

EDUCACIÓN, GESTIÓN Y SALUD PÚBLICA

DOI: 10.65016/WY3JPA68

EVALUACIÓN OBJETIVA DEL APRENDIZAJE PROCEDIMENTAL EN ANESTESIOLOGÍA MEDIANTE CUSUM EN EL INSTITUTO NACIONAL DE SALUD DEL NIÑO

Objective assessment of procedural learning in anesthesiology using CUSUM at the National Institute for Child Health

GUNTHER DICK MIRANDA SOBRINO^{1,2}



1. Instituto Nacional de Salud del Niño, Breña, Lima, Perú

2. <https://orcid.org/0000-0003-0240-3017>

Correspondencia: Enviar correspondencia al Dr. Gunther Dick Miranda Sobrino mediante correo electrónico gunthermiranda@hotmail.com

Como citar este documento: Miranda Sobrino GD. Evaluación objetiva del aprendizaje procedimental en anestesiología mediante CUSUM en el Instituto Nacional de Salud del Niño. Actas Peruanas de Anestesiología. 2025;23(2):3–12. doi:10.65016/wy3jpa68

Recibido: 03/09/2025

Aceptado: 17/12/2025

RESUMEN

Introducción: El aprendizaje procedimental es un componente fundamental en la formación médica, especialmente en anestesiología. La intubación endotraqueal pediátrica representa una habilidad crítica para garantizar la permeabilidad de la vía aérea en situaciones de emergencia y durante la anestesia general. **Métodos:** Se realizó un estudio descriptivo, longitudinal y prospectivo en el Instituto Nacional de Salud del Niño (Breña, Lima, Perú). Participaron diez médicos residentes de anestesiología sin experiencia previa en intubación pediátrica. Se registraron 593 intentos de intubación en pacientes sometidos a cirugías electivas o de emergencia. Cada intento fue clasificado como éxito (colocación confirmada por capnografía) o fallo. Se utilizó el análisis de Suma Acumulativa (CUSUM) para construir curvas individuales y determinar el número de intentos necesarios para alcanzar la competencia. **Resultados:** El número promedio de intentos requerido para adquirir la habilidad fue de 55 (± 15.4), con un rango de 28 a 70. Algunos residentes alcanzaron la competencia sin registrar fallos, mientras que otros necesitaron hasta tres fallos antes de consolidar la técnica. La tasa de error osciló entre 0% y 4.3%. Ninguno de los participantes superó el límite de desempeño inaceptable definido por el modelo CUSUM, lo que indica un desempeño seguro bajo supervisión. **Conclusión:** El método CUSUM es una herramienta eficaz para monitorizar en tiempo real el aprendizaje procedimental de la intubación endotraqueal pediátrica. Permite identificar variaciones individuales, reconocer el punto de competencia y orientar intervenciones educativas oportunas, optimizando la formación en anestesiología.

Palabras clave: Intubación endotraqueal; Pediatría; Aprendizaje procedimental; Anestesiología; CUSUM.

ABSTRACT

Introduction: Procedural learning is a fundamental component of medical training, particularly in anesthesiology. Pediatric endotracheal intubation is a critical skill to ensure airway patency in emergencies and during general anesthesia. **Methods:** A descriptive, longitudinal, prospective study was conducted at the Instituto Nacional de Salud del Niño (Breña, Lima, Peru). Ten anesthesiology residents without prior pediatric intubation experience participated. A total of 593 intubation attempts were recorded in patients undergoing elective or emergency surgery. Each attempt was classified as success (tube placement confirmed by capnography) or failure. Cumulative Sum (CUSUM) analysis was applied to construct individual learning curves and determine the number of attempts required to achieve competence. **Results:** The average number of attempts required to acquire the skill was 55 (± 15.4), ranging from 28 to 70. Some residents achieved competence without failures, whereas others required up to three failures before consolidating the technique. None of the participants crossed the unacceptable performance limit defined by the CUSUM model. **Conclusion:** The CUSUM method is an effective tool for real-time monitoring of pediatric intubation learning. It enables the identification of individual variability, recognition of the competence point, and guidance of timely educational interventions, thereby optimizing anesthesiology training.

Keywords: Endotracheal intubation; Pediatrics; Procedural learning; Anesthesiology; CUSUM.

PERSPECTIVA DEL EDITOR

¿Qué sabemos del tema?	¿Cuál es el aporte novedoso del artículo?
<ul style="list-style-type: none"> • La intubación endotraqueal pediátrica es una competencia esencial en anestesiología, directamente vinculada a la seguridad del paciente. • El aprendizaje procedimental presenta variabilidad entre médicos en formación y requiere métodos objetivos de evaluación. • El análisis de suma acumulativa (CUSUM) ha sido utilizado para evaluar curvas de aprendizaje en procedimientos anestésicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evalúa de manera objetiva el aprendizaje de la intubación endotraqueal pediátrica mediante CUSUM en un entorno clínico real. • Describe el número de intentos necesarios para alcanzar la competencia y la variabilidad interindividual entre residentes. • Aporta evidencia sobre la seguridad del proceso formativo bajo supervisión en anestesiología pediátrica.

Copyright © 2025. Publicado por Actas Peruanas de Anestesiología, en nombre de la Sociedad Peruana de Anestesia, Analgesia y Reanimación. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivadas 4.0 (CC BY-NC-ND), que permite descargar y compartir la obra siempre que se cite adecuadamente la obra original. La obra no puede modificarse de ninguna manera ni usarse con fines comerciales sin el permiso de la revista.

INTRODUCCIÓN

La adquisición de habilidades procedimentales es un componente esencial de la formación en anestesiología, especialmente en procedimientos críticos para la seguridad del paciente como la intubación endotraqueal en población pediátrica. En escenarios de emergencia y durante la anestesia general, asegurar una vía aérea permeable de forma rápida y eficaz resulta determinante para prevenir complicaciones.

El proceso de aprendizaje técnico en anestesia no depende únicamente de la exposición repetida a casos clínicos, sino que requiere de herramientas de evaluación objetivas, sensibles y continuas que permitan monitorizar el desempeño, identificar errores tempranos y documentar la progresión hacia la competencia clínica. Diversos autores han resaltado la importancia de establecer umbrales explícitos de competencia y de aplicar metodologías cuantitativas para evaluar el desempeño [1-5].

El método de Suma Acumulativa (CUSUM) ha demostrado ser un modelo estadístico adecuado para el seguimiento secuencial del rendimiento técnico. Basado en el principio de sumas acumuladas, permite detectar cambios sutiles y sostenidos en la probabilidad de éxito o fallo a lo largo de series de procedimientos, generando curvas de aprendizaje que representan la evolución individual en el tiempo [2,3]. Su aplicación en anestesiología ha permitido describir con precisión el número de intentos requeridos para alcanzar umbrales de competencia y reconocer desviaciones que requieren reforzamiento educativo [6,7].

Más allá del ámbito anglosajón, en Latinoamérica también se ha reportado la necesidad de implementar metodologías estandarizadas para el aseguramiento de la calidad formativa. Aguirre et al. aplicaron CUSUM en procedimientos básicos de anestesia, confirmando su utilidad en contextos regionales [8], mientras que Alfonso [14] propuso modelos de evaluación formativa aplicables a la formación de residentes. En conjunto, estas evidencias respaldan la incorporación de

estrategias objetivas y adaptadas a las realidades locales.

Con base en lo anterior, planteamos como objetivo principal desarrollar curvas de aprendizaje mediante el método CUSUM para la intubación endotraqueal en pacientes pediátricos y estimar el número de intentos requerido para alcanzar la competencia. Como objetivos secundarios, se buscó (i) describir la variabilidad interindividual en la adquisición de la habilidad, y (ii) identificar patrones de error susceptibles de intervención educativa. Estudios recientes han mostrado que la competencia puede alcanzarse con un rango de 15 a 20 intentos en procedimientos de vía aérea y ecocardiografía bajo el análisis CUSUM [15,16], reforzando la vigencia y aplicabilidad de esta metodología en la educación anestésica.

MÉTODOS

Diseño de investigación

Se realizó un estudio descriptivo, longitudinal y prospectivo en el Instituto Nacional de Salud del Niño, hospital pediátrico de referencia nacional de nivel terciario ubicado en Breña, Lima, Perú, que recibe pacientes de diversas regiones del país. La población estuvo conformada por médicos residentes de anestesiología de primer año que ingresaron al servicio y que, al inicio del estudio, no tenían experiencia previa en intubación endotraqueal pediátrica. El estudio se desarrolló entre mayo y julio de 2018, coincidiendo con la rotación académica en anestesiología de los residentes incluidos. Se incluyeron diez participantes, quienes efectuaron procedimientos de intubación endotraqueal en pacientes pediátricos programados para cirugías electivas o de emergencia.

El tamaño muestral correspondió a la totalidad de los residentes que cumplían los criterios de inclusión durante el periodo de estudio. No se establecieron criterios de exclusión adicionales y no se registraron pérdidas de participantes, lo que asegura la integridad del seguimiento.

Técnica y procedimiento

La técnica de observación directa fue empleada para el registro de los intentos. Cada participante realizó los procedimientos bajo supervisión docente continua, con un máximo de tres intentos por paciente. Previamente, los residentes recibieron instrucción teórica y audiovisual estructurada sobre el procedimiento, a fin de estandarizar la aproximación inicial y reducir la variabilidad interindividual.

La intubación se efectuó con el paciente en decúbito dorsal, con el participante ubicado en la cabecera. Se utilizaron laringoscopios Macintosh (hojas #1, #2 o #3, según la edad y características anatómicas del paciente) y tubos endotraqueales de calibre entre #3 y #6.5. Durante todo el procedimiento, la saturación de oxígeno se mantuvo por encima del 90%, monitorizada con oxímetro de pulso. La capnografía (curva de CO₂ en el monitor) fue utilizada como método estándar de confirmación de la correcta colocación del tubo endotraqueal.

La intervención del instructor se limitó a orientación verbal, sin asistencia manual directa, con el fin de no interferir en la ejecución autónoma del procedimiento. Los intentos fueron registrados en fichas de recolección de datos diseñadas para el estudio, consignando el resultado de cada procedimiento.

Las variables principales fueron: (i) número de intentos requeridos hasta alcanzar competencia, (ii) tasa de fallos acumulada por participante y (iii) cruce de los límites de decisión h_0 (desempeño aceptable) y h_1 (desempeño inaceptable) en las curvas CUSUM.

Criterios de éxito y fallo

- Éxito: colocación adecuada del tubo endotraqueal en la vía aérea, confirmada mediante curva de CO₂ en el monitor.
- Fallo: ausencia del criterio anterior.

Cada intento exitoso fue registrado con el valor “1”,

mientras que los fallidos recibieron el valor “0”, siempre bajo supervisión del instructor para garantizar la fiabilidad de los datos. Se intentó incluir todos los casos elegibles de cirugías electivas y de emergencia durante el periodo de estudio, a fin de reducir el sesgo de selección.

Procesamiento y análisis de datos

Los datos fueron procesados con el software Numbers 5.1 (Apple Inc.). Se calcularon las siguientes medidas:

- Media aritmética: definida como la suma de los valores dividida entre el número total de observaciones.
- Desviación estándar: medida de dispersión de los datos con respecto al valor promedio, utilizada para estimar la variabilidad en el desempeño entre participantes.
- Curvas CUSUM (Cumulative Sum): aplicadas como modelo estadístico para evaluar el porcentaje de éxito acumulado en la realización del procedimiento, considerando:
 - Errores tipo I y tipo II.
 - Probabilidad de fallo aceptable ($p_0 = 20\%$) e inaceptable ($p_1 = 40\%$), en concordancia con literatura previa y con la metodología de la tesis base.
 - Evolución del desempeño en función de cada intento registrado.

La elección de los parámetros p_0 y p_1 siguió criterios metodológicos previamente establecidos en estudios similares de aprendizaje procedimental en anestesia. Se definió una tasa de fallo aceptable ($p_0 = 20\%$) porque este valor representa el margen clínico considerado seguro para operadores novatos bajo supervisión directa, según lo propuesto por De Oliveira Filho y Komatsu et al (2,6). Asimismo, se estableció una tasa de fallo inaceptable ($p_1 = 40\%$) como umbral a partir del cual el desempeño puede comprometer la seguridad y justificar intervención educativa inmediata.

Las constantes estadísticas a , b , s y los límites h_0 y h_1 se calcularon con base en las fórmulas propuestas en la literatura clásica del método CUSUM, considerando los errores tipo I ($\alpha = 0.1$) y

tipo II ($\beta = 0.1$). Dichos valores permiten obtener límites simétricos que facilitan la interpretación del desempeño y aseguran una sensibilidad adecuada para detectar patrones de aprendizaje o desviaciones tempranas.

Este fue un análisis descriptivo; no se realizaron pruebas de hipótesis ni modelos de regresión. El uso de CUSUM se efectuó a nivel individual para monitorizar el desempeño secuencial por participante, con fines de evaluación formativa del aprendizaje, y no como criterio de certificación independiente. Los valores agrupados (p. ej., promedio de intentos) se reportan únicamente de forma descriptiva.

Presentación de resultados

Para la construcción de las curvas CUSUM se establecieron dos límites de decisión:

- h_0 (desempeño aceptable).
- h_1 (desempeño inaceptable).

El gráfico de aprendizaje inicia en valor cero y progresa en función de los resultados:

- Descenso: intento exitoso.
- Ascenso: intento fallido.
- Cruce de h_0 : evidencia de adquisición de la competencia, con tasa de fallos dentro de lo aceptable.
- Cruce de h_1 : desempeño inaceptable, que indica necesidad de reforzamiento educativo adicional.

Durante el estudio, no se registraron datos faltantes en las fichas de recolección, lo que asegura la completitud de la base de datos y la robustez del análisis.

RESULTADOS

Se evaluó el desempeño de diez médicos en formación, quienes en conjunto realizaron 593 procedimientos de intubación endotraqueal pediátrica. Todos los participantes eran residentes de primer año de anestesiología, sin experiencia previa en intubación pediátrica, lo que permitió homogeneizar la línea de base en cuanto a habilidades técnicas. No hubo exclusiones ni

pérdidas de participantes durante el estudio.

El análisis se llevó a cabo mediante el método de Suma Acumulativa (CUSUM), utilizado como herramienta estadística para determinar el proceso de adquisición del aprendizaje procedimental y el punto en que cada residente alcanzó la competencia. Los parámetros estadísticos empleados en la formulación de las curvas CUSUM, incluyendo probabilidades de éxito y fallo, constantes de decisión y límites de desempeño aceptable e inaceptable, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros estadísticos para la formulación de la suma acumulativa (CUSUM).

Parámetro	Valor calculado	Descripción
a	2.197	Constante del modelo CUSUM
b	2.197	Constante del modelo CUSUM
P	0.693	Probabilidad acumulada de éxito
Q	0.288	Probabilidad acumulada de fallo
s	0.293	Incremento CUSUM por fallo
1 - s	0.707	Incremento CUSUM por éxito
h_0	2.24	Límite de decisión inferior (competencia)
h_1	2.24	Límite de decisión superior (desempeño inaceptable)
Casos (p_0)	24	Número de casos requeridos para p_0
Casos (p_1)	20	Número de casos requeridos para p_1

Nota: a y b corresponden a constantes estadísticas del modelo CUSUM; P y Q representan las probabilidades acumuladas de éxito y fallo, respectivamente; s y 1 - s indican los incrementos CUSUM por fallo y éxito; h_0 y h_1 corresponden a los límites de decisión inferior (desempeño aceptable) y superior (desempeño inaceptable); p_0 y p_1 representan las tasas de fallo aceptable e inaceptable.

Debido a la simetría de los errores tipo I y tipo II ($\alpha = \beta = 0.1$) y a la relación establecida entre las probabilidades de fallo aceptable (p_0) e inaceptable (p_1), los límites de decisión h_0 y h_1 resultaron numéricamente iguales, diferenciándose únicamente por su interpretación clínica.

El número de intentos necesarios para alcanzar el punto de competencia (cruce de la línea de decisión inferior h_0) varió entre los participantes, con un rango de 28 a 70 intentos, lo que refleja la variabilidad en la velocidad de adquisición de la

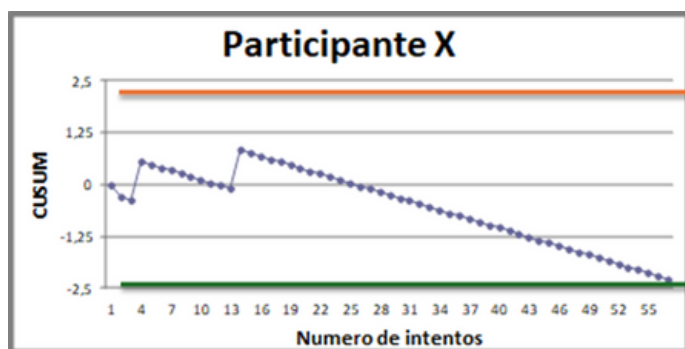
habilidad.

- Las curvas de aprendizaje individuales construidas mediante el análisis CUSUM evidenciaron que:
- Algunos participantes alcanzaron la competencia sin registrar fallos previos.
- Otros necesitaron hasta tres fallos antes de lograr la curva descendente indicativa de aprendizaje.
- Ninguno de los participantes alcanzó la línea de decisión superior h_1 , la cual representa un desempeño inaceptable.

En términos de tasa de fallos, los participantes presentaron un rango de 0% a 4.3%. El desempeño más destacado correspondió a un residente que logró la competencia en 28 intentos sin fallas. En contraste, los residentes con mayor porcentaje de errores (hasta 4.3%) requirieron más repeticiones (hasta 70 intentos) para consolidar la técnica.

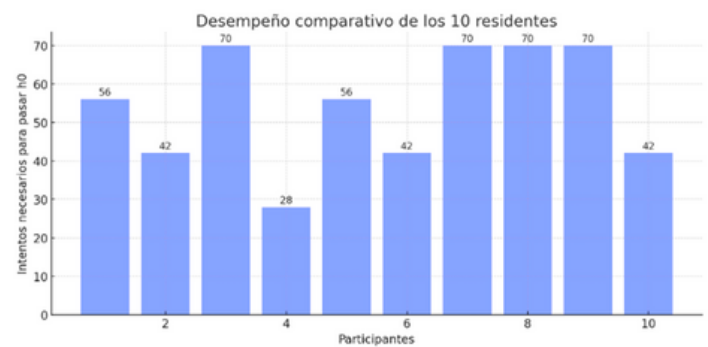
Un ejemplo de curva de aprendizaje individual obtenida con el método CUSUM se muestra en la Figura 1 y el desempeño comparativo entre los residentes puede observarse en la Figura 2.

Figura 1. Ejemplo de curva CUSUM obtenida por uno de los participantes.



Nota: La línea azul discontinua representa la evolución del desempeño acumulado en función del número de intentos. Los descensos indican intentos exitosos y los ascensos, fallidos. La línea verde (h_0) corresponde al límite de desempeño aceptable y la línea naranja (h_1) al límite de desempeño inaceptable. El cruce de h_0 indica la adquisición de la competencia.

Figura 2. Desempeño comparativo entre los 10 residentes.



Nota: Se muestra el número de intentos necesarios para alcanzar la competencia (cruce del límite h_0) según el análisis CUSUM para cada participante. La variabilidad interindividual osciló entre 28 y 70 intentos.

DISCUSIÓN

El presente estudio mostró que el número de intentos necesarios para alcanzar la competencia en intubación endotraqueal pediátrica mediante el método CUSUM varió entre 28 y 70 procedimientos en los médicos en formación. Esta variabilidad confirma lo descrito previamente en la literatura, donde se ha documentado que el ritmo de adquisición de destrezas anestésicas difiere entre individuos aún bajo condiciones de entrenamiento similares [1,2].

Cai et al. (2023) observaron que los residentes alcanzaron la competencia en intubación broncoscópica en aproximadamente 15 intentos [15], mientras que Sawasdiwipachai et al. (2022) identificaron un rango de 18–20 intentos para ecocardiografía transesofágica. De manera complementaria, Narayanasamy et al. [16] validaron la factibilidad del CUSUM en la evaluación de habilidades técnicas en anestesia pediátrica, lo que coincide con la utilidad demostrada en nuestro estudio [17].

Las diferencias observadas en el número de intentos respecto a otros estudios pueden explicarse por el uso de escenarios clínicos reales en población pediátrica, la ausencia de entrenamiento previo en simulación de alta fidelidad y la adopción de un umbral conservador de fallo aceptable,

orientado a la seguridad del paciente.

De igual manera, se evidenció que algunos participantes alcanzaron la competencia sin registrar fallos, mientras que otros presentaron hasta tres fallos antes de consolidar la técnica. Resultados comparables fueron reportados por Bouchacourt et al. [3], quienes aplicaron CUSUM al aprendizaje de intubación orotraqueal y resaltaron su utilidad para identificar desviaciones tempranas y orientar intervenciones educativas. De manera concordante, Komatsu et al. [6] observaron que la mayoría de residentes logra desempeños aceptables en ventilación con mascarilla e intubación antes de superar tasas críticas de fallos.

La aplicación de CUSUM en escenarios de simulación también ha demostrado utilidad. Alyousef et al. [7] emplearon este método en cursos de manejo de vía aérea pediátrica, evidenciando su valor para el monitoreo secuencial del progreso en residentes. En Latinoamérica, Aguirre et al. [8] reportaron hallazgos similares en procedimientos básicos de anestesia, reforzando la pertinencia de esta metodología en contextos de formación regional.

Nuestros hallazgos también coinciden con los de Delfino et al. [9], quienes identificaron una correlación positiva entre la evaluación de docentes y residentes durante intubaciones, subrayando la importancia de la supervisión experta en la adquisición de competencias. Por su parte, estudios de simulación clínica realizados en Chile y España (Max Andresen et al. [10], Rábago et al. [11]) confirmaron que herramientas objetivas como CUSUM permiten mejorar la eficiencia del aprendizaje y detectar patrones de error que requieren reforzamiento inmediato.

Más allá de los entornos clínicos y de simulación, la literatura destaca la necesidad de una formación estructurada y estandarizada en manejo de la vía aérea. Revisiones como las de Goldman y Mulvey [12] y Stringer et al. [13] subrayan que la integración de programas con objetivos definidos, retroalimentación inmediata y métricas objetivas resulta fundamental para garantizar la seguridad

del paciente y la calidad docente. En este sentido, la propuesta de Alfonso [14] para el uso de evaluaciones formativas en residentes se alinea con la recomendación de incorporar métodos como CUSUM en programas de educación médica.

Limitaciones:

Este estudio contó con un número reducido de participantes y se desarrolló en un único centro, lo cual limita la generalización de los hallazgos. Otra limitación potencial fue el sesgo de observador, dado que los residentes registraron sus propios intentos, aunque bajo supervisión docente. Por otra parte, no se realizó un análisis diferenciado según el tipo de cirugía (electiva o de emergencia), lo que pudo influir en la percepción de dificultad.

Aunque el estudio no involucró intervención directa sobre pacientes, la institución contaba con lineamientos internos para proyectos educativos y de evaluación de desempeño. El protocolo fue revisado y autorizado por la coordinación académica del Departamento de Anestesiología, conforme a las normas institucionales vigentes al momento del estudio. De acuerdo con la normativa institucional vigente al momento del estudio, no se requirió la evaluación por un comité de ética en investigación independiente, dado que el trabajo correspondió a una evaluación educativa del desempeño de médicos residentes, sin intervención clínica adicional ni modificación del manejo habitual de los pacientes.

Implicancias

A pesar de las limitaciones señaladas, este estudio aporta evidencia sólida sobre la utilidad del análisis CUSUM como herramienta práctica y accesible para la evaluación del aprendizaje procedimental en anestesiología pediátrica. Su implementación en programas de formación clínica y en escenarios de simulación puede contribuir a un monitoreo más objetivo y continuo del desempeño de los residentes, facilitando la detección temprana de necesidades de reforzamiento y promoviendo una enseñanza más segura y eficiente.

No obstante, la generalización de los hallazgos debe realizarse con cautela, dado que corresponden a un único centro de referencia pediátrica en Lima.

Futuros estudios multicéntricos, con mayor tamaño muestral y diversidad de contextos, serán fundamentales para confirmar la validez externa de los resultados y establecer recomendaciones aplicables de manera más amplia en la formación de anestesiólogos. Además, revisiones recientes destacan el papel de la simulación avanzada y de herramientas digitales emergentes como estrategias complementarias en la enseñanza anestésica, lo que abre la posibilidad de integrarlas con modelos estadísticos como CUSUM para fortalecer los programas formativos.

En concordancia con las recomendaciones actuales en educación médica, futuras revisiones deberán incorporar evidencia emergente sobre análisis de desempeño, simulación avanzada y métodos de evaluación asistidos por inteligencia artificial, cuya literatura ha crecido significativamente en los últimos años (2020–2025). La actualización permanente de estos marcos teóricos fortalecerá la aplicabilidad del CUSUM en programas modernos de formación anestésica (18).

CONCLUSIONES

El método CUSUM demostró ser una herramienta eficaz y accesible para evaluar el aprendizaje procedimental en anestesiología pediátrica en médicos en formación. En este estudio, permitió monitorizar en tiempo real el desempeño durante la intubación endotraqueal pediátrica, identificar la tasa de fallos y reconocer el momento en que cada participante alcanzó la competencia.

Se encontró que el número promedio de intentos necesarios para adquirir la habilidad fue de 55 procedimientos (± 15.4), con un rango entre 28 y 70, lo cual refleja variabilidad interindividual en la velocidad de aprendizaje. Ninguno de los participantes alcanzó la línea de desempeño inaceptable, lo que indica que, bajo supervisión, el riesgo clínico se mantuvo controlado.

A partir de estos hallazgos, se recomienda que la enseñanza de la intubación pediátrica incorpore: una sólida formación teórica previa, registros supervisados del desempeño por parte de un experto, y retroalimentación inmediata durante la

práctica clínica. Además, futuros estudios multicéntricos con un mayor número de participantes permitirán validar y generalizar estos resultados, fortaleciendo la implementación del CUSUM como herramienta docente y de aseguramiento de la calidad en anestesiología.

Futuras líneas de investigación deberían explorar: (i) la integración de CUSUM con plataformas de simulación de alta fidelidad, (ii) la comparación entre simulación y práctica clínica real en la adquisición de habilidades, (iii) la incorporación de algoritmos de inteligencia artificial para detectar patrones de error, y (iv) estudios multicéntricos que permitan establecer estándares internacionales de competencia en intubación pediátrica.

DECLARACIONES

Financiamiento

El presente estudio no recibió ningún tipo de financiamiento externo ni institucional.

Aprobación ética

El trabajo se realizó como parte de la tesis de Maestría en Docencia Universitaria del autor principal. Dado que el estudio se basó en la evaluación del desempeño de médicos residentes y no involucró intervención clínica adicional ni manipulación experimental de pacientes, se desarrolló conforme a los lineamientos éticos institucionales vigentes en ese momento. En consecuencia, no se requirió evaluación por un comité de ética en investigación independiente.

Consentimiento informado

Todos los médicos residentes que participaron en el estudio otorgaron su consentimiento informado por escrito antes de iniciar la recolección de datos. La información fue utilizada exclusivamente con fines académicos y de investigación, garantizándose en todo momento la confidencialidad de los datos individuales.

Conflictos de interés

El autor declara no tener conflictos de interés

relacionados con la realización de este estudio.

Disponibilidad de datos

Los datos utilizados en el presente estudio están disponibles a solicitud razonable al autor correspondiente, en cumplimiento de las normas institucionales de confidencialidad.

Contribuciones de Autoría

Gunther Dick Miranda Sobrino participó en la concepción y diseño del estudio, la recolección de datos, el análisis estadístico y la redacción del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Konrad C, Schüpfer G, Wietlisbach M, Gerber H. Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures? *Anesth Analg.* 1998;86(3):635-9. doi:10.1097/0000539-199803000-00037.
2. De Oliveira Filho GR. The construction of learning curves for basic skills in anesthetic procedures: An application for the cumulative sum method. *Anesth Analg.* 2002;95(2):411-6. doi:10.1097/0000539-200208000-00033.
3. Bouchacourt JP, Raphaël JC, Veyrac P. Evaluación del aprendizaje de la intubación orotraqueal mediante el método de la suma acumulativa (CUSUM). *Rev Esp Anestesiol Reanim.* 2007;54(6):349-54. PMID:17695945.
4. Kestin IG. A statistical approach to measuring the competence of anaesthetic trainees at practical procedures. *Br J Anaesth.* 1995;75(6):805-9. doi:10.1093/bja/75.6.805.
5. Kopacz DJ, Neal JM, Pollock JE. The regional anesthesia "learning curve": What is the minimum number of epidural and spinal blocks to reach consistency? *Reg Anesth.* 1996;21(3):182-90. PMID:8744658.
6. Komatsu R, Kasuya Y, Yogo H, et al. Learning curves for bag-mask ventilation and orotracheal intubation: Anesthesiology training using cumulative sum analysis. *Anesthesiology.* 2010;112(6):1525-31. doi:10.1097/ALN.0b013e3181d94c54.
7. Alyousef S, Leong S, Alsaeed O, et al. Cumulative evaluation data: Pediatric airway management simulation courses for pediatric residents. *Adv Simul (Lond).* 2017;2:11. doi:10.1186/s41077-017-0044-3.
8. Aguirre O, Mora M, Díaz A. Curvas de aprendizaje de sumatoria acumulada (CUSUM) en procedimientos básicos de anestesia. *Rev Colomb Anestesiol.* 2014;42(3):142-53. doi:10.1016/j.rca.2014.04.001.
9. Delfino A, Corvetto M, Echeverría G, Altermatt F, et al. Nivel de correlación en la evaluación de la intubación traqueal efectuada por anesthesiólogos docentes y residentes de anestesiología. *Rev Fund Educ Med.* 2016;19(2):85-91.
10. Max Andresen A, Hasbún P, Díaz C, Montaña R, Reguera T. Evaluación de competencias de intubación traqueal mediante un escenario simulado en internos de medicina. *Rev Med Chil.* 2011;139(2):165-70. doi:10.4067/S0034-98872011000200005.
11. Rábago JL, Cobo E, González-García E, et al. Evaluación de los resultados de aprendizaje de un curso de introducción a la anestesiología basado en simulación clínica. *Rev Esp Anestesiol Reanim.* 2017;64(8):431-40. doi:10.1016/j.redar.2016.12.008.
12. Goldman K, Mulvey D. Education and training in airway management. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2005;19(4):717-32. doi:10.1016/j.bpa.2005.08.006.
13. Stringer KR, Bajenov S, Yentis SM. Training in airway management. *Anaesthesia.* 2002;57(10):967-73. doi:10.1046/j.1365-2044.2002.02764.x.
14. Alfonso G. Propuesta de evaluación formativa para el desarrollo de competencias profesionales de médicos residentes sobre el cateterismo venoso central [Tesis de Maestría en Educación]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2017.
15. Cai Q, Zhou Y, Lu H, et al. Learning curve of tracheal intubation with bronchoscope in anesthesiology residents: a cumulative sum analysis. *PLoS One.* 2023;18(7):e0288617. doi:10.1371/journal.pone.0288617.
16. Sawasdiwipachai P, Tanpowpong N,

- Lapitatepun W, et al. Learning curve for basic transesophageal echocardiography skills among anesthesiology residents using cumulative sum analysis. *BMC Med Educ.* 2022;22:576. doi:10.1186/s12909-022-03280-3.
17. Narayanasamy S, Bhananker SM, Zafirova Z, et al. Learning curve for ultrasound-guided peripheral venous access in pediatric anesthesia fellows: application of cumulative sum (CUSUM) analysis. *Can J Anesth.* 2022;69(2):200–209. doi:10.1007/s12630-021-02149-1.
18. Satapathy AR, Choupoo NS, Kumar P, et al. Simulation, artificial intelligence, and advanced educational tools in anesthesiology training: a narrative review. *J Clin Med.* 2025;14(1):67. doi:10.3390/jcm14010067.