomía laparoscópica.¹⁶⁻²¹ La transferencia de estas

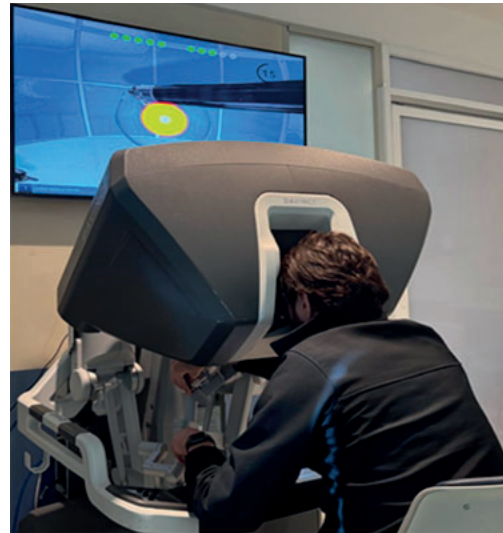


Figura 3: Entrenamiento de cirugía robótica en el Hospital Médica Sur.

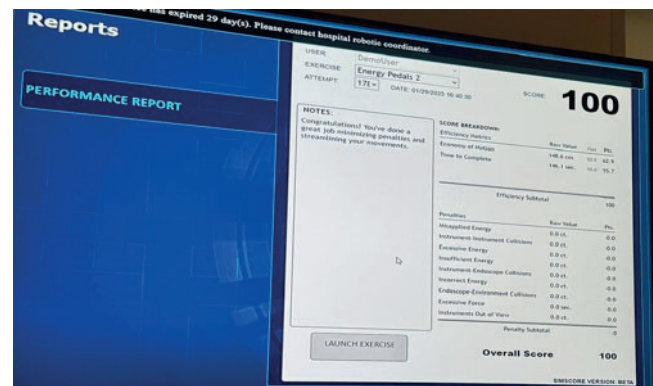


Figura 4: Posterior a los avances en las habilidades y destrezas de cada estudiante de posgrado primariamente, se obtiene calificación en tiempo y aciertos de manera inmediata al concluir los ejercicios en cada una de las plataformas disponibles.

habilidades al entorno clínico se ha asociado con una reducción significativa en el tiempo operatorio y en la tasa de errores intraoperatorios.^{22,23}

Por otra parte, el uso de modelos animales, particularmente porcinos, ha permitido la ejecución de procedimientos más complejos, como colecistectomías, movilización hepática, lobectomías y técnicas de sutura avanzada.²⁴⁻²⁶

La práctica en estos modelos se ha relacionado con mejoras en indicadores clínicos relevantes, incluyendo disminución del tiempo quirúrgico y menor pérdida sanguínea transoperatoria.²⁶

Finalmente, en el contexto de la cirugía robótica, además de las habilidades laparoscópicas convencionales, el entrenamiento incluye competencias específicas como el montaje y acoplamiento del instrumental robótico, consideradas esenciales para un desempeño seguro y eficiente en este entorno quirúrgico.^{27,28}

Habilidades que requirieron un mayor número de repeticiones

Dentro de este rubro, destaca el estudio de Hiraki, en el cual se empleó el plegado de mil grullas de papel utilizando instrumental laparoscópico como modelo de entrenamiento. A pesar de la elevada complejidad de la tarea, los participantes lograron mejoras significativas en la coordinación motriz fina y en el control preciso de los movimientos.^{27,29}

De manera consistente, otras actividades que demandaron un mayor número de repeticiones para alcanzar un desempeño competente incluyeron la transferencia de objetos (clavijas) y la realización de nudos intracorpóreos. La dificultad de estas tareas fue evaluada mediante métricas objetivas como el tiempo de ejecución, la economía de movimiento y la longitud de la trayectoria de los instrumentos, complementadas con análisis estadísticos que permitieron caracterizar la curva de aprendizaje y el grado de adquisición de habilidades.^{2,5,10-14}

Evaluación de las métricas utilizadas en simulación laparoscópica y su reproducibilidad

El análisis de los estudios incluidos revela una heterogeneidad considerable en las herramientas empleadas para evaluar el desempeño técnico durante el entrenamiento laparoscópico. No obstante, es posible identificar tres enfoques predominantes: métricas objetivas de rendimiento, escalas estructuradas de evaluación técnica y, en menor medida, indicadores de transferencia al entorno quirúrgico real.

Entre las métricas más utilizadas destacan aquellas de medición directa y objetiva. El tiempo de ejecución cons-

tituye uno de los parámetros más simples y, por ende, más frecuentemente reportados en los programas de simulación. Diversos estudios documentan una reducción progresiva del tiempo requerido para completar tareas laparoscópicas conforme avanza el entrenamiento, lo que se interpreta como un indicador indirecto de adquisición de habilidades técnicas. En este contexto, un metaanálisis realizado por Meling y colaboradores demostró que los residentes sometidos a programas estructurados de simulación lograron una disminución significativa del tiempo operatorio en procedimientos reales, pasando de aproximadamente 48 a 34 minutos tras completar el entrenamiento.^{28,30} Hallazgos similares han sido reportados en estudios experimentales centrados en tareas específicas, donde la reducción en el tiempo de ejecución refleja mejoras en la coordinación visomotora y en la familiaridad con la instrumentación laparoscópica.^{11,31}

Otra métrica ampliamente utilizada es la tasa de errores durante la ejecución de tareas simuladas. Dependiendo del tipo de simulador, estos errores pueden incluir daño tisular simulado, pérdida de objetos, movimientos imprecisos o fallas técnicas en la manipulación instrumental. En plataformas de realidad virtual, estos eventos suelen registrarse de manera automatizada, lo que favorece la estandarización y comparabilidad entre participantes. Estudios prospectivos han demostrado una disminución progresiva en la frecuencia de errores conforme aumenta la exposición al entrenamiento, lo que sugiere que esta métrica permite evaluar de manera consistente la evolución del desempeño técnico.

Adicionalmente, se han incorporado parámetros relacionados con la economía del movimiento instrumental, tales como la longitud total de la trayectoria de los instrumentos, el número de movimientos realizados y la estabilidad durante la ejecución de las tareas. Estas métricas resultan particularmente útiles para discriminar entre diferentes niveles de experiencia quirúrgica. En un estudio basado en simulación de realidad virtual, Mohamadipannah y su equipo observaron que variables como la precisión en el seguimiento de objetivos se correlacionaron significativamente con la calidad global del desempeño simulado.³⁰ Estos resultados son consistentes con reportes previos que describen trayectorias más eficientes y patrones de movimiento optimizados en cirujanos con mayor experiencia.

En conjunto, las métricas basadas en tiempo de ejecución, tasa de errores y análisis de movimiento presentan una alta reproducibilidad, debido a su carácter objetivo y a la posibilidad de ser registradas mediante sistemas automatizados o protocolos estandarizados, lo que reduce la variabilidad interobservador y fortalece la validez de las evaluaciones en simulación laparoscópica.

Escalas globales de evaluación de desempeño técnico

Si bien las métricas objetivas aportan información relevante sobre la eficiencia técnica, diversos estudios han señalado que la evaluación basada exclusivamente en variables cuantitativas puede ser insuficiente para caracterizar de manera integral la calidad del desempeño quirúrgico. En este contexto, numerosos programas de simulación han incorporado escalas globales estructuradas, diseñadas específicamente para evaluar habilidades técnicas en cirugía laparoscópica.

Entre las herramientas más utilizadas destaca GOALS, la cual evalúa dominios clave del desempeño técnico, incluyendo destreza bimanual, eficiencia de movimientos, manejo de tejidos y percepción de profundidad. En el ensayo multicéntrico NOVICE, Thomaschewski y colaboradores analizaron el impacto de un currículo de entrenamiento laparoscópico basado en simulación tipo caja de entrenamiento, demostrando que los participantes que completaron el programa presentaron mejoras significativas en sus puntuaciones GOALS durante procedimientos reales de colecistectomía laparoscópica, lo que respalda la transferencia efectiva de habilidades desde el entorno simulado hacia la práctica clínica.⁶ De manera concordante, estudios previos relacionados con el programa FLS han evidenciado que los residentes que completan este tipo de entrenamiento alcanzan puntuaciones GOALS significativamente superiores durante su desempeño intraoperatorio.¹⁰

Otra herramienta ampliamente validada es la Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS), que permite la evaluación sistemática del desempeño quirúrgico por parte de evaluadores expertos. Esta escala incluye dominios como precisión técnica, economía de movimiento y respeto por los tejidos. En un ensayo controlado, Jokinen y colaboradores emplearon la escala OSATS para evaluar a residentes durante su primera salpingectomía laparoscópica, observando que, si bien el entrenamiento estructurado se asoció con mejoras en determinados parámetros de desempeño, los resultados estuvieron influenciados por el diseño del currículo. Este hallazgo subraya la importancia de estructurar los programas de simulación en función de objetivos de competencia específicos, más que en el número de repeticiones realizadas.³¹

Una de las principales ventajas de estas escalas radica en su capacidad para capturar dimensiones cualitativas del desempeño quirúrgico que no pueden ser adecuadamente evaluadas mediante métricas exclusivamente temporales o cuantitativas. En este sentido, su integración con métricas objetivas permite una evaluación más completa del proceso de adquisición de habilidades técnicas, fortaleciendo la validez global de los sistemas de entrenamiento en simulación laparoscópica.

Métricas que predicen mejor la habilidad quirúrgica real

Uno de los objetivos centrales de la simulación quirúrgica es determinar en qué medida el desempeño observado en el entorno simulado puede predecir el rendimiento del cirujano en el quirófano. En este contexto, la evidencia sugiere que las métricas con mayor capacidad predictiva son aquellas que integran mediciones objetivas de rendimiento con escalas estructuradas de evaluación técnica.

En el metaanálisis realizado por Meling y colaboradores se demostró que los residentes sometidos a programas de entrenamiento basados en simulación no sólo mejoraron su desempeño en el entorno simulado, sino que también obtuvieron mejores resultados clínicos durante procedimientos reales, incluyendo una reducción significativa en el tiempo operatorio y en la incidencia de complicaciones posoperatorias.^{6,30}

No obstante, diversos autores coinciden en que el tiempo de ejecución, considerado de manera aislada, no constituye un predictor confiable de competencia quirúrgica. Si bien su disminución puede reflejar una mayor familiaridad con la tarea, no necesariamente se asocia con una mejor calidad técnica ni con un mayor nivel de seguridad intraoperatoria. En este sentido, se ha propuesto la integración de métricas de eficiencia con herramientas estructuradas de evaluación. Por ejemplo, en el estudio de Sroka y colaboradores, la combinación de parámetros objetivos del simulador con evaluaciones mediante la escala GOALS en el entorno clínico permitió una discriminación más precisa del nivel de competencia técnica entre residentes.^{9,10}

Por otra parte, las métricas relacionadas con la economía del movimiento instrumental han mostrado un alto potencial predictivo del nivel de experiencia quirúrgica. Estudios basados en simulación de realidad virtual han evidenciado que los cirujanos con mayor experiencia realizan movimientos más eficientes, caracterizados por trayectorias instrumentales más cortas, mayor fluidez y un menor número de movimientos innecesarios. Estos patrones motores, además de ser altamente reproducibles, han demostrado correlacionarse con una mayor precisión técnica durante la ejecución de procedimientos reales.³¹

En conjunto, la evidencia disponible respalda que los sistemas de evaluación más robustos son aquellos que combinan métricas cuantitativas automatizadas con escalas clínicas validadas, permitiendo una valoración integral del proceso de adquisición de habilidades laparoscópicas y mejorando su capacidad predictiva respecto al desempeño quirúrgico real.²²

En relación con la cirugía robótica, aunque los estudios revisados no incorporaron de manera consistente métricas cuantitativas estandarizadas, sí reportaron que

el uso de plataformas robóticas facilita la adquisición de habilidades quirúrgicas, particularmente en términos de coordinación, precisión y ergonomía, lo que sugiere un potencial beneficio en la formación técnica, aunque aún se requieren estudios con metodologías más robustas para validar estos hallazgos.²⁷

CONCLUSIONES

La simulación laparoscópica se ha consolidado como una herramienta fundamental en la formación quirúrgica, con evidencia consistente de su impacto positivo en la adquisición de habilidades técnicas y en la mejora del desempeño intraoperatorio. Los hallazgos de esta revisión indican que, si bien todas las modalidades de simulación contribuyen al desarrollo de competencias básicas, la efectividad del entrenamiento depende en mayor medida de su integración en programas estructurados, del uso de métricas objetivas y de la incorporación de escalas validadas de evaluación del desempeño.

Las métricas basadas en tiempo, tasa de errores y economía de movimiento han demostrado alta reproducibilidad y utilidad para monitorizar la curva de aprendizaje; sin embargo, su valor predictivo es limitado cuando se utilizan de forma aislada. En este sentido, la combinación de indicadores cuantitativos con herramientas estructuradas como GOALS y OSATS ofrece una evaluación más robusta y con mayor correlación con el desempeño quirúrgico real. Asimismo, se identificó que ejercicios específicos (como la transferencia de objetos, la sutura intracorpórea y la ejecución de procedimientos completos en simuladores avanzados) presentan una mayor asociación con la transferencia efectiva de habilidades al entorno clínico.

Desde una perspectiva operativa, los simuladores físicos convencionales continúan siendo opciones costo-efectivas y accesibles, particularmente en etapas iniciales del entrenamiento, mientras que los sistemas de realidad virtual y plataformas híbridas aportan ventajas en estandarización, retroalimentación objetiva y seguimiento individualizado del progreso. No obstante, la evidencia actual no respalda de manera uniforme la superioridad de los simuladores de alta fidelidad en todos los contextos, lo que subraya la importancia de adaptar la tecnología al nivel de formación y a los objetivos educativos.

Persisten limitaciones relevantes en la literatura, incluyendo la heterogeneidad metodológica, la variabilidad en las métricas empleadas y la inconsistencia en la validez predictiva de los sistemas de simulación. En consecuencia, futuras investigaciones deberán enfocarse en la estandarización de métricas, la validación de modelos con capacidad predictiva robusta y la evaluación de desenlaces clínicos a largo plazo. En conjunto, el desarrollo de programas de

entrenamiento basados en simulación debe orientarse hacia un enfoque integral, que combine accesibilidad, rigor metodológico y evidencia de transferencia clínica, con el objetivo de optimizar la formación quirúrgica y mejorar la seguridad del paciente.

REFERENCIAS

1. 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; 91: 146-150.
2. Lorias-Espinoza D, Díaz-Cardona SK, Sánchez-Velasco LE, Ordorica-Flores RM, Minor-Martínez A, Montoya-Alvarez S et al. Skills assessment for laparoscopic surgery based on computer analysis metrics: ScopePro Trainer. *Surg Endosc.* 2025; 39: 6449-6458.
3. Valadez-Caballero D, Urbina-Cabello JJ, Salinas-Ocampo C, Alvarado-Durán J, Cristóbal-Luna JM. Utilidad del simulador de habilidades en el entrenamiento estructurado de procedimientos laparoscópicos. *Rev Mex Cir Endoscop.* 2025; 26: 9-17.
4. Thuler FR, de Freitas WR Jr, Ilias EJ, Kassab P, Malheiros CA. Laparoscopic bariatric surgery training program model: gastric bypass. *BMC Surg.* 2014; 14: 101. doi: 10.1186/1471-2482-14-101.
5. Enciso SS, Sánchez MFM, Díaz-Güemes MPI, Usón GJ. Validación preliminar del simulador físico Simulap® y de su sistema de evaluación para cirugía laparoscópica. *Cir Esp.* 2011; 90: 38-44.
6. Thomaschewski M, Vonthein R, Keck T, Laubert T, Benecke C; NOVICE study group. Laparoscopic simulation training improves operating room performance of surgical residents: a multicenter randomized trial (NOVICE). *Int J Surg.* 2025; 111: 2923-2932.
7. Selva RDR, Kumar S, Nallathamby K, Raj K, Hristova M. A systematic review of the learning curves of novices and trainees to achieve proficiency in laparoscopic skills: virtual reality simulator versus box trainer. *Cureus.* 2024; 16: e72923. doi: 10.7759/cureus.72923.
8. Seeger P, Kaldis N, Nickel F, Hackert T, Lykoudis PM, Giannou AD. Surgical training simulation modalities in minimally invasive surgery: how to achieve evidence-based curricula by translational research. *Am J Surg.* 2025; 242: 116197.
9. Sroka G, Feldman LS, Vassiliou MC, Kaneva PA, Fayed R, Fried GM. Fundamentals of laparoscopic surgery simulator training to proficiency improves laparoscopic performance in the operating room—a randomized controlled trial. *Am J Surg.* 2010; 199: 115-120.
10. Heredia-Montaño M, Díaz-Barrientos CZ, Padilla-Gómez CI, Navarro-Tovar F, Hernández-Pérez E, Rivas-Chávez AE. Comparación de las habilidades básicas en laparoscopia antes y después de la realización de un programa de entrenamiento en residentes de cirugía general del Hospital General Zona Norte de Puebla. *Rev Hosp Jua Mex.* 2022; 89: 55-60. doi: 10.24875/RHJM.21000031.

11. Pérez-Escamirosa F, Nuñez-Rojas AN, Dorantes-Nava CL, Montoya-Alvarez S, Sánchez-Margallo JA, Oropesa I et al. Effect of three training programs on surgical performance in single-port laparoscopic surgery. *Cir Cir*. 2024; 92: 194-204.
12. Haskins IN, Tan WH, Zaman J, Alimi Y, Awad M, Giorgi M et al. Current status of resident simulation training curricula: pearls and pitfalls. *Surg Endosc*. 2024; 38: 4788-4797.
13. Roberts KE, Bell RL, Duffy AJ. Evolution of surgical skills training. *World J Gastroenterol*. 2006; 12: 3219-3224.
14. Villegas L, Schneider BE, Callery MP, Jones DB. Laparoscopic skills training. *Surg Endosc*. 2003; 17: 1879-1888.
15. Lucas S, Tuncel A, Bensalah K, Zeltser I, Jenkins A, Pearle M et al. Virtual reality training improves simulated laparoscopic surgery performance in laparoscopy naïve medical students. *J Endourol*. 2008; 22: 1047-1051.
16. Vanderbilt AA, Grover AC, Pastis NJ, Feldman M, Granados DD, Murithi LK et al. Randomized controlled trials: a systematic review of laparoscopic surgery and simulation-based training. *Glob J Health Sci*. 2014; 7: 310-327.
17. Al-Kadi AS, Donnon T, Oddone PE, Mitchell P, Debru E, Church N. The effect of simulation in improving students' performance in laparoscopic surgery: a meta-analysis. *Surg Endosc*. 2012; 26: 3215-3224.
18. Erlich-Feingold O, Anteby R, Klang E, Soffer S, Cordoba M, Nachmany I et al. Artificial intelligence classifies surgical technical skills in simulated laparoscopy: a pilot study. *Surg Endosc*. 2025; 39: 3592-3599.
19. Von Websky MW, Vitz M, Raptis DA, Rosenthal R, Clavien PA, Hahnloser D. Basic laparoscopic training using the Symbionix LAP Mentor: setting the standards in the novice group. *J Surg Educ*. 2012; 69: 459-467.
20. Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, Satava RM. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg*. 2002; 236: 458-463; discussion 463-464.
21. McClusky DA, Gallagher AG, Ritter ME, 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. *J Am Coll Surg*. 2004; 199: 73.
22. Moulder JK, Louie M, Toubia T, Schiff LD, Siedhoff MT. The role of simulation and warm-up in minimally invasive gynecologic surgery. *Curr Opin Obstet Gynecol*. 2017; 29: 212-217.
23. Popa C, Abdul HN, Pestean C, Ober C, Elisei R, Al Momani T, Schlanger D, Graur F et al. Residents can do it! A training program in laparoscopic liver surgery for general surgery residents. *Eur Surg Res*. 2023; 64: 237-245.
24. Andreatta PB, Woodrum DT, Birkmeyer JD, Yellamanchilli RK, Doherty GM, Gauger PG et al. Laparoscopic skills are improved with LapMentor training: results of a randomized, double-blinded study. *Ann Surg*. 2006; 243: 854-860; discussion 860-863.
25. De Wilde RL, Herrmann A. Robotic surgery - advance or gimmick? *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol*. 2013; 27: 457-469.
26. Bresler L, Perez M, Hubert J, Henry JP, Perrenot C. Residency training in robotic surgery: the role of simulation. *J Visc Surg*. 2020; 157: S123-129.
27. Hiraki M, Kimura N, Kitagawa H, Kohya N, Samejima R. Laparoscopic training for gastrointestinal surgery using japanese traditional papercraft origami. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*. 2022; 32: 401-403.
28. Meling TR, Meling TR. The impact of surgical simulation on patient outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev*. 2021; 44: 843-854.
29. Dubuisson J, Vilmin F, Boulvain M, Combescure C, Petignat P, Brossard P. Do laparoscopic pelvic trainer exercises improve residents' surgical skills? A randomized controlled trial. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 2016; 206: 177-180.
30. Mohamadipanah H, Perrone KH, Nathwani J, Parthiban C, Peterson K, Wise B et al. Screening surgical residents' laparoscopic skills using virtual reality tasks: Who needs more time in the sim lab? *Surgery*. 2019; 166: 218-222.
31. Jokinen E, Mikkola TS, Harkki P. Effect of structural training on surgical outcomes of residents' first operative laparoscopy: a randomized controlled trial. *Surg Endosc*. 2019; 33: 3688-3695.