



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

WEB PARA LA ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTOS DEL SISTEMA AUTÓNOMO

Annier Jesús Fajardo Quesada ¹, Zaily Fuentes Díaz ², Eduardo Antonio Hernández González³

¹ Universidad de Ciencias Médicas de Granma, <https://orcid.org/0000-0002-2071-3716>.

² Hospital Provincial Docente de Oncología María Curie, Servicio de Anestesiología y Reanimación, <https://orcid.org/0000-0002-6410-869X>.

³ Universidad de Ciencias Médicas Pinar del Río, <https://orcid.org/0000-0001-7325-6099>.

❖ annierfq01@gmail.com

Resumen:

Introducción: El sistema nervioso autónomo constituye un componente fundamental del currículo médico, cuya complejidad fisiológica y clínica demanda estrategias educativas innovadoras. La evidencia sobre la efectividad de recursos digitales interactivos en la enseñanza de neurociencias mediante diseños de cohorte prospectivos permanece limitada y requiere validación rigurosa. **Objetivo:** Evaluar la efectividad de un sitio web interactivo ("SNA Web") para la adquisición de conocimientos sobre el sistema nervioso autónomo en estudiantes de tercer año de Medicina. **Métodos:** Estudio de cohorte prospectivo, antes-después, con un solo grupo (n=95), conforme a lineamientos STROBE. Se evaluó conocimiento basal con escala validada de 18 ítems (puntuación 2-5 por ítem, rango total 36-90), se aplicó el instrumento web durante 48 horas, y se evaluó post-intervención. El análisis primario utilizó prueba de Wilcoxon apareada con tamaño del efecto d de Cohen. **Resultados:** El 93.7% de los participantes mejoró sus puntuaciones tras la intervención. La ganancia media de conocimiento fue de 7.82 puntos (DE=4.75), con un tamaño del efecto muy grande (d Cohen apareado=1.65; IC95%: 1.34-1.96; p<0.001). El modelo de regresión ajustado confirmó el efecto independiente del instrumento (R²ajustado=0.76). Los estudiantes con conocimiento previo bajo obtuvieron mayor ganancia absoluta (9.65 puntos) que los de nivel alto (3.60 puntos), aunque todos los estratos mejoraron significativamente. La satisfacción fue alta (mediana=4; 71.6% satisfechos o muy satisfechos). **Conclusiones:** El sitio web interactivo demostró efectividad muy grande para la adquisición de conocimientos sobre el sistema nervioso autónomo, con efecto consistente independientemente del nivel basal y alta satisfacción estudiantil.



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

Palabras clave: educación médica, sistema nervioso autónomo, estudio de cohorte, efectividad educativa, tecnología educativa.

Introducción:

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA) constituye un componente esencial del currículo de ciencias básicas en la formación médica, dado su papel crucial en la regulación involuntaria de las funciones viscerales, cardiovasculares, respiratorias y endocrinas, así como su implicación en patologías prevalentes como la hipertensión arterial, las arritmias cardíacas y los trastornos gastrointestinales funcionales.(1) Su estudio, que abarca desde la neuroanatomía de sus vías eferentes hasta la compleja integración fisiológica de las divisiones simpática, parasimpática y entérica, presenta desafíos pedagógicos significativos derivados de la naturaleza abstracta de los conceptos neurofisiológicos, la complejidad de las interacciones receptor-neurotransmisor, y la dificultad de visualizar estructuras anatómicas tridimensionales mediante métodos tradicionales bidimensionales.(2,3)

La educación médica contemporánea atraviesa una transformación digital acelerada, impulsada por la necesidad de integrar metodologías activas que respondan a los perfiles de aprendizaje de las generaciones actuales, caracterizadas por su familiaridad con entornos tecnológicos interactivos.(4) Los recursos educativos basados en web emergen como herramientas prometedoras al ofrecer plataformas que integran múltiples formatos: texto hipertextual, infografías dinámicas, diagramas anatómicos interactivos con capacidad de visualización por capas, animaciones de fenómenos fisiológicos como el barorreflejo, y módulos de autoevaluación con retroalimentación inmediata.(5) Estas características permiten al estudiante navegar el contenido a su propio ritmo, profundizar repetidamente en áreas complejas como la farmacología de los receptores adrenérgicos y colinérgicos, y recibir retroalimentación formativa instantánea, elementos que la teoría del aprendizaje multimedia identifica como potenciadores de la adquisición y retención del conocimiento.(6,7)

A pesar del potencial teórico de estas tecnologías, la evidencia empírica sobre su efectividad pedagógica en áreas específicas de las ciencias básicas médicas como la neurofisiología sigue siendo fragmentaria y metodológicamente heterogénea. Los diseños de investigación predominantes han sido principalmente descriptivos o cuasiexperimentales sin grupos de comparación, limitando la capacidad de atribución causal de los efectos observados.(8) Los



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

metaanálisis disponibles han reportado efectos positivos de las intervenciones digitales cuando se comparan con la ausencia de intervención ($d=0.68$), pero evidencia proveniente de diseños de cohorte prospectivos con evaluación sistemática antes-después permanece escasa, particularmente para temas que requieren alta carga de visualización espacial y comprensión de sistemas complejos como el SNA.(9,10) El presente estudio tiene como objetivo evaluar la efectividad de un sitio web interactivo ("SNA Web") para la adquisición de conocimientos sobre el sistema nervioso autónomo en estudiantes de tercer año de Medicina.

Metodología:

Diseño del estudio

Se realizó un estudio de cohorte prospectivo, antes-después (before-after), con un solo grupo de participantes, conforme a los lineamientos STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) para estudios observacionales.(11) Este diseño permite evaluar el cambio en el conocimiento atribuible a la exposición al instrumento educativo mediante comparación intra-sujeto entre mediciones basal y post-intervención. El estudio se desarrolló en la Facultad de Ciencias Médicas de Bayamo durante el período marzo-junio de 2024.

Población y muestra

La población diana fueron estudiantes de tercer año de Medicina matriculados en el curso académico 2024. Los criterios de inclusión fueron: no haber recibido formación previa específica en sistema nervioso autónomo fuera del currículo formal; disponibilidad de dispositivo con acceso a internet durante el período de intervención; y aceptación de participar mediante consentimiento informado escrito. El tamaño muestral se calculó considerando un diseño de medidas repetidas (antes-después) con una sola cohorte. Asumiendo un tamaño del efecto esperado de $d=0.80$ (grande), potencia estadística del 80% ($\beta=0.20$), nivel de significación del 5% ($\alpha=0.05$) bilateral, y una correlación esperada de 0.6 entre mediciones pre y post, se obtuvo un tamaño de 82 participantes. Se incrementó a 95 para compensar posibles pérdidas (tasa de abandono estimada del 15%).

Intervención: Desarrollo del sitio web interactivo



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

Se diseñó e implementó una plataforma web educativa denominada "SNA Web", accesible mediante credenciales institucionales con autenticación. El desarrollo siguió rigurosamente el modelo ADDIE (Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación, Evaluación) para recursos educativos digitales, reconocido por su sistematicidad en el diseño instruccional.(12)

Los contenidos fueron estructurados en cinco módulos temáticos secuenciales: (1) Fundamentos anatómicos: vías eferentes, ganglios y plexos; (2) Neurotransmisión: acetilcolina, norepinefrina y receptores específicos; (3) Fisiología integrada: reflejos autónomos (barorreflejo, reflejo de la micción, reflejos pupilares); (4) Farmacología clínica: agonistas, antagonistas y moduladores del SNA; (5) Aplicaciones clínicas: estratificación de riesgo cardiovascular, disautonomías y casos integrados.

Cada módulo incorporó: texto estructurado con hipervínculos contextuales a recursos complementarios; diagramas anatómicos interactivos con funcionalidad de visualización por capas (permitiendo aislar divisiones simpática/parasimpática); animaciones de fenómenos fisiológicos dinámicos; galería histológica con tinciones específicas; y preguntas de autoevaluación formativa con retroalimentación inmediata explicativa. La plataforma registró automáticamente el tiempo de navegación mediante analíticas de aprendizaje integradas.

Previamente a la implementación, el recurso fue sometido a prueba piloto de usabilidad con 10 estudiantes de características similares a la población de estudio, quienes evaluaron la navegabilidad mediante el System Usability Scale (SUS), obteniendo una puntuación media de 82.3 (DE=8.4; rango 0-100), indicativa de excelente usabilidad según criterios establecidos (SUS>80).(13)

Variables e instrumentos

Variable principal: Cambio en el puntaje de conocimiento sobre fisiología y clínica del sistema nervioso autónomo, medido como la diferencia entre puntuación post-intervención y puntuación basal (ganancia de conocimiento), analizado mediante prueba de Wilcoxon apareada debido a la distribución no normal de las diferencias.

Variables secundarias: (a) Puntuación post-intervención ajustada por puntuación basal, edad, sexo y nivel de conocimiento previo, analizada mediante modelo de regresión lineal múltiple; (b) Tiempo de exposición al recurso (minutos) registrado automáticamente por la plataforma;



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

(c) Satisfacción percibida con la metodología educativa, medida mediante escala Likert de 5 puntos ordinal (1=muy insatisfecho, 2=insatisfecho, 3=neutral, 4=satisfecho, 5=muy satisfecho) adaptada del cuestionario validado en educación médica por Araújo et al.:(14) (d) Análisis de subgrupos según nivel de conocimiento previo estratificado en tres categorías (bajo, medio, alto) basado en terciles de la distribución basal; (e) Correlación entre tiempo de exposición y ganancia de conocimiento.

Instrumento de medición: Se elaboró una batería de evaluación compuesta por 18 ítems que evaluaron conocimientos sobre fisiología y clínica del sistema nervioso autónomo. Cada ítem utilizó una escala de respuesta de 4 puntos (2=conocimiento insuficiente, 3=conocimiento básico, 4=conocimiento adecuado, 5=conocimiento avanzado), con un puntaje total teórico que oscilaba entre 36 y 90 puntos. Los ítems evaluaron tres niveles cognitivos según taxonomía de Bloom modificada: recordar (22%), comprender (33%) y aplicar (45%), priorizando la aplicación clínica.

El proceso de validación psicométrica incluyó: (a) validez de contenido mediante juicio de tres expertos en neurofisiología y neurología clínica (médicos con más de 10 años de experiencia), utilizando técnica Delphi en dos rondas para alcanzar consenso (índice de validez de contenido [IVC] ≥ 0.85 para todos los ítems); (b) validez de constructo mediante análisis factorial exploratorio en prueba piloto ($n=30$), que confirmó estructura unidimensional (varianza explicada 58.4%, $KMO=0.82$); (c) confiabilidad mediante consistencia interna (alfa de Cronbach=0.84); (d) análisis de ítems para obtener índices de dificultad entre 0.3 y 0.7 (media=0.52, $DE=0.11$). Se elaboraron dos formas equivalentes (Test A y Test B) para evaluación basal y post-intervención, con correlación de equivalencia $r=0.87$ ($p<0.001$).

Procedimiento

El estudio se desarrolló en tres fases secuenciales claramente definidas:

Fase 1 (reclutamiento y evaluación basal): Se realizó una sesión informativa colectiva con todos los estudiantes de tercer año ($N=245$), explicando objetivos científicos, procedimientos metodológicos, garantías de confidencialidad, voluntariedad de la participación y derecho a retirarse sin penalización académica. Los estudiantes interesados en participar ($n=112$) proporcionaron consentimiento informado escrito y completaron la evaluación basal presencial en aula habilitada con condiciones controladas, utilizando Test A o B asignado aleatoriamente



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

por sorteo computarizado, con duración máxima de 45 minutos y supervisión de investigadores entrenados. Simultáneamente se aplicó cuestionario sociodemográfico estructurado.

Fase 2 (intervención): Inmediatamente después de la evaluación basal, todos los participantes (n=95 que cumplieron criterios) recibieron credenciales de acceso individuales a "SNA Web", con instrucciones estandarizadas de navegar libremente durante 48 horas (acceso disponible 24/7 desde cualquier dispositivo con conexión). No se impusieron restricciones de tiempo mínimo ni máximo de uso, permitiendo autorregulación del aprendizaje.

Fase 3 (evaluación post-intervención): Transcurridas exactamente 48 horas desde la evaluación basal, todos los participantes completaron la segunda evaluación (Test B o A, según diseño cruzado contrabalanceado), en idénticas condiciones controladas que la basal, con supervisión de evaluadores cegados a las puntuaciones basales. Inmediatamente después se aplicó el cuestionario de satisfacción en formato anónimo auto-administrado.

Análisis estadístico

Los análisis se realizaron con software R versión 4.5.0. Se verificó la normalidad de las variables mediante prueba de Shapiro-Wilk. Las características descriptivas se presentaron como $\text{media} \pm \text{DE}$, mediana y rangos intercuartílicos según distribución.

Aspectos éticos

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Medicina. Se cumplieron estrictamente los principios de la Declaración de Helsinki (Fortaleza, 2013) y normativa nacional vigente sobre investigación en seres humanos. Todos los participantes otorgaron consentimiento informado escrito después de sesión informativa, con garantía explícita de confidencialidad de los datos personales.

Resultados:

Características de la población de estudio

Se reclutaron 112 estudiantes de tercer año de Medicina, de los cuales 95 cumplieron criterios de elegibilidad y completaron todas las fases del estudio. No se registraron pérdidas durante el seguimiento ni desviaciones protocolarias, por lo que el análisis incluyó la totalidad de los participantes reclutados (n=95, 100%).



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

La edad media de los participantes fue de 21.3 años (DE=1.8; rango: 17-25 años; mediana=21). El 61.1% (n=58) fueron mujeres y el 38.9% (n=37) hombres. En cuanto al nivel de conocimiento previo sobre fisiología y clínica del sistema nervioso autónomo, el 50.5% (n=48) presentó nivel bajo, el 38.9% (n=37) nivel medio, y el 10.5% (n=10) nivel alto, según estratificación por terciles de la distribución basal.

Tabla 1. Características sociodemográficas y de conocimiento previo de los participantes (n=95)

Característica	n (%) o Media \pm DE
Edad (años)	
Media \pm DE	21.3 \pm 1.8
Mediana (rango)	21 (17-25)
Sexo	
Femenino	58 (61.1)
Masculino	37 (38.9)
Nivel de conocimiento previo	
Bajo (<percentil 33)	48 (50.5)
Medio (percentil 33-66)	37 (38.9)
Alto (>percentil 66)	10 (10.5)
Puntaje basal total (0-100)	
Media \pm DE	53.40 \pm 8.70
Mediana (RIC)	52.0 (48.0-58.5)
Rango	37-77

DE: desviación estándar; RIC: rango intercuartílico.

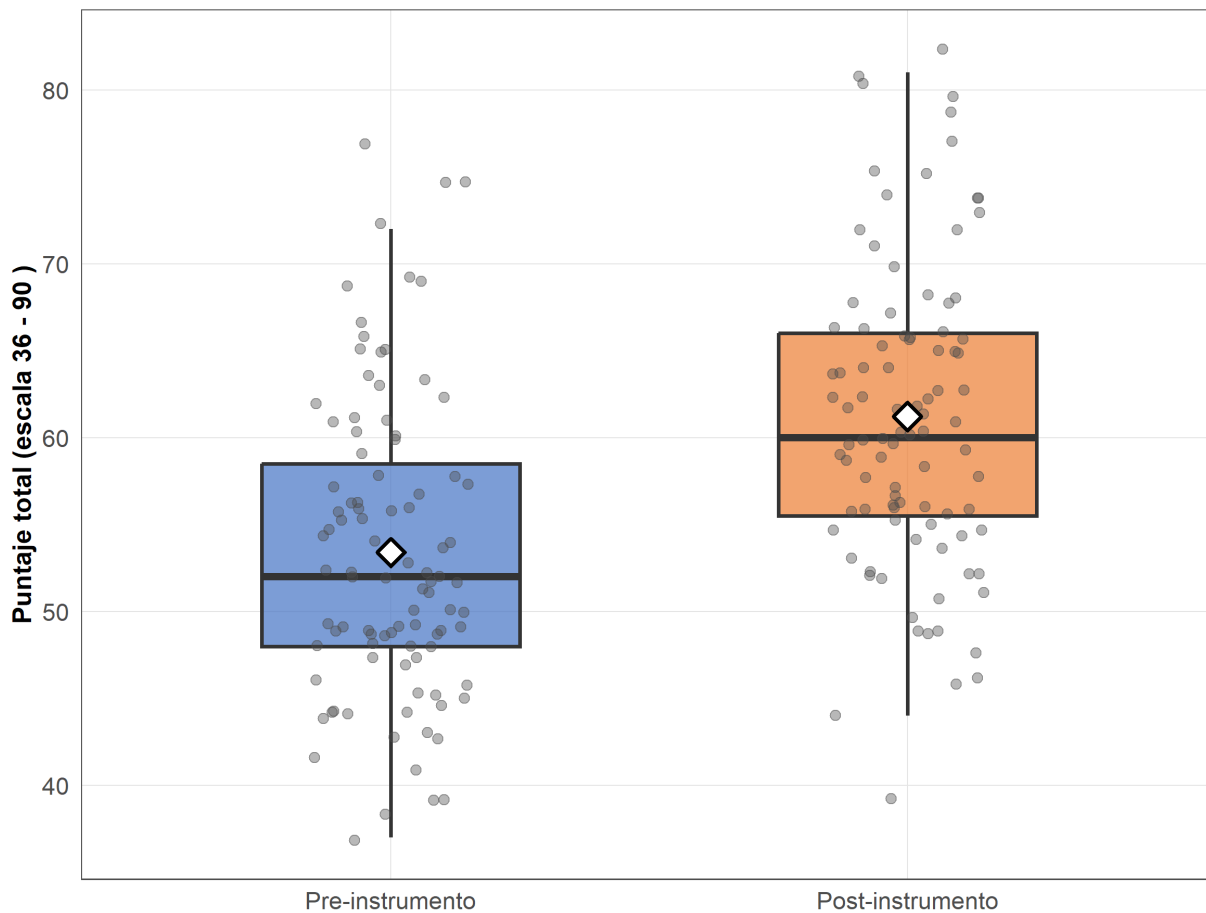
Efectividad del instrumento sobre el conocimiento

El análisis descriptivo reveló una mejora sustancial en las puntuaciones tras la exposición al sitio web interactivo. La puntuación media basal fue de 53.40 \pm 8.70 puntos, incrementándose a 61.22 \pm 8.82 puntos en la evaluación post-intervención. La ganancia media de conocimiento fue de **7.82 puntos** (DE=4.75; mediana=8.0; RIC: 4.5-10.5), representando un incremento porcentual del 14.6% respecto al puntaje basal.

Crucialmente, el 93.7% (n=89) de los participantes mejoró sus puntuaciones tras la intervención, el 6.3% (n=6) mantuvo puntuaciones idénticas, y ningún participante (0%) experimentó deterioro en el conocimiento.

Puntaje de conocimiento antes y después del instrumento Sistema Nervioso Autonomo

Ganancia media = $7.82 \pm DE = 4.75$ | $d = 1.65$ | $p < 0.001$



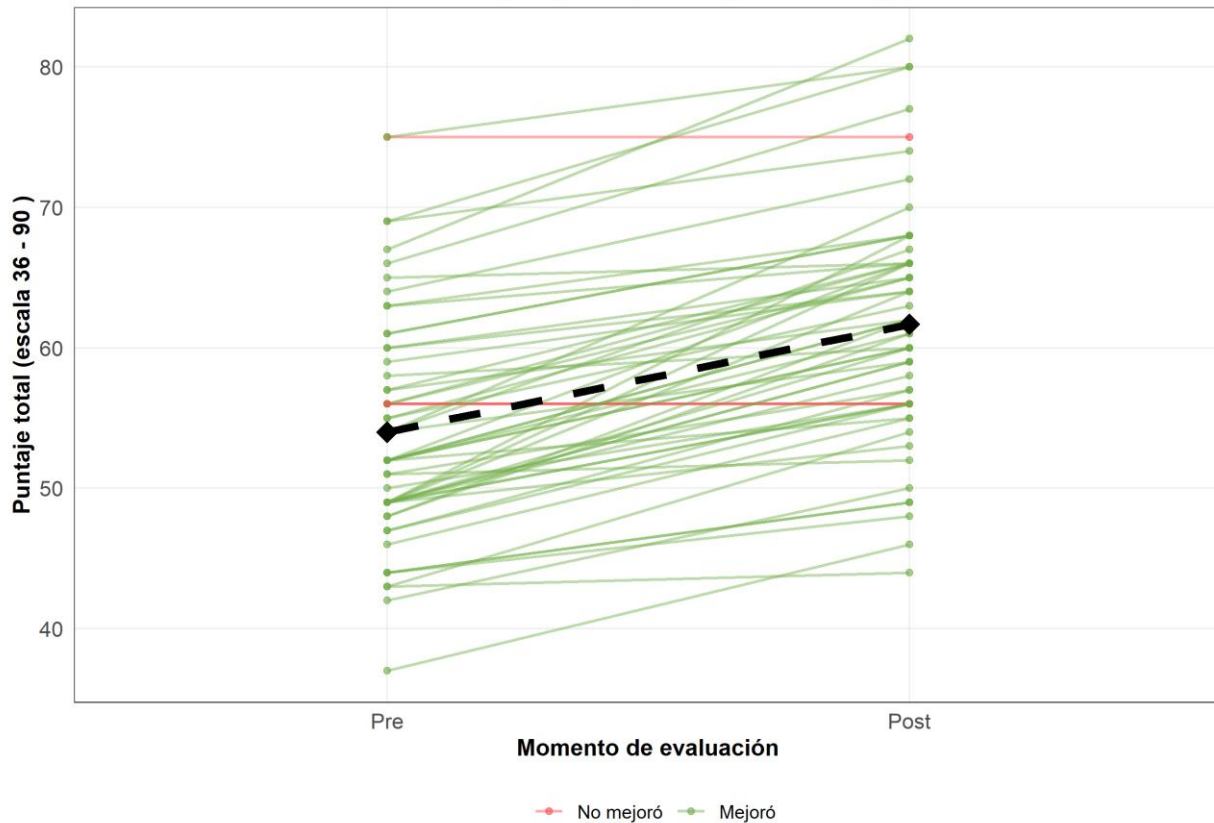
Rombo blanco = media. N = 95 participantes. estudiantes de Medicina de tercer año

Figura 1. Distribución de las puntuaciones pre y post-intervención. La figura muestra diagramas de caja paralelos con puntos individuales conectados para ilustrar el cambio intra-sujeto. Se observa desplazamiento sistemático hacia valores superiores post-intervención.

El análisis inferencial mediante prueba de Wilcoxon apareada confirmó que el incremento en el conocimiento fue estadísticamente significativo ($V=4005$; $p<0.001$). El tamaño del efecto estandarizado, calculado mediante d de Cohen apareado, fue de **1.65** (IC95%: 1.34-1.96).

Cambio individual en puntaje de conocimiento - Sistema Nervioso Autonomo

Muestra de 60 participantes | Línea negra = media del grupo



Verde = mejoró | Rojo = no mejoró. sitio web interactivo sobre sistema nervioso autónomo

Figura 2. Cambio individual en las puntuaciones de conocimiento. Cada línea representa la trayectoria de un participante desde la evaluación basal hasta la post-intervención, evidenciando la consistencia direccional del efecto (mejoría en 93.7% de los casos).

Análisis de regresión ajustado

El modelo de regresión lineal múltiple, que incluyó puntuación basal, nivel de conocimiento previo, edad y sexo como variables independientes, explicó el 77.1% de la varianza en la puntuación post-intervención ($R^2_{ajustado}=0.758$; $F(5,89)=59.81$; $p<0.001$). El coeficiente de regresión para la puntuación basal fue $\beta=1.128$ ($EE=0.084$; $p<0.001$), indicando que por cada punto adicional en la evaluación inicial, la puntuación final aumenta 1.13 puntos, controlando por las demás variables.

Los participantes con nivel de conocimiento previo medio obtuvieron puntuaciones post-intervención 4.30 puntos menores ($\beta=-4.30$; $p=0.001$) que los de nivel bajo (categoría de



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

referencia), y los de nivel alto 8.64 puntos menores ($\beta=-8.64$; $p<0.001$), reflejando el fenómeno de techo (ceiling effect) en los participantes con mayor conocimiento basal. Ni la edad ($\beta=-0.008$; $p=0.973$) ni el sexo ($\beta=0.22$; $p=0.809$) mostraron efectos significativos sobre la puntuación post-intervención.

Tabla 2. Modelo de regresión lineal múltiple para predicción de puntuación post-intervención

Variable	β (coeficiente)	EE	t	p-valor	IC95%
Intercepto	3.60	6.78	0.53	0.597	-9.87, 17.07
Puntaje basal	1.128	0.084	13.48	<0.001	0.962, 1.295
Nivel conocimiento previo (ref: Bajo)					
- Medio	-4.30	1.27	-3.39	0.001	-6.83, -1.78
- Alto	-8.64	2.30	-3.75	<0.001	-13.22, -4.06
Edad	-0.008	0.25	-0.03	0.973	-0.51, 0.49
Sexo (ref: Masculino)	0.22	0.92	0.24	0.809	-1.61, 2.06

EE: error estándar; IC95%: intervalo de confianza del 95%. $R^2=0.771$; $R^2_{ajustado}=0.758$; Error estándar residual=4.34.

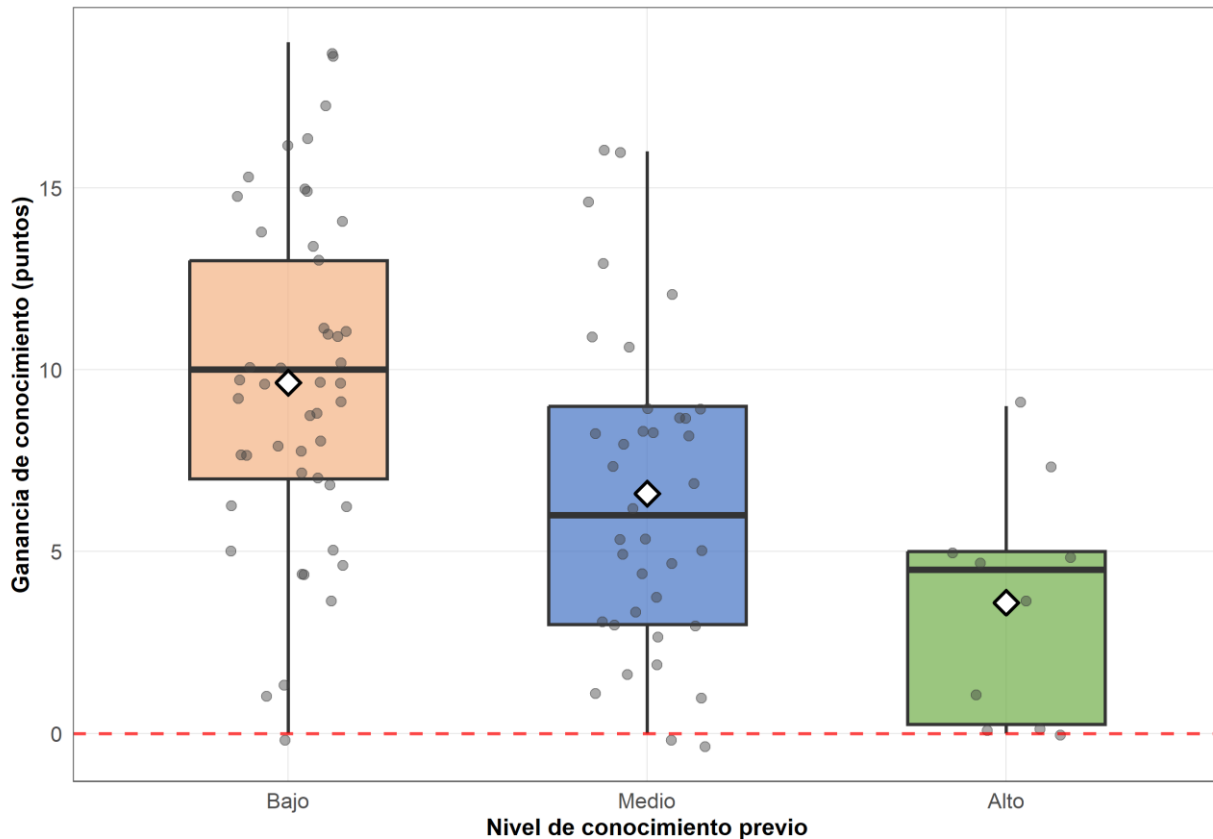
Análisis por nivel de conocimiento previo

El análisis estratificado reveló que el efecto del instrumento fue consistente en todos los niveles de conocimiento previo, aunque con diferencias en la magnitud absoluta de la ganancia. Los participantes con conocimiento previo bajo obtuvieron la mayor ganancia media (9.65 ± 4.52 puntos), seguidos por los de nivel medio (6.59 ± 4.32 puntos) y alto (3.60 ± 3.20 puntos). Todas las comparaciones intra-grupo fueron estadísticamente significativas ($p<0.001$ para niveles bajo y medio; $p=0.011$ para nivel alto tras corrección de Bonferroni).

La comparación entre estratos mediante prueba de Kruskal-Wallis confirmó diferencias significativas en la magnitud de la ganancia ($H=18.46$; $gl=2$; $p<0.001$), evidenciando que el instrumento produce mayores beneficios absolutos en participantes con menor conocimiento previo, aunque genera mejoras significativas en todos los niveles.

Ganancia de conocimiento según nivel previo - Sistema Nervioso Autonomo

Kruskal-Wallis: $p = < 0.001$



Línea roja = sin cambio (ganancia = 0). Rombo blanco = media.

Figura 3. Ganancia de conocimiento según nivel de conocimiento previo. Las barras representan medias y las líneas de error desviaciones estándar. Se observa efecto decreciente en función del nivel basal (efecto techo), aunque todos los estratos mejoraron significativamente.

Tiempo de exposición y su relación con la ganancia de conocimiento

El tiempo medio de navegación efectiva en la plataforma web fue de 31.3 ± 8.1 minutos (rango: 12-51 minutos; mediana=32; RIC: 27-36 minutos). Contrario a la hipótesis de dosis-respuesta lineal, no se observó correlación significativa entre el tiempo total de exposición y la ganancia de conocimiento (Spearman $p=0.039$; IC95%: -0.16 a 0.24; $p=0.709$).

Satisfacción percibida con el instrumento educativo

La satisfacción global con el sitio web interactivo fue alta. La puntuación media en escala Likert de 5 puntos fue de 3.85 ± 0.96 , con una mediana de 4 (RIC: 3-4). El 71.6% de los participantes



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

calificó su satisfacción como "satisfecho" (nivel 4, 47.4%) o "muy satisfecho" (nivel 5, 24.2%). Solo el 6.3% (n=6) expresó insatisfacción (niveles 1-2).

No se observó correlación significativa entre satisfacción y ganancia de conocimiento (Spearman $\rho=-0.004$; $p=0.970$), sugiriendo que ambos constructos son relativamente independientes: la alta satisfacción no compromete el aprendizaje objetivo, aunque tampoco lo garantiza directamente.

Discusión:

Los resultados de este estudio de cohorte prospectivo, antes-después, demuestran que el sitio web interactivo "SNA Web" es altamente efectivo para la adquisición de conocimientos sobre fisiología y clínica del sistema nervioso autónomo en estudiantes de tercer año de Medicina. El análisis primario mediante prueba de Wilcoxon apareada reveló una ganancia media de 7.82 puntos, correspondiente a un d de Cohen apareado de 1.65, que constituye un efecto muy grande según los criterios convencionales ampliados ($d \geq 1.30$) y excede ampliamente los umbrales típicos de efectos grandes ($d=0.80$) reportados en la literatura de educación médica.(15,16) La direccionalidad consistente del efecto, mejoría en 93.7% de los participantes y ausencia total de deterioro, refuerza la robustez del hallazgo y su relevancia para la práctica educativa en neurociencias.

La magnitud del efecto observado ($d=1.65$) es particularmente notable en el contexto de la educación médica. Metaanálisis previos han reportado efectos medios de $d=0.33$ para intervenciones digitales en educación médica, y efectos de $d=0.68$ cuando se comparan con ausencia de intervención.(9,10) Nuestro resultado no solo duplica el efecto típico de estudios comparativos, sino que se aproxima a magnitudes observadas en intervenciones farmacológicas potentes, sugiriendo una efectividad excepcional del recurso web en este dominio específico. Esta superioridad puede atribuirse al diseño pedagógico cuidadoso basado en principios de aprendizaje multimedia: segmentación del contenido, integración temporal de texto e imágenes, eliminación de material redundante, y provisión de ejemplos trabajados en casos clínicos, elementos que la teoría de carga cognitiva identifica como optimizadores del aprendizaje profundo.(17,18)

El análisis estratificado por nivel de conocimiento previo aporta un hallazgo pedagógico de gran relevancia: el instrumento benefició significativamente a todos los estratos, pero produjo



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

mayores ganancias absolutas en participantes con conocimiento previo bajo (9.65 puntos) comparado con nivel medio (6.59) y alto (3.60). Este patrón refleja el fenómeno estadístico de "efecto techo" (ceiling effect), donde los participantes con mayor conocimiento basal tienen menos margen para mejorar, pero también evidencia una efectividad distributivamente progresiva: el recurso web parece funcionar como un "nivelador" educativo que reduce brechas iniciales sin penalizar a los estudiantes avanzados, quienes aunque con menor ganancia absoluta, mantienen su ventaja relativa y mejoran significativamente. Este hallazgo contrarresta preocupaciones frecuentes sobre que las tecnologías educativas favorecen desproporcionadamente a estudiantes con mejor desempeño previo.(19)

La ausencia de correlación entre tiempo de exposición y ganancia de conocimiento ($r=0.052$) es un hallazgo contraintuitivo pero profundamente informativo. Desafía la suposición simplista de que "más tiempo en la plataforma equivale a más aprendizaje", sugiriendo en cambio que la calidad del compromiso cognitivo activo, medida por interacciones significativas con diagramas anatómicos, respuestas a autoevaluaciones, y navegación intencional, es el verdadero mediador del efecto educativo.(20,21) Esta observación tiene implicaciones prácticas importantes: los diseñadores de recursos educativos deben priorizar la calidad interactiva sobre la cantidad de contenido, y los educadores deben fomentar estrategias de estudio activo en lugar de simples recomendaciones de "dedicar más tiempo".

La satisfacción estudiantil elevada (mediana=4; 71.6% satisfechos o muy satisfechos), combinada con la ausencia de correlación entre satisfacción y aprendizaje ($r\approx 0$), indica que el recurso web logra el equilibrio óptimo entre efectividad y experiencia de usuario. Aunque la satisfacción no garantiza aprendizaje, su alta disociación del rendimiento sugiere que el diseño del instrumento no sacrifica rigor pedagógico por aceptabilidad superficial, un riesgo frecuente en recursos tecnológicos educativos.(22)

Desde la perspectiva de la teoría de carga cognitiva, nuestros hallazgos pueden interpretarse como evidencia de optimización exitosa de los tres tipos de carga cognitiva: reducción de carga extrínseca mediante diseño limpio y navegación intuitiva; manejo apropiado de carga intrínseca mediante segmentación en módulos manejables; y potenciación de carga germánica mediante actividades de procesamiento profundo como la integración de información anatómica con aplicaciones clínicas.(17) La ausencia de correlación tiempo-aprendizaje sugiere que los



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

estudiantes autorregularon eficientemente su procesamiento cognitivo, invirtiendo tiempo adicional solo cuando la complejidad del material lo requería.

Nuestros hallazgos metodológicamente robustos apoyan la integración de recursos educativos web interactivos como componentes centrales del currículo de neurociencias, particularmente para temas de alta complejidad espacial y conceptual como el sistema nervioso autónomo. El efecto muy grande ($d=1.65$), la consistencia del efecto en todos los niveles de conocimiento previo, la alta satisfacción estudiantil, y la eficiencia temporal, configuran un perfil excepcionalmente favorable para la adopción curricular. La implementación exitosa requiere inversión en diseño pedagógico basado en evidencia, alineación con objetivos curriculares específicos, y capacitación docente en integración de tecnologías educativas.(23)

Conclusiones:

El presente estudio aporta evidencia metodológicamente rigurosa de que un sitio web interactivo bien diseñado produce efectos muy grandes en la adquisición de conocimientos sobre fisiología y clínica del sistema nervioso autónomo en estudiantes de Medicina. La efectividad del instrumento se mantuvo consistente independientemente del nivel de conocimiento previo, demostrando mayor impacto absoluto en estudiantes con menor dominio inicial, lo que sugiere un efecto nivelador educativamente deseable. La alta satisfacción estudiantil, la eficiencia temporal, y la ausencia de correlación entre tiempo de exposición y aprendizaje, indicativa de calidad del compromiso cognitivo, configuran un perfil favorable para la implementación sistemática de estos recursos en la enseñanza de neurociencias.

Referencias:

1. Benarroch EE. Physiology and Pathophysiology of the Autonomic Nervous System. Continuum (Minneapolis, Minn) [Internet]. 2020 [citado 10 de marzo de 2026];26(1):12-29. Disponible en: <https://doi.org/10.1212/CON.0000000000000817>
2. Drake RL, Vogl AW, Mitchell AWM. Gray. Anatomía para estudiantes [Internet]. 4th ed. Elsevier; 2020 [citado 10 de marzo de 2026].
3. Guze PA. Using technology to meet the challenges of medical education. Trans Am Clin Climatol Assoc [Internet]. 2015 [citado 10 de marzo de 2026];126:260-70. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26330667>



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

4. Ellaway R, Masters K. AMEE Guide 32: e-Learning in medical education Part 1: Learning, teaching and assessment. *Med Teach* [Internet]. 2008 [citado 10 de marzo de 2026];30(5):455-73. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01421590802108356>
5. George PP, Papachristou N, Belisario JM, et al. Online eLearning for undergraduates in health professions: A systematic review of the impact on knowledge, skills, attitudes and satisfaction. *J Glob Health* [Internet]. 2014 [citado 10 de marzo de 2026];4(1):010406. Disponible en: <https://doi.org/10.7189/jogh.04.010406>
6. Mayer RE. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* [Internet]. 3rd ed. Cambridge University Press; 2021 [citado 10 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/9781108894333>
7. Sweller J, van Merriënboer JJ, Paas F. Cognitive architecture and instructional design. *Educ Psychol Rev* [Internet]. 1998 [citado 10 de marzo de 2026];10(3):251-96. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
8. Cook DA, Levinson AJ, Garside S, et al. Internet-based learning in the health professions: a meta-analysis. *JAMA* [Internet]. 2008 [citado 10 de marzo de 2026];300(10):1181-96. Disponible en: <https://doi.org/10.1001/jama.300.10.1181>
9. Pei L, Wu H. Does online learning work better than offline learning in undergraduate medical education? A systematic review and meta-analysis. *Med Educ Online* [Internet]. 2019 [citado 10 de marzo de 2026];24(1):1666538. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10872981.2019.1666538>
10. Donkin R, Askew E, Stevenson H. Video feedback and e-Learning enhances laboratory skills and engagement in medical laboratory science students. *BMC Med Educ* [Internet]. 2019 [citado 10 de marzo de 2026];19(1):310. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12909-019-1745-1>
11. Vandembroucke JP, von Elm E, Altman DG, et al. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): explanation and elaboration. *PLoS Med* [Internet]. 2007 [citado 10 de marzo de 2026];4(10):e297. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040297>



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

12. Peterson C. Bringing ADDIE to life: Instructional design at its best. *J Educ Multimed Hypermedia*. 2003;12(3):227-41.
13. Brooke J. SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. In: Jordan PW, Thomas B, Weerdmeester BA, McClelland AL, editors. *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor and Francis; 1996. p. 189-94.
14. Araújo IE, Holanda Júnior G, Holanda MC, et al. Construction and validation of a teaching satisfaction scale for medical students. *Rev Bras Educ Med [Internet]*. 2015 [citado 10 de marzo de 2026];39(4):552-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1981-52712015v39n4e00522014>
15. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
16. Sawilowsky SS. New effect size rules of thumb. *J Mod Appl Stat Methods [Internet]*. 2009 [citado 10 de marzo de 2026];8(2):597-9. Disponible en: <https://doi.org/10.22237/jmasm/1257035100>
17. Sweller J. Cognitive load theory and educational technology. *Educ Technol Res Dev [Internet]*. 2020 [citado 10 de marzo de 2026];68(1):1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>
18. Paas F, van Merriënboer JJ. Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *J Educ Psychol [Internet]*. 1994 [citado 10 de marzo de 2026];86(1):122-33. Disponible en: <https://doi.org/10.1037/0022-0663.86.1.122>
19. Rodríguez-de-Dios I, Igartua JJ. Skills of digital literacy to address the risks of interactive communication. *Comunicar [Internet]*. 2022 [citado 10 de marzo de 2026];30(72):65-75. Disponible en: <https://doi.org/10.3916/C72-2022-06>
20. Joksimović S, Ifenthaler D, Mariano D, Devedžić V. Opportunities of learning analytics in medical education. *Acad Med [Internet]*. 2023 [citado 10 de marzo de 2026];98(6):S89-95. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/ACM.00000000000005103>
21. Zhang X, Ma Y, Jiang Z, et al. Adaptive learning in medical education: A systematic review. *Med Teach [Internet]*. 2023 [citado 10 de marzo de 2026];45(2):182-90. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0142159X.2022.2141824>



“De la excelencia formativa a la investigación con impacto: construyendo desarrollo humano sostenible.”

22. Kulik J, Fletcher J. Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review. Rev Educ Res [Internet]. 2016 [citado 10 de marzo de 2026];86(1):42-78. Disponible en: <https://doi.org/10.3102/0034654315581420>
23. O'Doherty D, Dromey M, Lougheed J, et al. Barriers and solutions to online learning in medical education: an integrative review. BMC Med Educ [Internet]. 2022 [citado 10 de marzo de 2026];22(1):589. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03409-9>