



# De la práctica estructurada al dominio técnico: Un estudio de evaluación de aprendizaje con curvas CUSUM

From structured practice to technical mastery: A learning assessment study using CUSUM curves

Nicolás Lozano-Suárez, MD, MSc<sup>1,2</sup> , Sebastián Sierra, MD<sup>3,4</sup> ,  
María Camila Jaramillo-Guzmán, MD<sup>1</sup> , Michel Ferraro-Yali, IQ<sup>5</sup> , José Bareño-Silva<sup>6</sup> ,  
Felipe Zapata-Uribe, MD<sup>3,4</sup> 

- 1 Programa de especialización en Cirugía General, Universidad CES, Medellín, Colombia.
- 2 Grupo de Investigación en Especialidades Médico-Quirúrgicas CES, Medellín, Colombia.
- 3 Servicio de Cirugía general, Clínica CES, Medellín, Colombia.
- 4 Simulación en cirugía laparoscópica básica, Universidad CES, Medellín, Colombia.
- 5 Simulación clínica y quirúrgica, Universidad CES, Medellín, Colombia.
- 6 Epidemiología, Universidad CES, Medellín, Colombia.

Trabajo ganador del Segundo puesto en el Concurso Nacional de Investigación en Cirugía “José Félix Patiño Restrepo”, Asociación Colombiana de Cirugía, 51° Congreso Semana Quirúrgica Nacional, agosto de 2025.

## Resumen

**Introducción.** La simulación laparoscópica permite un entorno seguro para el desarrollo de habilidades quirúrgicas. Sin embargo, no existen puntos de corte universalmente definidos que indiquen cuándo un residente alcanza la “proficiencia” —término que proviene del anglicismo *proficiency* el cual se ha incorporado en la literatura académica en español, utilizado para describir el nivel de dominio y destreza adquirido en una habilidad específica—, especialmente en contextos locales. Las curvas CUSUM (*Cumulative Sum Control Chart*) ofrecen una herramienta objetiva para monitorear el rendimiento y trazar trayectorias de aprendizaje. El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño de los médicos residentes de Cirugía general mediante ejercicios laparoscópicos simulados, utilizando CUSUM como estrategia de seguimiento.

**Métodos.** Participaron 22 residentes de Cirugía general, quienes completaron 4162 repeticiones distribuidas en cinco ejercicios de *Fundamentals of Laparoscopic Surgery* (FLS) adaptados: transferencia, corte, ligadura, sutura extracorpórea e intracorpórea. Cada intento fue clasificado como aprobado o no según tres criterios: tiempos del programa FLS, tiempos promedio para residentes de primer año y tiempos ajustados al contexto local. Se construyeron curvas CUSUM individuales y grupales, y se aplicó regresión segmentada para identificar los puntos de cambio entre las fases de aprendizaje, competencia y proficiencia.

Fecha de recibido: 29/06/2025 - Fecha de aceptación: 08/08/2025 - Publicación en línea: 14/10/2025

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

Dirección electrónica: pipe.zu77@gmail.com

Citar como: Lozano-Suárez N, Sierra S, Jaramillo-Guzmán MC, Ferraro-Yali M, Bareño-Silva J, Zapata-Uribe F. De la práctica estructurada al dominio técnico: Un estudio de evaluación de aprendizaje con curvas CUSUM. Rev Colomb Cir. 2025;40:1050-60.

<https://doi.org/10.30944/20117582.3046>

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>

**Resultados.** El tiempo promedio por ejercicio fue de 150 segundos (DE: 92,7). Las tasas de aprobación fueron del 20,3 % con el criterio FLS, 25,9 % con el criterio de primer año y 36,0 % con el criterio local. Las curvas CUSUM mostraron que los residentes alcanzaron la proficiencia entre los 9 y 11 intentos, y la competencia entre las 21 y 26 repeticiones.

**Conclusión.** Este estudio estableció referencias locales para simulación laparoscópica, evidenciando la utilidad de CUSUM para evaluar el aprendizaje individual y grupal.

**Palabras clave:** cirugía general; educación de postgrado en medicina; curva de aprendizaje; entrenamiento simulado; competencia clínica; laparoscopia.

## Abstract

**Introduction.** Laparoscopic simulation provides a safe environment for developing surgical skills. However, there are no universally defined cutoff points that indicate when a resident reaches proficiency—a term used to describe the level of mastery and skill acquired in a specific skill—especially in local contexts. Cumulative Sum Control Charts (CUSUM) curves offer an objective tool for monitoring performance and mapping learning trajectories. The objective of this study was to evaluate the performance of general surgery residents through simulated laparoscopic exercises, using CUSUM as a monitoring strategy.

**Methods.** Twenty-two general surgery residents participated, completing 4162 repetitions distributed across five adapted Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS) exercises: transfer, cutting, ligation, and extracorporeal and intracorporeal suturing. Each attempt was graded as pass or fail based on three criteria: FLS program times, average times for first-year residents, and times adjusted for the local context. Individual and group CUSUM curves were constructed, and segmented regression was applied to identify changes between the learning, competence, and proficiency phases.

**Results.** The mean time per exercise was 150 seconds (SD: 92.7). Pass rates were 20.3% with the FLS criterion, 25.9% with the first-year criterion, and 36.0% with the local criterion. CUSUM curves showed that residents reached proficiency between nine and 11 attempts and competency between 21 and 26 repetitions.

**Conclusion.** This study established local benchmarks for laparoscopic simulation, demonstrating the usefulness of CUSUM for assessing individual and group learning.

**Keywords:** general surgery; postgraduate medical education; learning curve; simulated training; clinical competence; laparoscopy.

## Introducción

La cirugía laparoscópica ha transformado significativamente la práctica quirúrgica<sup>1,2</sup>. Esta técnica ha ganado terreno en múltiples especialidades y se proyecta que su adopción continúe en ascenso. En la base de datos nacional del “*Accreditation Council for Graduate Medical Education*” (ACGME), se ha documentado un incremento del 36 % en el número de procedimientos laparoscópicos realizados por residentes de cirugía general<sup>3</sup>. Más aún, especialidades como la cirugía bariátrica ya realizan más del 90 % de sus procedimientos

por esta vía<sup>4</sup>. Así mismo, en regiones como América Latina, la implementación de la laparoscopia también es significativa; según el *Latin American Surgical Outcomes Study* (LASOS), el 22,4 % de los procedimientos se realizan por laparoscopia, y en cohortes colombianas, como el estudio COLSOS, esta proporción alcanza el 23,7 %<sup>5,6</sup>.

La formación quirúrgica ha cambiado notablemente, dejando atrás el modelo tradicional de “ver uno, hacer uno, enseñar uno”<sup>7</sup> y actualmente, los médicos residentes deben dominar técnicas mínimamente invasivas, como la laparoscopia<sup>8</sup>.

Sin embargo, enfrentan limitaciones en el proceso, como la reducción de las horas quirúrgicas, la mayor complejidad de los pacientes y la fragmentación por subespecialidades, lo que ha llevado a menor exposición a las técnicas laparoscópicas durante su entrenamiento<sup>9-14</sup>. Ante esta problemática, la simulación basada en modelos de aprendizaje motor, como el de Fitts y Posner, es esencial para desarrollar habilidades psicomotoras antes de realizar procedimientos en pacientes reales<sup>15-19</sup>.

La simulación laparoscópica permite un entorno seguro para el desarrollo de habilidades quirúrgicas. Aunque para que la simulación sea efectiva es fundamental evaluar objetivamente el desempeño, no existen puntos de corte universalmente definidos que indiquen cuándo un residente alcanza la “proficiencia” —un término que proviene del anglicismo *proficiency*, el cual se ha incorporado en la literatura académica en español para describir el nivel de dominio y destreza adquirido en una habilidad específica—, especialmente en contextos locales.

La falta de una enseñanza guiada y un adecuado mecanismo de evaluación sistemático puede limitar significativamente el impacto en los entrenamientos<sup>20</sup>. Las curvas de aprendizaje tradicionales presentan limitaciones para reflejar la variabilidad individual y definir puntos claros en la competencia, además de distinguir entre la cantidad y calidad del desempeño técnico<sup>1,20,21</sup>. Como alternativa más precisa, la metodología CUSUM (*Cumulative Sum Control Chart*) ha demostrado ser precisa para monitorear el aprendizaje en simulación, permitiendo detectar tempranamente la competencia y adaptar el proceso de enseñanza a las necesidades específicas de cada residente<sup>1,20-22</sup>.

Algunos estudios previos en la Universidad CES, en Medellín, Colombia, han aplicado curvas de aprendizaje en simulación laparoscópica basadas en los *Fundamentals of Laparoscopic Surgery* (FLS), mostrando que, tras programas estructurados de entrenamiento, los residentes logran estabilizar su curva de aprendizaje y superar el 70-80 % de la competencia esperada en tareas básicas de laparoscopia, aunque existe una variabilidad del desempeño técnico entre los residentes<sup>1,23</sup>.

Esta heterogeneidad sugiere que las métricas convencionales, como el número de repeticiones o los tiempos de ejecución, resultan insuficientes para capturar la complejidad del proceso de aprendizaje quirúrgico. Por ello, este estudio propone aplicar análisis CUSUM para evaluar el desarrollo de las habilidades laparoscópicas en los médicos residentes de primer año del programa de Cirugía general, con el objetivo de caracterizar sus trayectorias de aprendizaje, establecer parámetros objetivos de evaluación y aportar evidencia sobre la eficacia del entrenamiento simulado en la formación quirúrgica. Este enfoque aportará evidencia valiosa para optimizar la formación quirúrgica.

## Métodos

### *Diseño y población del estudio*

Se realizó una cohorte prospectiva de los médicos residentes de Cirugía general de primer año en la Universidad CES, que completaron el programa de entrenamiento y su evaluación en cirugía laparoscópica entre 2019 y 2025. No se excluyó ningún residente. El muestreo fue no probabilístico, por conveniencia.

### *Proceso y recolección de datos*

Los ejercicios realizados fueron adaptaciones de los propuestos por el programa *Fundamentals of Laparoscopic Surgery* (FLS) de la SAGES<sup>4</sup>. El entrenamiento incluyó cinco ejercicios básicos: transferencia de objetos, corte, ligadura, sutura extracorpórea y sutura intracorpórea. Se llevaron a cabo en simuladores de entrenamiento tipo *pelvic trainer* disponibles en la universidad, empleando materiales y modelos diseñados para simular condiciones reales de tejido y resistencia laparoscópica.

Cada participante completó al menos 40 repeticiones por ejercicio. Las sesiones se programaron con una duración de dos horas semanales, incluyendo pausas para retroalimentación por expertos, individualizada para cada residente. El proceso estuvo supervisado por dos cirujanos generales y un instrumentador quirúrgico, todos capacitados en simulación clínica y educación a través de cursos institucionales.

Para cada repetición se registraron: número de repetición, tiempo de ejecución (en segundos) y número de errores técnicos. La recolección de datos fue realizada por los instructores, quienes consignaron la información en formatos estandarizados y la ingresaron en una base de datos electrónica para su análisis posterior.

En caso de identificar dificultades significativas en el desempeño de algún residente durante la simulación, se ofreció retroalimentación adicional y acompañamiento educativo, priorizando siempre el bienestar y el desarrollo profesional de los participantes. El residente entonces tenía que realizar más intentos, hasta que alcanzara los objetivos técnicos en tiempo y número de errores.

### *Análisis estadístico*

Se realizó un análisis descriptivo utilizando medidas de tendencia central y dispersión para evaluar el desempeño y tiempo de los residentes en los cinco ejercicios. Las tasas de aprobación por ejercicio se calcularon considerando únicamente aquellos intentos sin errores técnicos y tomando como referencia tres criterios temporales. El primer criterio correspondió a los tiempos establecidos por el programa FLS, definidos a partir del promedio de ejecución de cirujanos expertos para cada ejercicio<sup>4</sup>. El segundo utilizó como referencia los tiempos para residentes de primer año reportados en estudios previos, específicamente los publicados por la Universidad de Oregón. Dado que no se disponía de estándares locales de comparación, se generó un criterio ajustado al contexto mediante el cálculo del tiempo promedio por ejercicio, excluyendo los valores extremos mayores a dos desviaciones estándar (DE), siguiendo la metodología propuesta por Hoops HE, et al.<sup>24</sup>.

Para el análisis del proceso de aprendizaje se empleó el método CUSUM (*Cumulative Sum Control Chart*), una herramienta de análisis secuencial que transforma los datos individuales en una suma acumulativa de desviaciones respecto a un valor esperado<sup>21,25,26</sup>. En estas curvas, una pendiente ascendente representa la fase de aprendizaje (tiempos mayores al promedio), mientras que una pendiente descendente indica mejora progresiva o estabilización del desempeño<sup>25</sup>.

Se aplicó regresión lineal segmentada (*piecewise*) para identificar dos puntos de inflexión en las curvas de aprendizaje, siguiendo la metodología descrita por Stern N, et al.<sup>27</sup> y Muggeo VMR<sup>28</sup>. El primer punto corresponde a la transición entre la fase inicial de aprendizaje y la etapa de “proficiencia”, caracterizada por una estabilización del tiempo de ejecución. El segundo punto marca el paso a la competencia, representado por un descenso progresivo en el tiempo, visible como una pendiente descendente en la curva. Algunos autores diferencian la “proficiencia” de la competencia señalando que una implica la adquisición de conocimientos, habilidades o juicio técnico, mientras que la otra implica la ejecución autónoma, consistente y sostenida de una tarea<sup>29</sup>. Este enfoque se puede aplicar para analizar tanto el progreso individual por residente como el comportamiento grupal por especialidad<sup>21</sup>.

Finalmente, se calcularon y presentaron las medidas de tendencia central y dispersión de estos puntos de cambio, con el fin de caracterizar de forma integral las fases del aprendizaje técnico laparoscópico. Todos los análisis se realizaron en R Studio (R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria <https://www.R-project.org/>) versión 4.3.3.

### **Resultados**

Se analizaron un total de 4162 repeticiones, correspondientes a 22 médicos residentes que completaron los cinco ejercicios laparoscópicos. En promedio, se realizaron 38 repeticiones para los ejercicios de transferencia (DE 2,4) y corte (DE 3,8); para los ejercicios de ligadura, sutura intracorpórea y sutura extracorpórea, el promedio de repeticiones fue de 39 (DE 3,7), 35 (DE 6,5) y 37 (DE 4,3), respectivamente. El tiempo promedio global de ejecución fue de 150 segundos (DE 92,7), con una amplia variabilidad entre los distintos ejercicios. La sutura intracorpórea y el corte fueron los que requirieron mayor tiempo de realización, mientras que la ligadura y la sutura extracorpórea presentaron tiempos significativamente menores (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tiempos y aprobación por cada ejercicio laparoscópico

	Transferencia (n=852)	Corte (n=840)	Ligadura (n=863)	Sutura extracorpórea (n=778)	Sutura intracorpórea (n=829)	Total (n=4162)
Tiempo por ejercicio (segundos)						
Promedio (DE)	175 (56,1)	166 (90,6)	210 (115)	56,2 (41,7)	150 (60,2)	150 (92,7)
Mediana [Q1 - Q3]	168 [129 - 213]	135 [110 - 180]	177 [132 - 240]	42,0 [33,0 - 56,0]	129 [109 - 175]	134 [99,0 - 188]
Resultado según FLS, n (%)						
Reprobado	852 (100 %)	803 (95,6 %)	490 (56,8 %)	430 (55,3 %)	744 (89,7 %)	3319 (79,7 %)
Aprobado	0 (0 %)	37 (4,4 %)	373 (43,2 %)	348 (44,7 %)	85 (10,3 %)	843 (20,3 %)
Resultado para 1 <sup>er</sup> año, n (%)**						
Reprobado	837 (98,2 %)	809 (96,3 %)	484 (56,1 %)	440 (56,6 %)	514 (62,0 %)	3084 (74,1 %)
Aprobado	15 (1,8 %)	31 (3,7 %)	379 (43,9 %)	338 (43,4 %)	315 (38,0 %)	1078 (25,9 %)
Resultado según meta local, n (%)***						
Reprobado	497 (58,3 %)	581 (69,2 %)	600 (69,5 %)	470 (60,4 %)	517 (62,4 %)	2665 (64,0 %)
Aprobado	355 (41,7 %)	259 (30,8 %)	263 (30,5 %)	308 (39,6 %)	312 (37,6 %)	1497 (36,0 %)

\* DE: desviación estándar; Q1 - Q3: rango intercuartílico; FLS: *Fundamentals of Laparoscopic Surgery*.

\*\* Según los tiempos descritos por Hoops HE, et al.<sup>24</sup>.

\*\*\* Según el promedio de tiempos por ejercicio excluyendo los valores extremos.

Fuente: Elaborada por los autores.

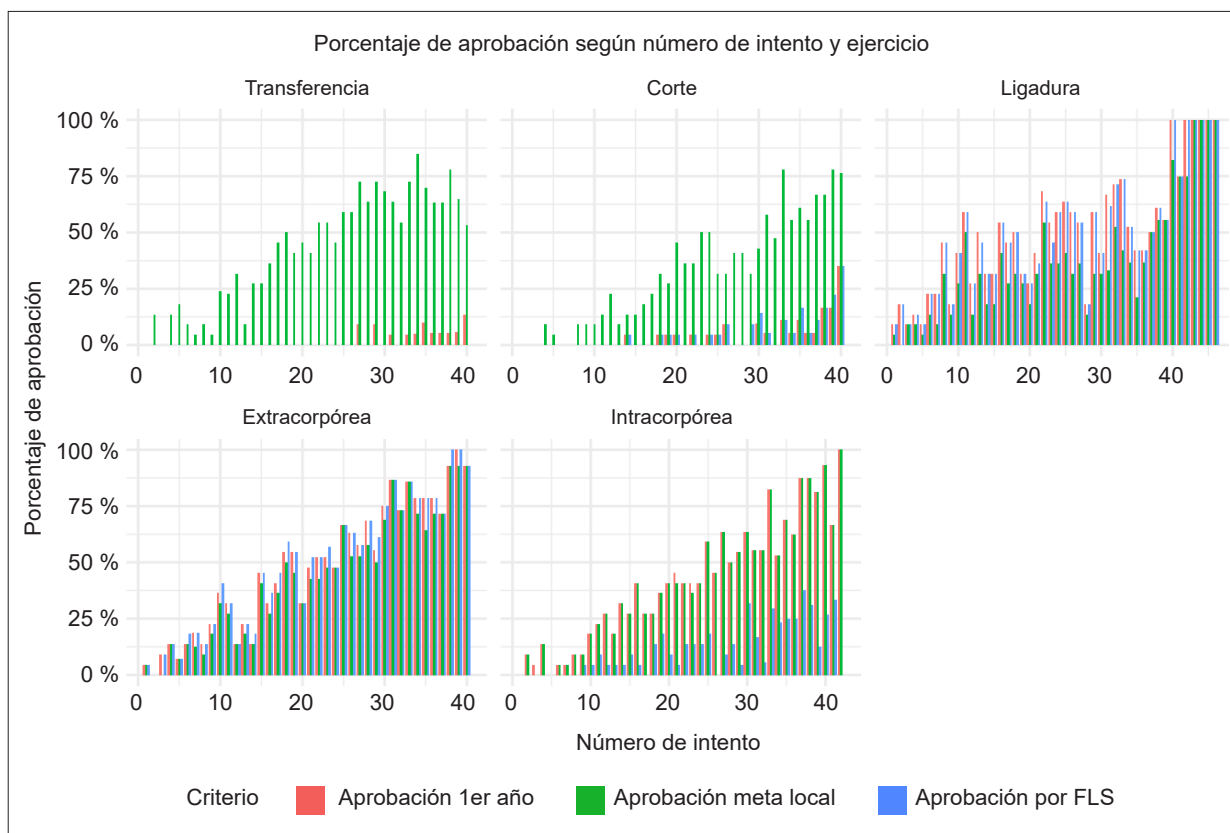
Al aplicar los criterios de aprobación basados en los tiempos establecidos por el programa FLS, se observó una baja tasa global de aprobación (20,3 %). Esta tendencia fue especialmente marcada en los ejercicios de transferencia y corte, en los que más del 95 % de las repeticiones fueron reprobadas. En contraste, los ejercicios de ligadura y sutura extracorpórea mostraron un desempeño relativamente mejor, con tasas de aprobación cercanas al 44 %. Al utilizar como referencia los tiempos promedio de residentes de primer año, la tasa global de aprobación aumentó al 25,9 %, aunque persistieron bajos desempeños en transferencia y corte, y se observó una mejora en la aprobación de la sutura intracorpórea.

Finalmente, al ajustar los criterios de aprobación a un estándar local, hubo una mejora sustancial en la tasa global de aprobación (36,0 %), con incrementos particularmente notables en los ejercicios de transferencia y corte. Sin embargo, en este escenario, las tasas de aprobación disminuyeron en

ligadura (30,5 %), sutura extracorpórea (39,6 %) e intracorpórea (37,6 %). En los tres criterios de evaluación aplicados, se observó una tendencia consistente: a mayor número de intentos, mayor fue el porcentaje de aprobación (Figura 1).

El análisis mediante curvas CUSUM permitió identificar el número de repeticiones necesarias para alcanzar dos hitos clave del aprendizaje técnico: la "proficiencia" y la competencia (Figura 2). En promedio, los residentes alcanzaron la "proficiencia" técnica entre los 9 y 11 intentos, dependiendo del ejercicio. La menor cantidad de repeticiones se observó en la sutura extracorpórea (media 9,5; DE 5,9) y en la sutura intracorpórea (media 9,6; DE 4,3), mientras que la transferencia y el corte requirieron un poco más de repeticiones.

En cuanto a la competencia, el número de intentos necesarios fue consistentemente mayor, con un promedio global que osciló entre 21 y 26 repeticiones. El ejercicio de corte fue el que más repeticiones requirió para alcanzar este umbral (media 25,9; DE 7,1), seguido por la sutura



**Figura 1.** Porcentaje de aprobación según número de intento y ejercicio.

Fuente: Elaborada por los autores.

intracorpórea (media 24,5; DE 6,2) y la transferencia (media 24; DE 6,1).

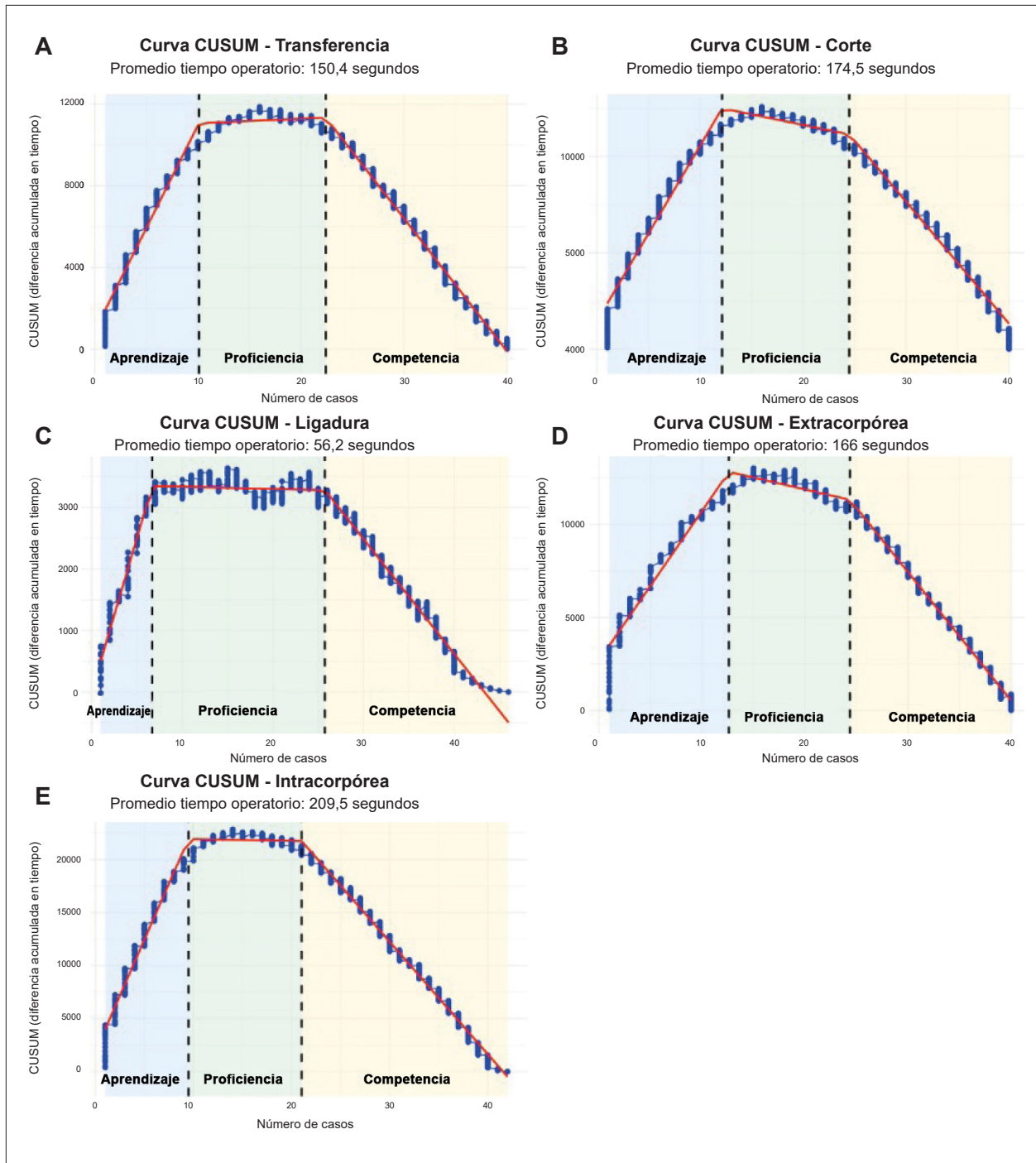
Aunque se observó una amplia variabilidad entre residentes, independiente del ejercicio, el 75 % de los residentes alcanzaron la “proficiencia” en menos de 16 ejercicios y la competencia en menos de 31 (Tabla 2).

## Discusión

En la educación quirúrgica, no es suficiente contar con herramientas de simulación como el *pelvic trainer*, modelos animales o cadavéricos. Tampoco basta con seguir procesos estructurados mediante ejercicios estandarizados, como los propuestos por el programa FLS<sup>4</sup>. La evaluación objetiva y sistemática constituye el pilar fundamental para determinar si realmente se han adquirido las competencias técnicas requeridas.

Si bien las ventajas de la simulación como herramienta formativa están ampliamente reconocidas —incluyendo beneficios en la adquisición de habilidades psicomotoras, la reducción de tiempos quirúrgicos y la mejora de desenlaces clínicos<sup>30,31</sup>—, persiste el debate sobre cuál es el método de evaluación más adecuado para poblaciones específicas. Existen instrumentos validados, como GOALS (*Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills*), OSATS (*Objective Structured Assessment of Technical Skills*) y diversas escalas de desempeño técnico, que ofrecen criterios objetivos<sup>20,31,32</sup>, aunque tienen limitaciones para capturar la variabilidad individual y no reflejan con suficiente sensibilidad la evolución del aprendizaje en tiempo real.

La literatura actual carece de un método educativo único que se adapte a las características



**Figura 2.** Curvas CUSUM grupales por ejercicio laparoscópico: A. Transferencia, B. Corte, C. Ligadura, D. Sutura extracorpórea y E. Sutura intracorpórea. Se señalan los puntos de inflexión correspondientes a la adquisición de competencia y “proficiencia” para cada ejercicio.

Fuente: Elaborada por los autores.

**Tabla 2.** Número de intentos para alcanzar “proficiencia” y competencia por ejercicio.

Variable	Transferencia	Corte	Ligadura	Sutura extracorpórea	Sutura intracorpórea
Número de intentos para alcanzar “proficiencia”					
Promedio (DE)	11,2 (5,9)	11,3 (5)	10,4 (5,7)	9,5 (5,9)	9,6 (4,3)
Mediana [Q1; Q3]	10 [7,25; 12,75]	9,5 [8; 16]	9 [6; 15]	8 [4,25; 13]	9,5 [6,25; 12]
Número de intentos para alcanzar competencia					
Promedio (DE)	24 (6,1)	25,9 (7,1)	23,8 (7,3)	21,9 (5,9)	24,5 (6,2)
Mediana [Q1; Q3]	23,5 [20,2; 27]	27,5 [21; 31,5]	23 [21; 27]	22,5 [18,5; 25]	23,5 [22,5; 28,7]

\* DE: desviación estándar; Q1 - Q3: rango intercuartílico.

Fuente: Elaborada por los autores.

particulares de los médicos residentes evaluados y que permita definir con precisión el momento en que se alcanza la competencia técnica; menos aún en la población local. En trabajos en población colombiana previamente publicados<sup>1,23</sup>, el uso de curvas de aprendizaje tradicionales permitió representar gráficamente el rendimiento técnico a lo largo del tiempo, evidenciando la mejoría gradual del residente hasta alcanzar un umbral de competencia.

Sin embargo, estas herramientas presentan limitaciones importantes. Por un lado, la determinación del momento en que se alcanza la competencia es, en muchos casos, subjetiva y susceptible a variaciones entre evaluadores. Por otro lado, su sensibilidad ante pequeños cambios de desempeño puede no ser adecuada, y debido a la estandarización de los procedimientos evaluados, la dificultad técnica no se ajusta dinámicamente. Además, no permiten evaluar ni comparar efectivamente la evolución de diferentes residentes, lo cual limita su utilidad para la toma de decisiones pedagógicas personalizadas.

En este estudio, el análisis CUSUM demostró ser una herramienta robusta y precisa para evaluar el proceso de adquisición de habilidades laparoscópicas. Esta metodología supera varias de las limitaciones mencionadas al ofrecer una representación objetiva y secuencial del desempeño, basada en desviaciones acumulativas respecto a un valor esperado. Una de sus principales ventajas

radica en su capacidad para reducir la subjetividad de la evaluación, estableciendo puntos de cambio claros y reproducibles en el aprendizaje técnico<sup>21,29,33,34</sup>. Este enfoque se alinea con los principios de la educación médica basada en competencias, que exige métricas sensibles, estandarizadas y aplicables al seguimiento individual<sup>35</sup>.

La amplia variabilidad observada entre los residentes —con un 75 % alcanzando la “proficiencia” en menos de 16 intentos y la competencia en menos de 31— refleja diferencias inherentes al aprendizaje motor. Esta heterogeneidad ha sido documentada en otros estudios, que señalan que variables como las habilidades visoespaciales, la coordinación motora fina y rasgos de personalidad (como la impulsividad), influyen de manera significativa en el desempeño laparoscópico<sup>36</sup>. Esta evidencia refuerza la necesidad de adoptar modelos de entrenamiento adaptativo que respondan a las particularidades de cada aprendiz, en lugar de enfoques uniformes basados solo en la cantidad de repeticiones o tiempo de entrenamiento<sup>37</sup>.

Los resultados obtenidos muestran que, si bien las tasas de aprobación según los estándares FLS y otras referencias internacionales fueron bajas (20,3–25,9 %), el ajuste de los criterios a estándares locales elevó esta proporción al 36 %, considerando mejoras significativas. Esta discrepancia sugiere que las métricas globales no siempre son aplicables a todos los contextos y que es necesario

desarrollar criterios de evaluación que tengan en cuenta las realidades y las limitaciones propias del entorno formativo, como el acceso a simuladores, la disponibilidad de tiempo de práctica y el nivel base de los residentes.

Nuestros hallazgos coinciden con otros estudios en América Latina, donde también se reportó una necesidad de contextualizar los estándares de entrenamiento<sup>6,23</sup>. Adicionalmente, se identificó una mejora progresiva en las tasas de aprobación a medida que aumenta el número de intentos, lo cual es esperable en una población en formación. Cabe destacar que los límites temporales de aprobación muestran mayores diferencias en los primeros ejercicios, pero tienden a converger en los ejercicios finales. Esto podría explicarse por el hecho de que los primeros ejercicios representaron el primer acercamiento de muchos residentes a la cirugía laparoscópica, a diferencia de programas internacionales donde la formación en laparoscopia se inicia desde etapas tempranas, incluso durante la educación médica de pregrado<sup>38</sup>.

Entre las principales fortalezas de este estudio se destaca que, hasta donde tenemos conocimiento, constituye la primera cohorte local que evalúa de manera sistemática el proceso de adquisición de habilidades laparoscópicas en residentes de Cirugía general, siendo además la más amplia reportada en el contexto colombiano. Se utilizaron ejercicios estandarizados propuestos por el programa FLS, lo que permite una comparación estructurada del desempeño. Asimismo, se aplicaron múltiples criterios de evaluación —incluyendo estándares internacionales, referencias por nivel de formación y umbrales ajustados al contexto local— lo que ofrece una visión más integral y realista del rendimiento técnico. Finalmente, el uso de herramientas estadísticas avanzadas, como las curvas CUSUM y la regresión segmentada, permitió analizar con profundidad tanto el progreso individual como grupal, identificando con precisión los momentos de transición entre aprendizaje, “proficiencia” y competencia.

No obstante, este estudio presenta algunas limitaciones. Al tratarse de una cohorte proveniente de un único centro educativo y con muestreo por conveniencia, los hallazgos podrían

tener dificultades para ser generalizados a toda la población. Además, la construcción de los estándares y su evaluación se realizaron sobre la misma cohorte, lo que puede limitar su independencia. Tampoco se consideraron variables individuales que potencialmente influyen en el rendimiento, como la carga de turnos previos, las horas de sueño, la edad, el estrés o la experiencia previa en simulación. Estos aspectos serán abordados en futuras investigaciones, que también explorarán factores predictivos de mejor desempeño y trayectorias de aprendizaje más eficientes.

## Conclusiones

El uso de curvas CUSUM permitió identificar con precisión los momentos en que los médicos residentes transitan del aprendizaje a la “proficiencia” y posteriormente a la competencia, aportando una visión clara y secuencial del proceso de adquisición de habilidades quirúrgicas. Esta herramienta no solo mejora la comprensión del progreso técnico, sino que facilita intervenciones educativas oportunas y focalizadas que pueden ser replicadas.

Nuestros hallazgos también destacan la relevancia de adaptar los criterios de evaluación al contexto local. La implementación de estándares ajustados mejoró significativamente las tasas de aprobación, reflejando de forma más realista el desempeño de los residentes y sugiriendo que los parámetros internacionales, como los del programa FLS, pueden no ser plenamente aplicables en todos los entornos. Esta adecuación no implica una reducción en la exigencia técnica, sino una evaluación más justa y contextualizada.

La integración de CUSUM en programas de simulación quirúrgica representa una oportunidad para personalizar la enseñanza, permitiendo que el entrenamiento se centre en el ritmo y necesidades individuales de cada residente. Esta aproximación promueve una educación más eficiente, orientada a resultados concretos y alineada con los retos de la práctica clínica actual. En conjunto, estos hallazgos aportan una base sólida para el diseño de programas de formación más efectivos, dinámicos y adaptados a las realidades de cada institución.

## Cumplimiento de normas éticas

**Consentimiento informado:** Este estudio se realizó conforme a la Declaración de Helsinki y la normativa colombiana vigente. De acuerdo con la Resolución 8430 de 1993 fue considerado un estudio sin riesgo. La participación de los residentes fue voluntaria, previa entrega de información sobre los objetivos, los procedimientos y sus implicaciones. La confidencialidad fue asegurada mediante codificación alfanumérica y acceso restringido a los datos. Las actividades de simulación se realizaron en un entorno controlado, sin intervenir en la formación académica ni en la evaluación formal de los participantes. Los resultados individuales no fueron divulgados ni utilizados con otros fines. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad CES.

**Conflictos de interés:** Los autores declararon no tener ningún conflicto de interés para la realización del estudio.

**Uso de Inteligencia Artificial:** No se hizo uso de ningún tipo de inteligencia artificial.

**Fuentes de financiación:** Los autores declararon no tener ninguna fuente de financiación para la investigación diferente de los recursos propios; además, declararon no tener ninguna actividad financiera relacionada con compañías farmacéuticas u otras empresas.

### Contribución de los autores:

- Diseño y concepción del estudio: Nicolás Lozano-Suárez, Sebastián Sierra, María Camila Jaramillo-Guzmán, Michel Ferraro-Yali, José Bareño-Silva, Felipe Zapata-Uribe.
- Adquisición de datos: Nicolás Lozano-Suárez, Sebastián Sierra, María Camila Jaramillo Guzmán, Michel Ferraro-Yali, José Bareño-Silva, Felipe Zapata-Uribe.
- Análisis e interpretación de datos: Nicolás Lozano-Suárez, Sebastián Sierra, María Camila Jaramillo-Guzmán, Michel Ferraro-Yali, José Bareño-Silva, Felipe Zapata-Uribe.
- Redacción del manuscrito: Nicolás Lozano-Suárez, Sebastián Sierra, María Camila Jaramillo-Guzmán, Michel Ferraro-Yali, José Bareño-Silva, Felipe Zapata-Uribe.
- Revisión crítica: Nicolás Lozano-Suárez, Sebastián Sierra, María Camila Jaramillo-Guzmán, Michel Ferraro-Yali, José Bareño-Silva, Felipe Zapata-Uribe.

## Referencias

1. 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>
2. Tapia-Jurado J, Soltero-Rosas P, Tapia Jurado J. La simulación como estrategia educativa para adquirir habilidades quirúrgicas. *Cir Cir.* 2018;86:5-7. <https://doi.org/10.24875/CIRU.M18000017>
3. St John A, Caturegli I, Kubicki NS, Kavic SM. The rise of minimally invasive surgery: 16 year analysis of the progressive replacement of open surgery with laparoscopy. *JLS.* 2020;24:e2020.00076. <https://doi.org/10.4293/JLS.2020.00076>
4. Fundamentals of Laparoscopic Surgery™, SAGES. Technical Skills Proficiency-Based Training Curriculum. 2019. Fecha de consulta: 16 de mayo de 2025. Disponible en: [www.flspprogram.org](http://www.flspprogram.org)
5. Pérez-Rivera CJ, Lozano-Suárez N, Velandia-Sánchez A, Vargas-Cuellar MP, Rojas-Serrano LF, Polanía-Sandoval CA, et al. Colombian surgical outcomes study insights on perioperative mortality rate, a main indicator of the Lancet commission on global surgery – A prospective cohort study. *The Lancet Regional Health - Americas.* 2024;38:100862. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2024.100862>
6. Hajjar LA, Quintão VC, Vieira APZ, Nakada LN, Pearse RM, Ramírez MBD, et al. Latin American surgical outcomes study: Study protocol for a multicentre international observational cohort study of patient outcomes after surgery in Latin American countries. *BJA Open.* 2022;3:100030. <https://doi.org/10.1016/j.bjao.2022.100030>
7. Evans CH, Schenarts KD. Evolving educational techniques in surgical training. *Surg Clin North Am.* 2016;96:71-88. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2015.09.005>
8. Potts JR. General surgery residency: Past, present and future. *Curr Probl Surg.* 2019;56:174-97. <https://doi.org/10.1067/j.cpsurg.2019.01.005>
9. George BC, Bohnen JD, Williams RG, Meyerson SL, Schuller MC, Clark MJ, et al. Readiness of US general surgery residents for independent practice. *Ann Surg.* 2017;266:582-94. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002414>
10. Hashimoto DA, Bynum WE, Lillemoie KD, Sachdeva AK. See more, do more, teach more: Surgical resident autonomy and the transition to independent practice. *Acad Med.* 2016;91:757-60. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000001142>
11. Picarella EA, Simmons JD, Borman KR, Replogle WH, Mitchell ME. “Do one, teach one” the new paradigm in general surgery residency training. *J Surg Educ.* 2011;68:126-9. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2010.09.012>
12. Malangoni MA, Biester TW, Jones AT, Klingensmith ME, Lewis FR. Operative experience of surgery residents: Trends and challenges. *J Surg Educ.* 2013;70:783-8. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.09.015>
13. Bell RH, Biester TW, Tabuenca A, Rhodes RS, Cofer JB, Britt LD, et al. Operative experience of residents in US general surgery programs: A gap between expectation and experience. *Ann Surg.* 2009;249:719-24. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3181a38e59>
14. Kempenich JW, Willis RE, Rakosi R, Wiersch J, Schenarts PJ. How do perceptions of autonomy differ in gene-

- ral surgery training between faculty, senior residents, hospital administrators, and the general public? A multi-institutional study. *J Surg Educ.* 2015;72:e193-201. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2015.06.002>
15. Reznick RK, MacRae H. Teaching surgical skills — Changes in the wind. *N Engl J Med.* 2006;355:2664-9. <https://doi.org/10.1056/NEJMr054785>
  16. Elsej EJ, Griffiths G, Humes DJ, West J. Meta-analysis of operative experiences of general surgery trainees during training. *Br J Surg.* 2017;104:22-33. <https://doi.org/10.1002/bjs.10396>
  17. Lu J, Cuff RF, Mansour MA. Simulation in surgical education. *Am J Surg.* 2021;221:509-14. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2020.12.016>
  18. 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;236:458-64. <https://doi.org/10.1097/0000658-200210000-00008>
  19. Maertens H, Madani A, Landry T, Vermassen F, van Herzeele I, Aggarwal R. Systematic review of e-learning for surgical training. *Br J Surg.* 2016;103:1428-37. <https://doi.org/10.1002/bjs.10236>
  20. Fjørtoft K, Konge L, Gögenur I, Thinggaard E. The implementation gap in laparoscopic simulation training. *Scand J Surg.* 2019;108:109-16. <https://doi.org/10.1177/1457496918798201>
  21. Lin PL, Zheng F, Shin M, Liu X, Oh D, D'Attilio D. CUSUM learning curves: What they can and can't tell us. *Surg Endosc.* 2023;37:7991-9. <https://doi.org/10.1007/S00464-023-10252-1>
  22. Aguirre-Ospina OD, Ríos-Medina ÁM, Calderón-Marulanda M, Gómez-Buitrago LM. Curvas de aprendizaje de sumatoria acumulada (CUSUM) en procedimientos básicos de anestesia. *Rev Colomb Anestesiol.* 2014;42:142-53. <https://doi.org/10.1016/J.RCA.2014.03.004>
  23. Zapata-Urbe F, Sierra-Sierra S, Ferraro-Yali M, Bareño-Silva J, Cadavid LG, Vasco M, et al. Curvas de aprendizaje en simulación basados en FLS. *Rev Colomb Cir.* 2025;40:870-8. <https://doi.org/10.30944/20117582.2832>
  24. 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>
  25. Turner AM, Subramaniam R. CUSUM analysis and the learning curve. En: Gharagozloo F, Patel VR, Giulianotti PC, Poston R, Gruessner R, Meyer M, eds. *Robotic Surgery.* 2nd ed. Cham: Springer; 2021. p. 1211-4. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53594-0\\_111](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53594-0_111)
  26. Kim JK, Batra NV, Szymanski KM, Shavnore R, Misseri R, Kaefer M, et al. Evaluating the trainee impact on robotic surgery learning curves: A CUSUM analysis of large series pediatric robot-assisted laparoscopic pyeloplasty. *J Robot Surg.* 2025;19:119. <https://doi.org/10.1007/S11701-025-02281-W>
  27. Stern N, Li Y, Wang PZ, Dave S. A cumulative sum (CUSUM) analysis studying operative times and complications for a surgeon transitioning from laparoscopic to robot-assisted pediatric pyeloplasty: Defining proficiency and competency. *J Pediatr Urol.* 2022;18:822-9. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2022.07.021>
  28. Muggeo VMR. Estimating regression models with unknown break-points. *Stat Med.* 2003;22:3055-71. <https://doi.org/10.1002/sim.1545>
  29. Alman BA. Competency versus proficiency in pediatric orthopaedic training. *Journal of the Pediatric Orthopaedic Society of North America.* 2022;4:483. <https://doi.org/10.55275/JPOSNA-2022-0058>
  30. Mohan PVR, Chaudhry R. Laparoscopic simulators: Are they useful! *Med J Armed Forces India.* 2009;65:113-7. [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(09\)80121-4](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(09)80121-4)
  31. 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;257:586-93. <https://doi.org/10.1097/SLA.0B013E318288C40B>
  32. Kramp KH, van Det MJ, Hoff C, Lamme B, Veeger NJGM, Pierie JPN. Validity and reliability of Global Operative Assessment of Laparoscopic Skills (GOALS) in novice trainees performing a laparoscopic cholecystectomy. *J Surg Educ.* 2015;72:351-8. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2014.08.006>
  33. Ng IKS, Mok SF, Teo D. Competency in medical training: Current concepts, assessment modalities, and practical challenges. *Postgrad Med J.* 2024;qgae023. <https://doi.org/10.1093/POSTMJ/QGAE023>
  34. Parikh AM, Park AM, Sumfest J. Cumulative summation (CUSUM) charts in the monitoring of hypospadias outcomes: A tool for quality improvement initiative. *J Pediatr Urol.* 2014;10:306-11. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2013.10.007>
  35. Tseng J. Learning theories and principles in surgical education and technical learning. *J Surg Oncol.* 2020;122:11-4. <https://doi.org/10.1002/jso.25936>
  36. Kengen BL. Individual difference in laparoscopic surgical skills acquisition. The Netherlands: Radboud University Press; 2024. <https://doi.org/10.54195/9789493296817>
  37. Hewitson CL, Crossley MJ, Kaplan DM. Enhanced visuomotor learning and generalization in expert surgeons. *Hum Mov Sci.* 2020;71:102621. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2020.102621>
  38. Collingwood JD, Arnold CS, Crews BL, Faunce AF, Ethridge BA, Barefield N, et al. Preparing future surgeons: An evaluation of academic surgeons' views on laparoscopic simulation training for medical students. *Cureus.* 2023;15:e37924. <https://doi.org/10.7759/cureus.37924>