



Curvas de aprendizaje y factores asociados a la habilidad en simulación de residentes quirúrgicos en primer año

Learning curves and factors associated with simulation skills of first-year surgical residents

Felipe Zapata-Uribe, MD¹ , Sebastián Sierra-Sierra, MD¹ , Federico López-Uribe, MD² , Michel Ferraro-Yali, IQ³ , José Bareño-Silva, MD, MSc⁴ 

- 1 Simulación en cirugía laparoscópica básica, Universidad CES; Servicio de Cirugía general, Clínica CES, Medellín, Colombia.
- 2 Programa de especialización en Cirugía General, Universidad CES, Medellín, Colombia.
- 3 Simulación clínica y quirúrgica, Universidad CES; Instrumentación Quirúrgica, Universidad CES, Medellín, Colombia.
- 4 Epidemiología, Universidad CES, Medellín, Colombia.

Resumen

Introducción. La cirugía laparoscópica ha transformado la formación en las especialidades quirúrgicas. Programas como los de *Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES) Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS)* han estandarizado la enseñanza teórica y práctica. Este estudio busca comprender las posibles variaciones en la curva de aprendizaje, el tiempo de estabilización y los factores influyentes.

Métodos. Se evaluó de manera prospectiva y comparativa en una universidad el progreso de cuatro especialidades quirúrgicas, utilizando las tareas del FLS, desde junio de 2021 a mayo de 2022. Se analizaron los tiempos y errores para determinar el número de procedimientos para estabilizar la curva de aprendizaje y los promedios de desempeño. Se compararon los resultados entre programas de residencia, residentes y variables demográficas, con el objetivo de evaluar las curvas de aprendizaje y el tiempo promedio necesario, para identificar posibles factores que influyen en adquirir las competencias.

Resultados. Se evaluaron catorce residentes de primer año de residencia, 50 % hombres, entre 27 y 33 años. La mayoría (73,3 %) tuvo exposición previa a cirugía laparoscópica como observadores. Tras 30 ejercicios por tarea del FLS, todos superaron el 70 % de la curva de aprendizaje. Los promedios de tiempo para las tareas variaron entre los programas de residencia. No se observaron diferencias significativas en la experiencia previa en laparoscopia.

Conclusiones. Los hallazgos respaldan la eficacia del entrenamiento práctico en laparoscopia y muestran resultados similares a los reportados en la literatura, independientemente de la especialidad evaluada.

Palabras clave: educación de postgrado en medicina; internado y residencia; ejercicio de simulación; entrenamiento simulado; laparoscopia; curva de aprendizaje.

Fecha de recibido: 12/08/2024 - Fecha de aceptación: 30/01/2025 - Publicación en línea: 25/04/2025

Correspondencia: Felipe Zapata-Uribe, Carrea 27B # 37B sur 55, Envigado. Colombia. Teléfono: +57 3008076874

Dirección electrónica: pipe.zu77@gmail.com

Citar como: Zapata-Uribe F, Sierra-Sierra S, López-Uribe F, Ferraro-Yali M, Bareño-Silva J. Curvas de aprendizaje y factores asociados a la habilidad en simulación de residentes quirúrgicos en primer año. Rev Colomb Cir. 2025;40:686-97.

<https://doi.org/10.30944/20117582.2660>

Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons - BY-NC-ND <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Abstract

Introduction. Laparoscopic surgery has transformed training in surgical specialties. Programs such as the Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES) Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS) have standardized theoretical and practical training. This study seeks to understand potential variations in the learning curve, stabilization time, and influencing factors.

Methods. The progress of four surgical specialties was prospectively and comparatively evaluated at a university using FLS tasks from June 2021 to May 2022. Time and errors were analyzed to determine the number of procedures to stabilize the learning curve and average performance. Outcomes were compared across residency programs, residents, and demographic variables to assess learning curves and the average time required to identify potential factors influencing competency acquisition.

Results. Fourteen first-year residents, 50% men, between the ages of 27 and 33, were evaluated. The majority (73.3%) had prior exposure to laparoscopic surgery as observers. After 30 exercises per FLS task, all completed 70% of the learning curve. Average task times varied among residency programs. No significant differences were observed in prior laparoscopic experience.

Conclusions. The findings support the effectiveness of practical training in laparoscopy and similar results were obtained to those reported in the literature, regardless of the specialty evaluated.

Keywords: postgraduate medical education; internship and residency; simulation exercise; simulation training; laparoscopy; learning curve.

Introducción

Con la estandarización de la cirugía laparoscópica surgió la necesidad de desarrollar programas para adquirir habilidades que facilitaran la curva de aprendizaje (CA) y brindaran las herramientas para los profesionales en formación. Los *Fundamentals of Laparoscopic Surgery* (FLS) proporcionan conocimientos teóricos y habilidades prácticas en técnicas laparoscópicas, en cinco módulos con preguntas de selección múltiple y una fase práctica donde los participantes realizan ejercicios de simulación laparoscópica, incluyendo la transferencia de donas, corte preciso, colocación de un lazo para ligadura, sutura con nudo extracorpóreo y sutura con nudo intracorpóreo. Además, evalúan cinco aspectos: la percepción de la profundidad, destreza bimanual, eficiencia, manejo del tejido y autonomía¹⁻³.

Toda evaluación tiene desafíos. La pirámide de Miller es una referencia estándar para entender la relación entre el nivel de competencia y los instrumentos de evaluación adecuados para el practicante. La dificultad está en los escalones superiores de la pirámide, particularmente en la demostración (simulación) y en la cúspide piramidal

(el desempeño al enfrentarse al procedimiento en vivo). Este último presenta diversas variables que dificultan su medición objetiva durante la simulación⁴.

Los FLS demostraron que la simulación aumenta la retención de habilidades quirúrgicas y, además, mejora la destreza quirúrgica^{5,6}. Algunos ensayos clínicos han reportado que se aumenta la eficiencia del movimiento al incrementar la velocidad, reducir el tiempo inactivo y la longitud del recorrido con los instrumentos⁷. También se ha visto que se adquieren habilidades que pueden ser extrapoladas a la práctica quirúrgica laparoscópica⁸⁻¹⁰. Adicionalmente, hay estrategias como los formularios para retroalimentar cada ejercicio o cirugía realizada, buscando evaluar y perfeccionar las habilidades al señalar áreas de mejora o debilidad específica¹¹.

Los educadores se encuentran en la constante búsqueda de técnicas que estandaricen las prácticas. Junto con los FLS, se destaca la *Objective Structured Assessment of Technical Skills* (OSATS), entre otras¹². Pero aún es un desafío para los profesores la evaluación de aspectos como el trabajo en equipo y el profesionalismo¹³.

Para el entrenamiento existen modelos físicos, virtuales e híbridos. Entre las técnicas de realidad virtual, el *Virtual Basic Laparoscopic Skill Trainer* (VBLaST) no requiere de supervisión y evita la reposición de algunos materiales. Estos modelos analizan objetivamente los resultados, facilitan la supervisión continua y aseguran la adquisición de habilidades, además de que ofrecen retroalimentación para corregir deficiencias. Por otro lado, los modelos híbridos fusionan las capacidades evaluativas de los modelos virtuales con la sensación táctil y la percepción física proporcionada por los modelos físicos, ofreciendo una experiencia integral y efectiva¹⁴⁻¹⁷. Todos han demostrado mejoría en la adquisición de habilidades para la práctica quirúrgica¹⁸, sin una ventaja clara hasta el momento entre las diferentes técnicas de entrenamiento¹⁹.

El objetivo de este estudio prospectivo y comparativo fue evaluar las variaciones en la curva de aprendizaje (CA) y el tiempo de estabilización en médicos residentes de especialidades quirúrgicas de una Universidad de Medellín, Colombia.

Métodos

Tipo de estudio y población.

Se realizó una evaluación prospectiva y comparativa del progreso en médicos residentes de cuatro especialidades quirúrgicas en las salas de simulación de la Universidad CES en Medellín, Colombia, desde junio de 2021 hasta mayo de 2022.

Forma de evaluación

Los residentes fueron convocados a sesiones de dos horas semanales, con un descanso de 15 minutos en medio de la práctica. En cada sesión, dos profesores entrenados estuvieron guiando y supervisando. Se realizaron 30 ejercicios por cada tarea mediante una réplica estandarizada.

Las penalizaciones fueron explicadas antes de iniciar los ejercicios. Durante la transferencia, se penalizó el dejar caer el objeto fuera de la base y la transferencia desordenada de las donas. En el corte, se sancionó cualquier salida de los círculos dibujados. Respecto a la ligadura con nudo autoajustable, se penalizaron el apretar el nudo fuera de la zona indicada o una sujeción inadecuada (floja) de la sutura. Para los nudos intra y extracorpóreos,

se consideró error pasar el punto por un lugar no indicado o dejar algún nudo flojo, no apretado o no implementar suficientes lazadas. En todos los ejercicios se consideró error la manipulación inadecuada del tejido, especialmente si producía desgarros en el material.

En algunos casos, se canceló el ejercicio y se excluyó: durante la transferencia, si más de dos objetos caían fuera de la base; en el nudo autoajustable, si este se bloqueaba y no descendía; durante el corte, si el material no se cortaba correctamente con la tijera; y en los nudos intra y extracorpóreo, si no se lograba visualizar la línea marcada para el paso del punto.

Variables

Se midieron las cinco tareas prácticas establecidas por los FLS: transferencia de donas, corte preciso, colocación de un lazo para ligadura, sutura con nudo extracorpóreo y sutura con nudo intracorpóreo. El progreso se evaluó midiendo el tiempo de ejecución de cada ejercicio, con una penalización de 10 segundos por cada error cometido.

Análisis estadístico

Se analizó cómo evolucionaron las curvas de aprendizaje, el porcentaje de aprendizaje adquirido y los tiempos de ejecución en los ejercicios por residentes de primer año utilizando el modelo de FLS. Se hizo un análisis descriptivo de los tiempos finales, segmentando la muestra en grupos de residencia. Se construyeron curvas con el porcentaje de aprendizaje, buscando identificar cuándo se estabiliza el tiempo del evento, e indicando así el logro del aprendizaje por cada residente en comparación con la media de su grupo. Se analizaron los resultados para determinar el número de procedimientos para lograr estabilizar el porcentaje de aprendizaje y el tiempo promedio de desempeño.

Las comparaciones se realizaron entre los diferentes programas de residencia y por cada uno de los residentes, teniendo en cuenta variables demográficas como la edad, el género y la experiencia previa en cirugía laparoscópica. Se determinó la normalidad entre los grupos con la prueba de Shapiro-Wilk y la diferencia de medianas mediante la prueba U de Mann-Whitney. Los datos se almacenaron

en una base de Microsoft Excel® y el análisis estadístico se hizo en el programa libre Jamovi (The jamovi project. Computer Software. Disponible en: <https://www.jamovi.org>).

Resultados

Se incluyeron 14 residentes que cursaban el primer año de residencia, la mitad hombres, que fueron divididos en tres grupos: Grupo 1, Cirugía general (4 integrantes); Grupo 2, Ginecología y obstetricia (6 integrantes); Grupo 3, Urología y Cirugía plástica (4 integrantes). La edad estuvo

entre 27 y 33 años. El 73,3 % había tenido exposición previa a cirugía laparoscópica, siendo la mayoría observadores.

Tras 30 ejercicios por tarea del FLS, todos estuvieron por encima del 70 % de la curva de aprendizaje. El tiempo promedio de los tres grupos fue de 165,6 (desviación estándar, DE: 55) segundos en transferencia, 188,4 (DE: 61,3) segundos en corte, 71,7 (DE: 49,9) segundos en ligadura, 209,2 (DE: 109,7) segundos en nudo extracorpóreo y 274,7 (DE: 139,8) segundos en nudo intracorpóreo (Figura 1). La tabla 1 presenta

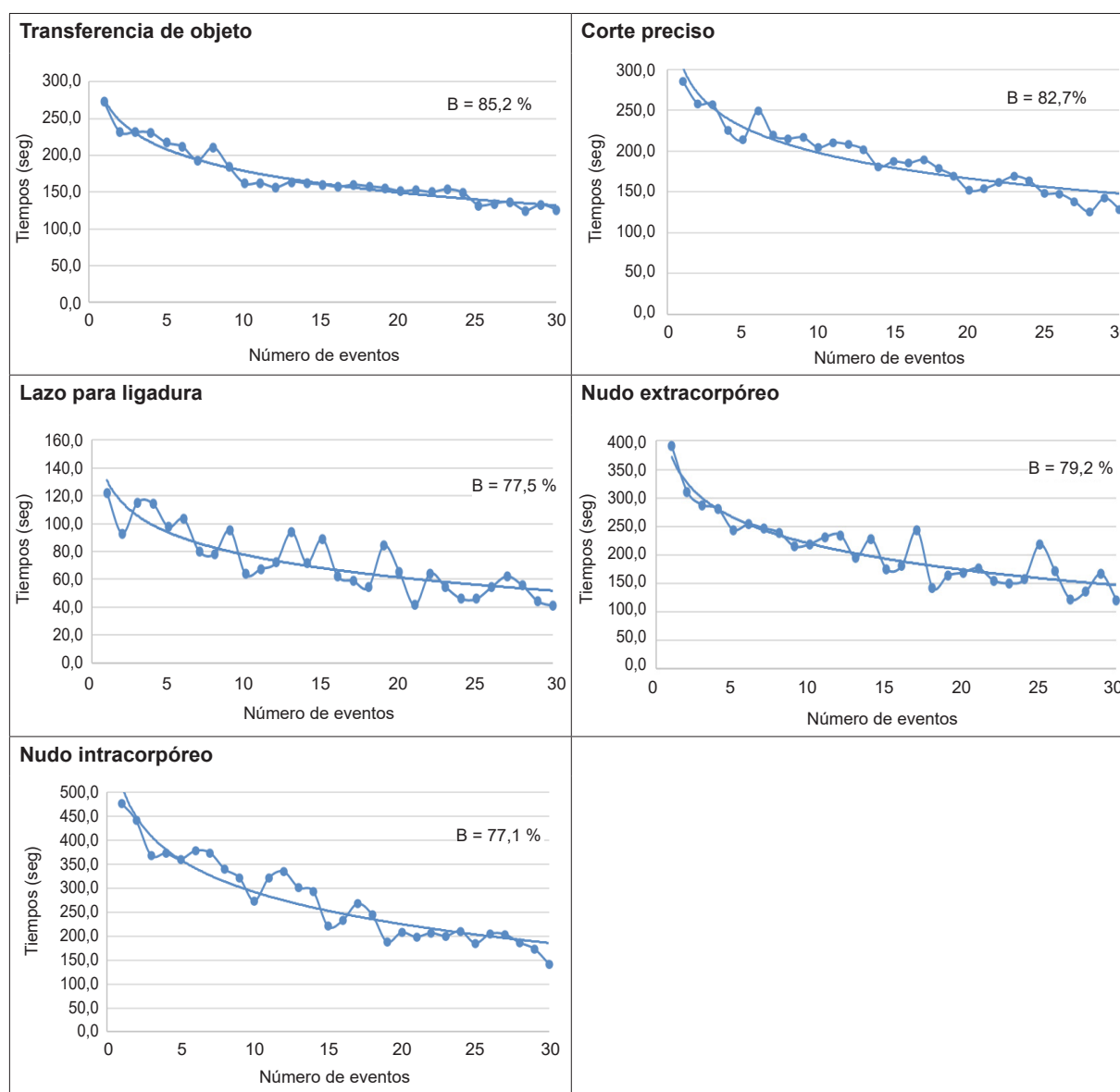


Figura 1. Curvas promedio de aprendizaje de todos los residentes según cada tarea.

Fuente: elaboradas por los autores.

Tabla 1. Características temporales de los ejercicios realizados por los médicos residentes de primer año.

Tiempo de realización de las tareas	Cirugía general (n=4)	Ginecología y obstetricia (n=6)	Urología y Cirugía plástica (n=4)	Total (N=14)
Transferencia de objeto	n=138	n=182	n=161	N=481
Media (DE)	151,5 (60,9)	185,4 (58,9)	155,4 (37,5)	165,6 (55,4)
Mediana (RIC)	125 (108,2 - 173,7)	173 (140 - 210)	150 (129 - 172)	150 (126 - 191)
Lim inf - Lim Sup	90 - 300	100 - 340	87 - 290	87 - 340
Corte preciso	n=121	n=180	n=124	N=425
Media (DE)	184,1 (53,5)	195,6 (63,9)	182,1 (64,0)	188,4 (61,3)
Mediana (RIC)	175 (143 - 217)	183 (145,7 - 240)	168 (130 - 225)	178 (140 - 230)
Lim inf - Lim sup	100 - 310	0 - 430	80 - 310	0 - 430
Lazo para ligadura	n=134	n=180	n=126	N=440
Media (DE)	51,7 (31,1)	81,3 (54,8)	79,1 (53,0)	71,7 (49,9)
Mediana (RIC)	44 (37,2 - 53)	59,5 (44,7 - 91,2)	58,5 (42 - 100)	52 (39 - 78,5)
Lim inf - Lim sup	22 - 200	19 - 190	22 - 180	19 - 200
Nudo extracorpóreo	n=107	n=180	n=120	N=407
Media (DE)	169,2 (81,4)	204,7 (108,5)	251,6 (119,1)	209,2 (109,7)
Mediana (RIC)	144 (116 - 200)	172,5 (126 - 240)	212,5 (150 - 420)	170 (130 - 249)
Lim inf - Lim sup	79 - 600	68 - 480	105 - 560	68 - 600
Nudo intracorpóreo	n=118	n=183	n=120	N=421
Media (DE)	224,2 (90,2)	313,1 (144)	265,7 (156,3)	274,7 (139,8)
Mediana (RIC)	219,5 (163,2 - 260)	260(207 - 386)	215(146,5 - 320,0)	240 (180 - 317)
Lim inf - Lim sup	93 - 600	96 - 620	91 - 600	91 - 620

* DE: desviación estándar; RIC: rango intercuartílico; Lim inf: límite inferior; Lim sup: límite superior.

Fuente: elaborada por los autores.

los tiempos promedio y la dispersión de los resultados en cada una de las tareas evaluadas, según la especialidad quirúrgica, y muestra la variabilidad en los tiempos de ejecución entre los grupos, con diferencias notables en tareas como la ligadura y los nudos intracorpóreos. Se observó también una tendencia a la reducción progresiva de los tiempos, lo que indica una mejora en la ejecución con la práctica (Figura 2).

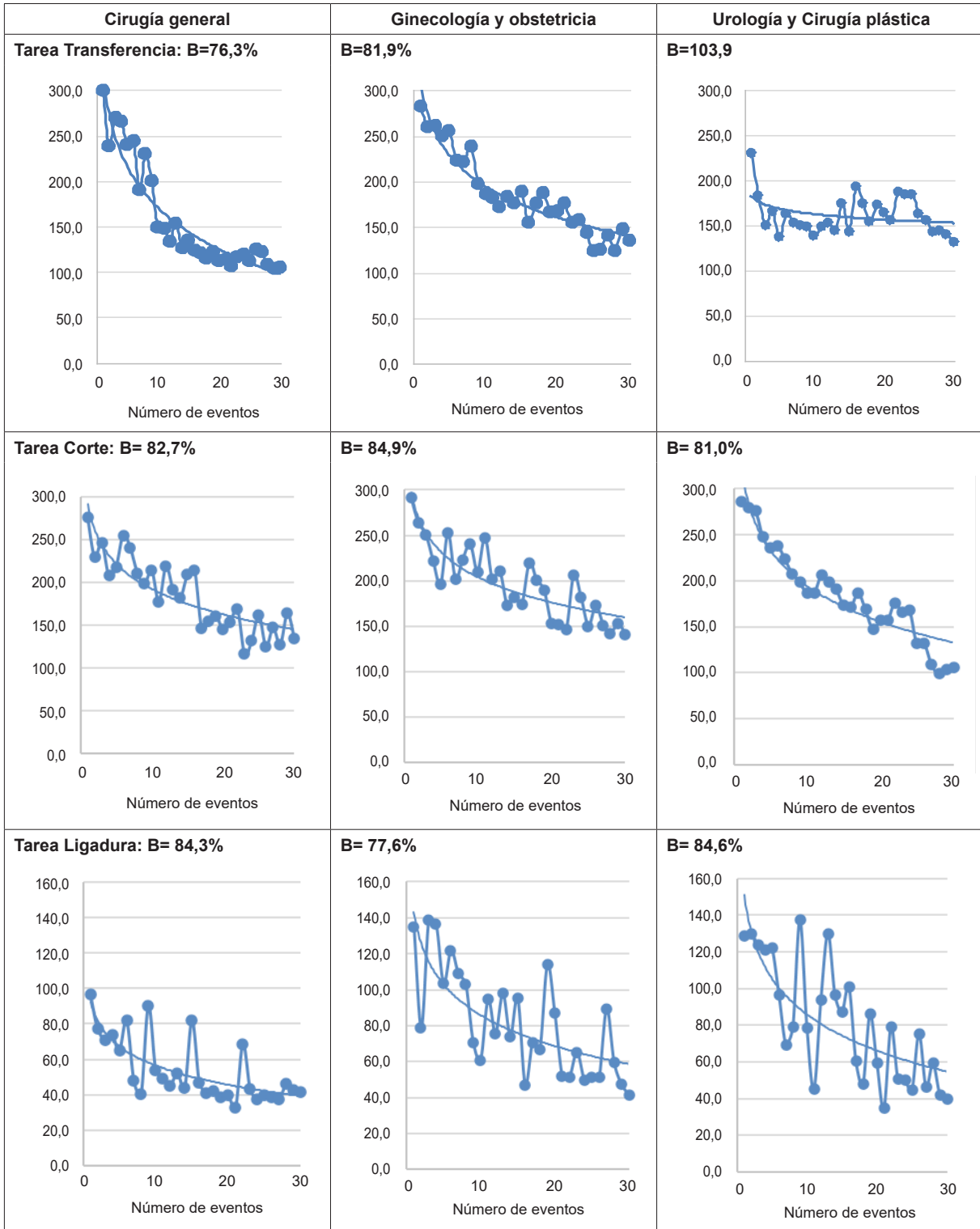
Los tres grupos tuvieron una distribución no normal y se encontró que hubo diferencia significativa en las diferentes tareas entre unos grupos (Tabla 2), donde ciertas especialidades presentaron una ejecución más rápida en algunas actividades, con valores de *p* menores a 0,05 en varias comparaciones. La figura 3 representa el comportamiento global de todos los residentes

en función del tiempo final promedio por cada ejercicio.

Discusión

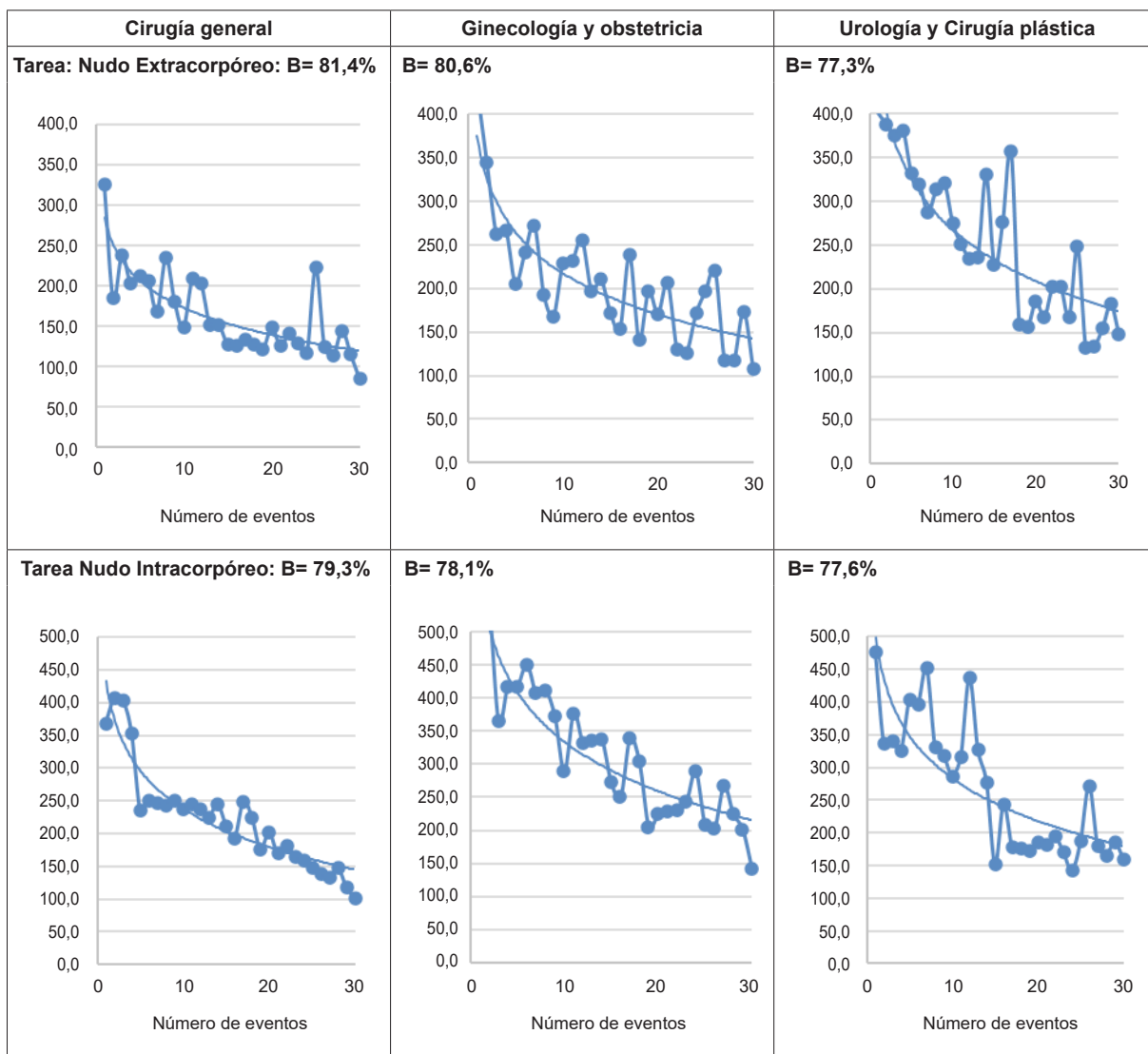
El rendimiento de las habilidades motoras prospera con la repetición y el progreso es más rápido al principio, con mejoras más pequeñas a medida que la curva se acerca a la meseta, a lo que se le denomina “curva de aprendizaje”. Los errores, por el contrario, son más frecuentes al inicio del entrenamiento que al final. Esa curva de aprendizaje varía, influenciada por múltiples factores como la habilidad innata, la experiencia previa, la motivación, la tecnología implementada y otros factores que no se han estudiado, como el estrés o la fatiga^{20,21}.

Figura 2. Curvas de aprendizaje promedio según programa de residencia quirúrgica



Continúa en la página siguiente.

Continuación figura 2.



En este estudio, al analizar los datos por tarea, hubo una tendencia positiva en el avance de las habilidades, evidenciada en las curvas promedio de aprendizaje. Se observó una reducción en los tiempos de ejecución conforme progresaban en la práctica, fenómeno que se mantuvo constante en todas las tareas. Esta disminución en los tiempos de ejecución se acompañó de porcentajes de aprendizaje consistentemente altos, que oscilaron entre el 77,1 % y el 85 %, reflejando un progreso en la adquisición de habilidades quirúrgicas.

La mejora constante en el desempeño con la práctica sugiere que puede ser una estrategia efectiva para fomentar el desarrollo de habilidades quirúrgicas. Adicionalmente, permite mantener un estándar de calidad y auditar el aprendizaje de los residentes, e identificar el tiempo promedio en la curva de aprendizaje basados en el FLS.

Es difícil determinar un estándar aceptable al analizar las curvas de aprendizaje. Generar las curvas a partir de resultados implica comparar el desempeño con un punto de referencia, pero esto

Tabla 2. Diferencia del tiempo para las tareas entre los grupos

Tareas	Diferencia G1 vs G2	Diferencia G1 vs G3	Diferencia G2 vs G3
Transferencia de objeto			
Media (DE)	-33,9 (6,8)	-3,9 (5,8)	30,0 (5,4)
Mediana [†]	-36,0	-17,0	22
Valor p (IC _{95%}) [‡]	<0,001 (-46 - -26,0)	<0,01 (-25 - -8,0)	<0,001 (13 - 32)
Corte preciso			
Media (DE)	-11,5 (7,0)	2,02 (7,6)	13,5 (7,5)
Mediana [†]	-10,0	5,0	14
Valor p (IC _{95%}) [‡]	0,142 (-23 - 3,0)	0,48 (-9 - -20)	0,04 (0,01 - 28)
Lazo para ligadura			
Media (DE)	-29,6 (5,3)	-27,3 (5,4)	2,3 (6,3)
Mediana [†]	-14,0	-13,0	0,00
Valor p (IC _{95%}) [‡]	<0,001 (-20 - -9,0)	<0,001 (-19 - -7,0)	0,68 (-4,0 - 7,0)
Nudo extracorpóreo			
Media (DE)	-35,5 (12,1)	-82,4 (13,7)	-46,9 (13,3)
Mediana [†]	-20,0	-60,0	-33
Valor p (IC _{95%}) [‡]	0,010 (-38 - -5,0)	<0,001 (-87 - -38)	<0,001 (-55 - -13,0)
Nudo intracorpóreo			
Media (DE)	-88,9 (14,8)	-41,4 (16,6)	47,5 (17,5)
Mediana [†]	-63,0	-10,0	51
Valor p (IC _{95%}) [‡]	<0,001 (-86 - -39,0)	0,39 (-40 - 15,0)	<0,001 (25 - 78)

[†] G1: grupo 1, Cirugía general; G2: grupo 2, Ginecología y obstetricia; G3: grupo 3, Urología y Cirugía plástica; DE: desviación estándar; Prueba de Shapiro-Wilk < 0,05 Distribución no Normal; [‡] Prueba U de Mann-Whitney.

Fuente: elaborada por los autores.

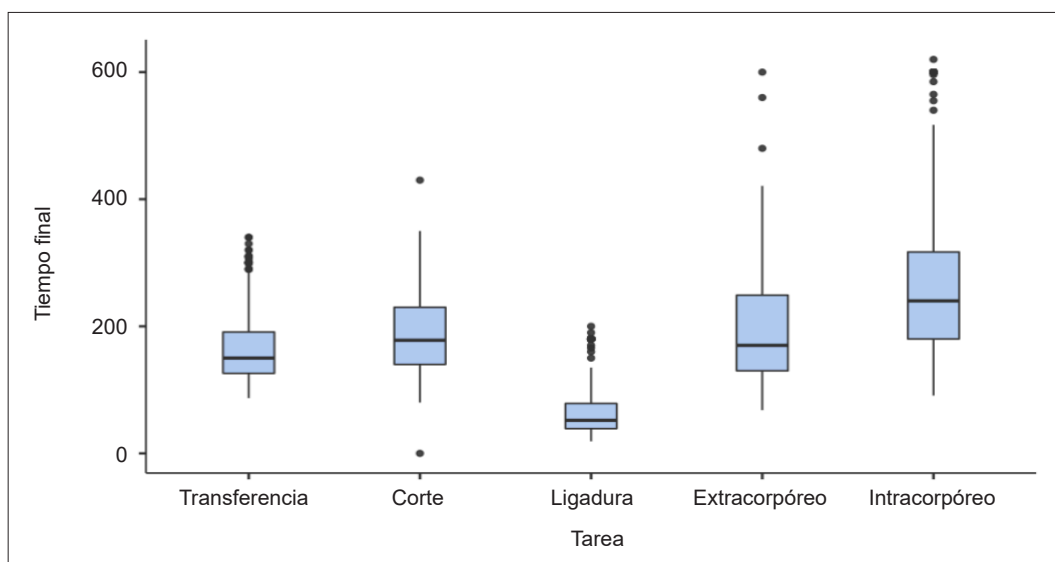


Figura 3. Comportamiento global del tiempo final según cada tarea en todos los residentes

Fuente: elaborada por los autores.

crea interrogantes sobre los criterios empleados para definir este último. Por eso es importante entender si se espera que los estudiantes alcancen o superen un estándar de experto, si es suficiente mantener un rendimiento dentro de un rango como, por ejemplo, una desviación estándar del promedio de los expertos, o si se puede considerar como punto de corte los puntajes promedio de las cohortes evaluadas en años anteriores^{22,23}.

Una manera de tener control estadístico y reconocer el rendimiento a través de curvas de aprendizaje se logra con las gráficas *cumulative sum* (CUSUM), que son las que mayor adaptabilidad han tenido en los procesos clínicos²⁴. Esas gráficas permiten analizar y evaluar la tendencia a alejarse o acercarse al objetivo o estándar de calidad a lo largo del tiempo. Por ejemplo, si se grafican las diferencias acumuladas en función del tiempo, se obtiene una curva que mostrará la tendencia a alejarse o acercarse al objetivo establecido. Si la curva es ascendente, indica que el proceso se está alejando del estándar; si es descendente, indica que se está acercando²⁵⁻²⁷. En las residencias quirúrgicas, esta técnica es útil para identificar patrones y tendencias en el desempeño, y puede ayudar a tomar decisiones para mejorar la calidad y eficiencia del proceso. Con base en las curvas y las gráficas CUSUM, se podrían crear curvas que involucren un estándar de porcentaje de aprendizaje y los tiempos de ejecución en los ejercicios con los simuladores que se utilizan en la institución.

Al analizar comparativamente los grupos, se observaron diferencias significativas en las curvas de aprendizaje, realizadas en función del tiempo y la cantidad de ejercicios, para integrar el porcentaje de aprendizaje con el objetivo de determinar el momento en que se estabiliza el tiempo del evento, indicando el logro del aprendizaje por parte de cada residente en relación con la media de su grupo. Se encontró que el grupo de Cirugía general tuvo tiempos de ejecución más cortos en tareas como ligadura y nudos, lo que indica mayor habilidad y rapidez, probablemente influenciado por experiencia previa y capacitación específica. En cuanto a los porcentajes de aprendizaje, hubo variaciones significativas: el

grupo de Urología y Cirugía plástica lideró en transferencia y ligadura, Ginecología y obstetricia en corte, y Cirugía general en nudos extracorpóreos, mientras que Ginecología y Cirugía general tuvieron porcentajes similares en nudos intracorpóreos. Sin embargo, estos altos porcentajes no siempre se tradujeron en mayor velocidad, como en la transferencia, donde el grupo de Urología y Cirugía plástica mostró tiempos finales más lentos pese a su mayor aprendizaje. Esto destaca la importancia de evaluar tanto el aprendizaje como los tiempos para medir el progreso en habilidades quirúrgicas.

Las competencias propuestas por los FLS para cada tarea establecen estándares específicos. Al comparar estos con los resultados obtenidos en este y en otros estudios que evalúan las tareas del FLS en residentes de primer año, observamos que los tiempos promedio de transferencia de donas fueron significativamente mayores en comparación con los expertos evaluados en los FLS, al igual que en el estudio de Hoops HE²⁸.

Otros estudios han confirmado que la mayoría de los residentes no alcanzan el estándar de tiempo experto para esta tarea; esta disparidad parece relacionarse con la metodología utilizada para calcular los tiempos requeridos para alcanzar el nivel de experto. Además, se ha demostrado que el tipo de instrumento utilizado en la práctica puede tener un impacto significativo en el rendimiento de la tarea en los FLS^{28,29}. Por ejemplo, en nuestro laboratorio de simulación no contamos con dos *Maryland graspers* de la misma morfología para todos los simuladores, esto llevó a utilizar diferentes tipos de *graspers* durante la simulación, representando una variante con respecto a la práctica original de los FLS que podría influir en los resultados observados.

Basándonos en estos resultados, consideramos que alcanzar las habilidades estandarizadas para los residentes de primer año, a través de los ejercicios de FLS, es factible y mejora la destreza quirúrgica. Creemos que la estandarización para residentes de segundo, tercer y cuarto año es el paso a estudiar, porque permitirá establecer criterios de evaluación en cada nivel de formación para los estándares específicos de su año.

Cabe mencionar que este estudio no evaluó el impacto en la calidad de vida y la fatiga, temas que generan debate en la simulación y el ejercicio quirúrgico debido a la falta de comprensión sobre su influencia en la destreza motora, la carga mental de trabajo y la ocurrencia de errores. Aunque algunos sugieren que estos factores pueden aumentar el tiempo de ejecución y la probabilidad de errores, otros plantean que no se observan efectos negativos en las tareas o en la adquisición de habilidades, incluso después de jornadas laborales intensas o turnos nocturnos a mediano plazo³⁰⁻³².

Dentro de los factores que influyen en la adquisición de habilidades, algunos estudios sugieren que el estrés puede ser un factor determinante en el desempeño y los resultados obtenidos durante la simulación. Entre los desencadenantes se encuentran la experiencia con el procedimiento, la complejidad, el sangrado y la técnica utilizada³³. Además, se ha observado que la motivación impacta en el rendimiento de los residentes. Algunos estudios han mostrado que los alumnos activamente involucrados y motivados tienen una mayor probabilidad de retener los ejercicios y estandarizar procesos³⁴⁻³⁶. En consecuencia, los hallazgos resaltan la importancia de considerar estos aspectos en futuras investigaciones.

Dentro de las limitaciones del estudio, se debe considerar el tamaño de la muestra, que dificultó la extracción de conclusiones generalizables para cada área en formación; para futuras investigaciones, recomendamos una muestra más representativa. Otra limitación radicó en las variables no evaluadas, como la carga académica, la carga asistencial, la fatiga, el estrés, la asistencia a las prácticas y la motivación, que desconocemos si pueden influir. Sin embargo, destacamos que todos los grupos lograron los 30 ejercicios con porcentajes de aprendizaje adecuados.

Conclusiones

Todos los residentes después de 30 ejercicios supervisados lograron un aplanamiento de la

curva de aprendizaje por encima de 70 %, lo que demuestra que la continuidad durante el entrenamiento simulado es el principal factor para la adquisición de la competencia. Hay diferentes tiempos de ejecución de los ejercicios entre los grupos, sin que se haya identificado una razón causal. Se requieren más investigaciones en donde se evalúen factores individuales que afecten la adquisición de las competencias, así como el impacto de la carga asistencial en el desempeño durante la simulación.

Cumplimiento de normas éticas

Consentimiento informado: Se cumplió con los principios éticos y directrices establecidos a raíz del Informe Belmont para la protección de sujetos humanos de investigación. No se utilizó información personal identificable de los residentes en la base de datos. Se cumplió con el Reglamento del Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) 45 CFR 46. De acuerdo con la Resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, se consideró un estudio sin riesgo.

Conflictos de interés: Ninguno de los autores tiene conflictos de interés con respecto al trabajo.

Uso de Inteligencia Artificial: Los autores declararon que en la elaboración de este manuscrito no se utilizó ningún tipo de tecnologías asistidas por inteligencia artificial.

Fuentes de financiación: Para la realización de este estudio se utilizaron recursos propios de los autores, con el apoyo de las instalaciones y el laboratorio de la Universidad CES.

Contribución de los autores:

- Concepción y diseño del estudio: Felipe Zapata-Uribe, Sebastián Sierra-Sierra, Michel Ferraro-Yali.
- Adquisición de datos: Felipe Zapata-Uribe, Sebastián Sierra-Sierra, Michel Ferraro-Yali.
- Redacción del manuscrito: Felipe Zapata-Uribe, Federico López-Uribe.
- Análisis e interpretación de datos: Federico López-Uribe, José Bareño-Silva.
- Revisión crítica: Felipe Zapata-Uribe, Sebastián Sierra-Sierra, Federico López-Uribe.

Referencias

- Vassiliou MC, Dunkin BJ, Marks JM, Fried GM. FLS and FES: Comprehensive models of training and assessment. *Surg Clin North Am.* 2010;90:535-58. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2010.02.012>
- 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;199:115-20. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2009.07.035>
- Peters JH, Fried GM, Swanstrom LL, Soper NJ, Sillin LF, Schirmer B, et al; SAGES FLS Committee. Development and validation of a comprehensive program of education and assessment of the basic Fundamentals of Laparoscopic Surgery. *Surgery.* 2004;135:21-7. [https://doi.org/10.1016/s0039-6060\(03\)00156-9](https://doi.org/10.1016/s0039-6060(03)00156-9)
- Nolla-Domenjó M. La evaluación en educación médica: Principios básicos. *Educ Méd.* 2009;12:223-9. <https://doi.org/10.4321/s1575-18132009000500004>
- Edelman DA, Mattos MA, Bouwman DL. FLS skill retention (learning) in first year surgery residents. *J Surg Res.* 2010;163:24-8. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2010.03.057>
- Egle JP, Malladi SVS, Gopinath N, Mittal VK. Simulation training improves resident performance in hand-sewn vascular and bowel anastomoses. *J Surg Educ.* 2015;72:291-6. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2014.09.005>
- von Bechtolsheim F, Petzsch S, Schmidt S, Schneider A, Bodenstedt S, Funke I, et al. Does practice make perfect? Laparoscopic training mainly improves motion efficiency: A prospective trial. *Updates Surg.* 2023;75:1103-15. <https://doi.org/10.1007/s13304-023-01511-w>
- Hatef DA, Hollier LH. Systematic review of skills transfer after surgical simulation training. *J Craniofac Surg.* 2009;20:577-8. <https://doi.org/10.1097/scs.0b013e31819ba4e2>
- Vanderbilt AA, Grover AC, Pastis NJ, Feldman M, Diaz-Granados D, Murithi LK, et al. Randomized controlled trials: A systematic review of laparoscopic surgery and simulation-based training. *Glob J Health Sci.* 2014;7:310-27. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v7n2p310>
- Bonrath EM, Weber BK, Fritz M, Mees ST, Wolters HH, Senninger N, et al. Laparoscopic simulation training: Testing for skill acquisition and retention. *Surgery.* 2012;152:12-20. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2011.12.036>
- Steigerwald SN, Park J, Hardy KM, Gillman L, Vergis AS. Establishing the concurrent validity of general and technique-specific skills assessments in surgical education. *Am J Surg.* 2016;211:268-73. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2015.04.024>
- Johnston MJ, Paige JT, Aggarwal R, Stefanidis D, Tsuda S, Khajuria A, et al. An overview of research priorities in surgical simulation: What the literature shows has been achieved during the 21st century and what remains. *Am J Surg.* 2016;211:214-25. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2015.06.014>
- Tavakol M, Mohagheghi MA, Dennick R. Assessing the skills of surgical residents using simulation. *J Surg Educ.* 2008;65:77-83. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2007.11.003>
- Zhang L, Sankaranarayanan G, Arikatla VS, Ahn W, Grosdemouge C, Rideout JM, et al. Characterizing the learning curve of the VBLaST-PT© (virtual basic laparoscopic skill trainer). *Surg Endosc.* 2013;27:3603-15. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-2932-5>
- Linsk AM, Monden KR, Sankaranarayanan G, Ahn W, Jones DB, De S, et al. Validation of the VBLaST pattern cutting task: A learning curve study. *Surg Endosc.* 2018;32:1990-2002. <https://doi.org/10.1007/s00464-017-5895-0>
- Kneebone R. Simulation in surgical training: Educational issues and practical implications. *Med Educ.* 2003;37:267-77. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2003.01440.x>
- Rehrig ST, Powers K, Jones DB. Integrating simulation in surgery as a teaching tool and credentialing standard. *J Gastrointest Surg.* 2008;12:222-33. <https://doi.org/10.1007/s11605-007-0250-8>
- Spiliotis AE, Spiliotis PM, Palios IM. Transferability of simulation-based training in laparoscopic surgeries: A systematic review. *Minim Invasive Surg.* 2020;2020:5879485. <https://doi.org/10.1155/2020/5879485>
- Raj DRS, Kumar S, Nallathambiy 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. <https://doi.org/10.7759/cureus.72923>
- Feldman LS, Cao J, Andalib A, Fraser S, Fried GM. A method to characterize the learning curve for performance of a fundamental laparoscopic simulator task: Defining “learning plateau” and “learning rate.” *Surgery.* 2009;146:381-6. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2009.02.021>
- Bonrath EM, Rijcken E, Fritz M, Weber B, Senninger N, Grantcharov TP. Laparoscopic simulation training? Does timing impact the quality of skills acquisition? Conference abstract. Seventh Annual Academic Surgical Congress. *J Surg Res.* 2012;172:190. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2011.11.080>
- Toale C, O'Byrne A, Morris M, Kavanagh DO. Characterizing individual trainee learning curves in surgi-

- cal training: Challenges and opportunities. *Surgeon*. 2023;21:285-8.
<https://doi.org/10.1016/j.surge.2022.11.003>
23. Traynor MD, Owino J, Rivera M, Parker RK, White RE, Steffes BC, et al. Surgical simulation in East, Central, and Southern Africa: A multinational survey. *J Surg Educ*. 2021;78:1644-54.
<https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2021.01.005>
 24. Page ES. Continuous inspection schemes. *Biometrika*. 1954;41:100-15. <https://doi.org/10.2307/2333009>
 25. Fortea-Sanchis C, Escrig-Sos J. Técnicas de control de calidad en cirugía. Aplicación de las gráficas de control cumulative sum. *Cir Esp*. 2019;97:65-70.
<https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2018.11.008>
 26. Biau DJ, Resche-Rigon M, Godiris-Petit G, Nizard RS, Porcher R. Quality control of surgical and interventional procedures: A review of the CUSUM. *Qual Saf Health Care*. 2007;16:203-7.
<https://doi.org/10.1136/qshc.2006.020776>
 27. Biau DJ, Williams SM, Schlup MM, Nizard RS, Porcher R. Quantitative and individualized assessment of the learning curve using LC-CUSUM. *Br J Surg*. 2008;95:925-9.
<https://doi.org/10.1002/bjs.6056>
 28. Hoops HE, Haley C, Kiraly LN, An E, Brasel KJ, Spight D. PGY-specific benchmarks improve resident performance on Fundamentals of Laparoscopic Surgery tasks. *Am J Surg*. 2018;215:880-5.
<https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2018.02.004>
 29. Barry SL, Fransson BA, Spall BF, Gay JM. Effect of two instrument designs on laparoscopic skills performance. *Vet Surg*. 2012;41:988-93.
<https://doi.org/10.1111/j.1532-950x.2012.01058.x>
 30. Lehmann KS, Martus P, Little-Elk S, Maass H, Holmer C, Zurbuchen U, et al. Impact of sleep deprivation on medium-term psychomotor and cognitive performance of surgeons: Prospective cross-over study with a virtual surgery simulator and psychometric tests. *Surgery*. 2010;147:246-54.
<https://doi.org/10.1016/j.surg.2009.08.007>
 31. Tomasko JM, Pauli EM, Kunselman AR, Haluck RS. Sleep deprivation increases cognitive workload during simulated surgical tasks. *Am J Surg*. 2012;203:37-43.
<https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2011.08.009>
 32. 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;189:753-7.
<https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2005.03.021>
 33. Arora S, Sevdalis N, Nestel D, Woloshynowych M, Darzi A, Kneebone R. The impact of stress on surgical performance: A systematic review of the literature. *Surgery*. 2010;147:318-30, 330.e1-6.
<https://doi.org/10.1016/j.surg.2009.10.007>
 34. Galiñanes EL, Shirshenkan JR, Doty J, Wakefield MR, Ramaswamy A. Standardized laparoscopic simulation positively affects a student's surgical experience. *J Surg Educ*. 2013;70:508-13.
<https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.03.005>
 35. Shetty S, Zevin B, Grantcharov TP, Roberts KE, Duffy AJ. Perceptions, training experiences, and preferences of surgical residents toward laparoscopic simulation training: A resident survey. *J Surg Educ*. 2014;71:727-33. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2014.01.006>
 36. Widder A, Backhaus J, Wierlemann A, Hering I, Flemming S, Hankir M, et al. Optimizing laparoscopic training efficacy by 'deconstruction into key steps': a randomized controlled trial with novice medical students. *Surg Endosc*. 2022;36:8726-36.
<https://doi.org/10.1007/s00464-022-09408-2>