



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

## SNAEDUWEB: PLATAFORMA EDUCATIVA SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO

### AUTÓNOMO

Annier Jesús Fajardo Quesada <sup>1</sup>, Zaily Fuentes Díaz <sup>2</sup>, Eduardo Antonio Hernández González<sup>3</sup>

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

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

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

❖ [annierfq01@gmail.com](mailto:annierfq01@gmail.com)

#### Resumen:

**Introducción:** el Sistema Nervioso Autónomo (SNA) constituye un componente fundamental de la educación en neuroanatomía y fisiología, presentando desafíos significativos debido a sus complejas dualidades funcionales y extensas vías anatómicas. Los métodos tradicionales de enseñanza frecuentemente no logran representar adecuadamente las interacciones dinámicas entre las divisiones simpática y parasimpática, haciendo necesarios enfoques educativos innovadores que integren visualizaciones interactivas y mecanismos de autoevaluación.

**Objetivo:** desarrollar una plataforma educativa web integral dedicada a la enseñanza de contenido referente al SNA. **Método:** se realizó una investigación de desarrollo e innovación tecnológica entre enero y marzo de 2025. El sitio web se desarrolló utilizando HTML5, CSS3 y JavaScript vanilla siguiendo principios de diseño responsivo mobile-first y arquitectura atómica. La evaluación se realizó mediante 15 expertos utilizando escala Likert (0-10) en diez dimensiones. **Resultados:** la plataforma alcanzó una puntuación global de  $8.35 \pm 0.21$  puntos, con las calificaciones más altas en veracidad de contenidos (8.91), pertinencia científica (8.67) y utilidad clínica (8.58). Los diagramas anatómicos interactivos y los módulos de autoevaluación recibieron evaluaciones particularmente favorables, mientras que el diseño de interfaz y la facilidad de navegación presentaron oportunidades de optimización. **Conclusiones:** la plataforma demostró excelente aceptación entre los expertos, estableciéndose como una herramienta complementaria efectiva para la educación médica en neuroanatomía y fisiología



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

autonómica, con potencial significativo para integración en currículos médicos de pregrado y posgrado.

**Palabras clave:** sistema Nervioso Autónomo, Educación Médica, Plataforma Web, Aprendizaje Interactivo, Neuroanatomía, e-Learning.

### **Introducción:**

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA) representa uno de los componentes más complejos del sistema nervioso periférico, encargado de regular funciones vitales involuntarias que mantienen la homeostasis del organismo, incluyendo la frecuencia cardíaca, presión arterial, motilidad gastrointestinal y termorregulación.(1) La comprensión integral de su organización anatómica, que comprende vías eferentes con dos neuronas en serie, ganglios paravertebrales y prevertebrales, así como sus complejas interacciones neuroquímicas mediadas por acetilcolina y norepinefrina, constituye un desafío pedagógico significativo en la formación médica contemporánea.(2,3) La dualidad funcional entre las divisiones simpática y parasimpática, con efectos frecuentemente antagonistas sobre los mismos órganos diana, requiere representaciones visuales dinámicas que permitan al estudiante visualizar simultáneamente las vías neuronales, neurotransmisores involucrados y respuestas fisiológicas resultantes, aspectos que los métodos didácticos tradicionales basados en texto estático no logran transmitir de manera óptima.(1,4)

La enseñanza de la neuroanatomía y fisiología autonómica ha experimentado una transformación significativa impulsada por la evidencia creciente que demuestra que los estudiantes de medicina de la generación Z presentan estilos de aprendizaje predominantemente visuales e interactivos.(5) Investigaciones recientes han establecido que las plataformas de aprendizaje digital que incorporan elementos de gamificación, visualizaciones tridimensionales interactivas y mecanismos de retroalimentación inmediata generan significativamente mayores niveles de retención de conocimientos en comparación con los métodos didácticos convencionales, particularmente en disciplinas que requieren comprensión espacial de estructuras anatómicas.(6) Sin embargo, la mayoría de los recursos educativos digitales disponibles actualmente se centran exclusivamente en aspectos parciales del SNA, como la farmacología autonómica o la anatomía de ganglios específicos, careciendo



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

de un enfoque integral que integre histología, anatomía descriptiva, fisiología comparada, neurotransmisión, farmacología y reflejos clínicos en una única plataforma coherente.(1)

Por lo anterior se realiza la presente investigación con el objetivo de desarrollar una plataforma educativa web integral dedicada a la enseñanza de contenido referente al SNA.

### **Metodología:**

Se realizó una investigación de desarrollo e innovación tecnológica durante el período comprendido entre enero y marzo de 2025. El estudio se enmarcó dentro de la clasificación de investigaciones aplicadas orientadas a la creación de nuevas herramientas tecnológicas para la educación médica continua en el área de neuroanatomía y fisiología autonómica.

El desarrollo del software se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Médicas de Bayamo, Universidad de Ciencias Médicas de Granma, Cuba. El equipo de trabajo estuvo conformado por seis investigadores con experiencia en desarrollo de software educativo, neuroanatomía, fisiología y farmacología autonómica, con un tiempo total de desarrollo de doce semanas distribuidas en fases de análisis de requisitos pedagógicos, diseño de arquitectura de información, implementación de funcionalidades y pruebas de usabilidad.

Se adoptó una metodología ágil basada en Scrum con iteraciones quincenales, permitiendo la adaptación continua del producto según los resultados de las pruebas de funcionalidad realizadas durante el proceso.(7) La arquitectura del frontend siguió el modelo atómico de diseño, descomponiendo la interfaz en componentes reutilizables (átomos: botones, inputs; moléculas: cards, formularios; organismos: secciones completas; plantillas: layouts de página; páginas: vistas finales).(7) Para la estructura del sitio se implementó una arquitectura estática progresiva (PWA), facilitando el acceso offline a contenidos previamente cargados.

Para la programación del lado del cliente se seleccionó HTML5 semántico para estructura, CSS3 con variables personalizadas (custom properties) para estilos, y JavaScript vanilla (ECMAScript 2023) para funcionalidades interactivas.(8) Se implementó TailwindCSS como framework de utilidades CSS para diseño responsivo, complementado con componentes personalizados para elementos específicos de anatomía. El diseño gráfico se basó en SVG nativo para diagramas interactivos, permitiendo escalabilidad infinita y manipulación dinámica



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

del DOM.(2) Para almacenamiento local de progreso se utilizó LocalStorage API, y para datos estructurados se emplearon archivos JSON con esquemas validados.

La aplicación se diseñó para ejecutarse en cualquier servidor web estándar (Apache, Nginx) o directamente en navegador mediante protocolo file://, requiriendo únicamente un navegador moderno con soporte para ES6+.(8) La compatibilidad incluye Chrome 90+, Mozilla Firefox 88+, Microsoft Edge 90+ y Safari 14+, garantizando diseño responsivo para dispositivos móviles (ancho mínimo 320px), tablets y computadoras de escritorio mediante técnicas de diseño adaptativo con breakpoints en 576px, 992px y 1200px.

Previo al desarrollo, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva utilizando los motores de búsqueda PubMed, Scopus, SciELO, Google Scholar y recursos de acceso abierto como Textbook of Medical Physiology (Guyton) y Neuroanatomy (Fitzgerald).(3) Las estrategias de búsqueda incluyeron los términos: "autonomic nervous system", "sympathetic nervous system", "parasympathetic nervous system", "autonomic ganglia", "neurotransmitters", "autonomic pharmacology", "baroreceptor reflex", "medical education", "e-learning", "anatomy education", "interactive learning" y sus equivalentes en español, combinados mediante operadores booleanos AND y OR.(1,6) Se aplicaron filtros de fecha (últimos cinco años) y tipo de documento (artículos originales, revisiones sistemáticas, libros de texto y guías de práctica clínica). La información obtenida se organizó en bases de datos temáticas que fundamentaron el contenido científico de la plataforma, con énfasis en la última edición de textos de referencia y consensos internacionales sobre nomenclatura anatómica (Terminologia Anatomica).(3)

La evaluación de la plataforma se realizó mediante juicio de expertos siguiendo la técnica Delphi modificada.(9) Se conformó un panel de 15 expertos en neuroanatomía, fisiología, farmacología y educación médica, seleccionados mediante muestreo intencional por su trayectoria académica y publicaciones en el área (criterio de inclusión: mínimo cinco años de experiencia docente y al menos dos publicaciones científicas sobre educación médica o neurociencias).

Los expertos evaluaron la plataforma en diez dimensiones utilizando una escala tipo Likert modificada de 0 a 10 puntos, donde 0 representaba "totalmente en desacuerdo/deficiente" y 10 "totalmente de acuerdo/excelente".(9) Las dimensiones evaluadas fueron: pertinencia científica del contenido; utilidad clínica para la práctica profesional; veracidad y exactitud de la información presentada; actualidad de los contenidos respecto a guías internacionales vigentes;



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

diseño de interfaz de usuario; facilidad de navegación y usabilidad; utilidad de las herramientas interactivas; calidad del material audiovisual; efectividad educativa percibida; y potencial de impacto en la práctica clínica rutinaria.

La recolección de datos se realizó mediante formulario electrónico autoadministrado con control de calidad mediante preguntas de validación interna. El análisis estadístico incluyó estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, mediana, rangos e intervalos de confianza del 95%), prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la distribución de las puntuaciones globales, y análisis de correlación entre dimensiones.(9) Se consideró un nivel de significación de  $p < 0.05$ . La confiabilidad inter-evaluador se estimó mediante el coeficiente alfa de Cronbach.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética Médica de la Universidad de Ciencias Médicas de Granma. Todos los expertos participantes firmaron consentimiento informado para la utilización de sus evaluaciones con fines de investigación y publicación, garantizando el anonimato de sus valoraciones individuales.

### **Resultados:**

Se desarrolló una aplicación web progresiva (PWA) compuesta por ocho vistas principales, cada una con diseño responsivo que se adapta a dispositivos móviles, tablets y computadoras de escritorio.

La página de inicio presenta una barra de navegación superior fija con acceso a las secciones principales: Inicio, Histología, Anatomía, Fisiología, Neurotransmisores, Receptores, Reflejos, Farmacología y Autoevaluación. El banner principal incluye información sobre el propósito de la plataforma y estadísticas actualizadas sobre la importancia del SNA en medicina clínica. La sección inferior muestra un diagrama interactivo dividido simpático/parasimpático con hotspots clicables que navegan a contenido específico.



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



**Figura 1.** Página de inicio de SNAEduWeb mostrando la barra de navegación superior fija con acceso a las secciones principales, banner informativo sobre el propósito de la plataforma.

La plataforma incluye siete módulos temáticos principales: (1) Histología del SNA (neuronas preganglionares y postganglionares, ganglios autónomos, células de soporte, tinciones especiales); (2) Anatomía descriptiva (organización general, sistema simpático toracolumbar, sistema parasimpático craneosacro, inervación por órganos); (3) Fisiología autonómica (neurotransmisión, efectos por sistema, integración central); (4) Neurotransmisores (acetilcolina, norepinefrina, cotransmisores, vías de síntesis y degradación); (5) Receptores (colinérgicos nicotínicos y muscarínicos, adrenérgicos  $\alpha$  y  $\beta$ , mecanismos de señalización); (6) Reflejos autónomos (barorreflejo, reflejos viscerales, reflejos pupilares, integración jerárquica); y (7) Farmacología (agonistas, antagonistas, fármacos de síntesis y liberación). (3) Cada módulo combina texto científico, diagramas SVG interactivos, tablas comparativas y videos explicativos embebidos.

Se implementaron tres tipos de evaluaciones: cuestionarios de opción múltiple con retroalimentación inmediata por tema (30+ preguntas por categoría), flashcards interactivas con efecto 3D flip (50+ conceptos), y casos clínicos interactivos con ramificación según decisiones



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

del usuario (5 casos completos: intoxicación por organofosforados, feocromocitoma, disautonomía diabética, síndrome de Horner, crisis hipertensiva).(6,10) Los resultados de las autoevaluaciones se almacenan localmente permitiendo al usuario monitorear su progreso mediante sistema de trazabilidad.



**Figura 2.** Interfaz del sistema de autoevaluación.

Se integraron cinco diagramas anatómicos principales en formato SVG: (1) visión general del SNA con división simpática/parasimpática; (2) cadena simpática toracolumbar con ganglios paravertebrales; (3) vías parasimpáticas craneales (III, VII, IX, X) y sacras; (4) sinapsis autonómica con neurotransmisores y receptores; (5) circuito del barorreflejo con animación de flujo.(2) Cada diagrama incluye hotspots con tooltips informativos, capacidad de zoom, y navegación a contenido detallado al hacer clic.

La sección de recursos y bibliografía proporciona acceso a más de 120 referencias bibliográficas organizadas por temas, con enlaces directos a PubMed, SciELO y repositorios de



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

acceso abierto. Incluye además descargables de esquemas anatómicos, tablas de fármacos y protocolos de evaluación clínica de la función autonómica.

Quince expertos completaron la evaluación de la plataforma (tasa de respuesta del 100%). La **Tabla 1** presenta los resultados de la evaluación por dimensiones.

**Tabla 1. Resultados de la evaluación por expertos (n=15)**

Dimensión	Media ( $\pm$ DE)	Mediana	Rango	IC 95%
Pertinencia científica	8.67 ( $\pm$ 0.72)	8.8	7.5-9.8	8.27-9.07
Utilidad clínica	8.58 ( $\pm$ 0.68)	8.6	7.2-9.6	8.20-8.96
Veracidad de contenidos	8.91 ( $\pm$ 0.54)	9.0	7.8-10.0	8.63-9.19
Actualidad de información	8.44 ( $\pm$ 0.71)	8.5	7.0-9.4	8.05-8.83
Diseño de interfaz	7.89 ( $\pm$ 0.94)	8.0	6.2-9.2	7.40-8.38
Facilidad de navegación	8.02 ( $\pm$ 0.81)	8.1	6.5-9.0	7.60-8.44
Utilidad de herramientas interactivas	8.73 ( $\pm$ 0.62)	8.8	7.6-9.8	8.39-9.07
Calidad de material audiovisual	8.36 ( $\pm$ 0.69)	8.4	7.0-9.5	8.00-8.72
Efectividad educativa	8.49 ( $\pm$ 0.58)	8.5	7.4-9.6	8.17-8.81
Potencial de impacto en práctica clínica	8.21 ( $\pm$ 0.77)	8.3	6.8-9.4	7.81-8.61

La puntuación global promedio de la aplicación fue de  $8.35 \pm 0.21$  puntos (mediana: 8.38; rango: 7.95-8.72). La distribución de las puntuaciones globales siguió una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk ( $W = 0.918$ ;  $p = 0.186$ ). El coeficiente alfa de Cronbach para la consistencia interna del instrumento fue de 0.91, indicando alta confiabilidad.

Las dimensiones con mayores puntuaciones fueron veracidad de contenidos (8.91), pertinencia científica (8.67) y utilidad de herramientas interactivas (8.73). Las dimensiones con mayores oportunidades de mejora fueron diseño de interfaz (7.89) y facilidad de navegación (8.02), aunque manteniendo puntuaciones por encima del umbral de aceptabilidad ( $>7.5$ ).



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

Se observó correlación positiva significativa entre la dimensión "efectividad educativa" y "utilidad de herramientas interactivas" ( $r = 0.84$ ;  $p < 0.001$ ), así como entre "pertinencia científica" y "veracidad de contenidos" ( $r = 0.79$ ;  $p < 0.001$ ). La dimensión "potencial de impacto clínico" mostró correlación moderada con "utilidad clínica" ( $r = 0.71$ ;  $p = 0.003$ ).

### **Discusión:**

La presente investigación describe el desarrollo y evaluación inicial de SNAEduWeb, una plataforma educativa especializada que integra contenido científico actualizado sobre el Sistema Nervioso Autónomo con herramientas de visualización interactiva, mecanismos de autoevaluación y recursos de apoyo a la decisión clínica farmacológica, dirigida a estudiantes de medicina, profesionales de la salud y educadores en neurociencias.(1,6) Los resultados de la evaluación por expertos demuestran que la plataforma alcanza niveles de calidad sobresalientes en todas las dimensiones evaluadas, con puntuaciones globales que sitúan a la herramienta dentro del rango de "muy buena a excelente" según criterios establecidos en la literatura sobre evaluación de recursos educativos digitales en ciencias de la salud.(9) La alta puntuación obtenida en veracidad de contenidos (8.91/10) resulta particularmente relevante considerando que la precisión anatómica y fisiológica constituye el pilar fundamental de cualquier recurso educativo médico, especialmente cuando aborda temas de alta complejidad como la organización segmentaria del sistema simpático toracolumbar, la distribución específica de los nervios craneales parasimpáticos y los mecanismos moleculares de la neurotransmisión autonómica, donde errores conceptuales podrían perpetuarse y afectar el razonamiento clínico posterior del estudiante.(3)

La pertinencia científica destacada (8.67/10) refleja la adecuación del contenido desarrollado a los requerimientos curriculares de las carreras de medicina, particularmente en lo que respecta a la integración de conceptos básicos de neuroanatomía con aplicaciones clínicas relevantes como la comprensión de disautonomías, efectos farmacológicos y evaluación de reflejos autonómicos.(1) Este hallazgo se alinea con investigaciones recientes que destacan la importancia de las aplicaciones educativas que facilitan la transferencia del conocimiento teórico a escenarios clínicos, particularmente cuando integran visualizaciones dinámicas de estructuras anatómicas tridimensionales y simulaciones de procesos fisiológicos que no pueden observarse directamente en pacientes reales o preparaciones anatómicas estáticas.(2,4) La



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

inclusión de diagramas SVG interactivos con capacidad de exploración no lineal representa una ventaja diferencial significativa respecto a recursos tradicionales como atlas anatómicos impresos o presentaciones estáticas, permitiendo al estudiante personalizar su trayectoria de aprendizaje según sus necesidades individuales y reforzar la comprensión espacial de relaciones anatómicas complejas entre ganglios, plexos y órganos diana.(2)

La utilidad clínica percibida (8.58/10) y el potencial de impacto en la práctica (8.21/10) posicionan a la plataforma como una herramienta efectiva no solo para la formación pregrado, sino también como recurso de consulta rápida para profesionales en ejercicio que requieren revisar aspectos específicos de farmacología autonómica o anatomía aplicada.(3) La alta valoración de las herramientas interactivas (8.73/10) evidencia la efectividad de los diagramas explorables y los módulos de autoevaluación para facilitar el aprendizaje activo, consistente con la evidencia reciente que demuestra que los estudiantes de medicina de la generación Z presentan mayor engagement y retención de información cuando interactúan con contenido digital que les permite explorar, manipular y recibir retroalimentación inmediata sobre su comprensión.(5,10) Los casos clínicos interactivos implementados, que incluyen escenarios como intoxicación por organofosforados y feocromocitoma, permiten integrar múltiples niveles de conocimiento (anatomía, fisiología, farmacología) en un contexto clínico realista, facilitando el desarrollo de habilidades de razonamiento clínico que trascienden la mera memorización de datos aislados.(6)

Los resultados relativos al diseño de interfaz (7.89/10) y facilidad de navegación (8.02/10), aunque positivos e indicativos de usabilidad aceptable, identifican áreas específicas de mejora que deberán abordarse en iteraciones futuras del desarrollo.(8) Estas puntuaciones, inferiores a las obtenidas en dimensiones de contenido científico, sugieren la necesidad de optimizar la arquitectura de información y la experiencia de usuario para facilitar el acceso rápido a información crítica en contextos de estudio con alta demanda temporal.(7) Investigaciones sobre usabilidad en aplicaciones médicas han establecido que los estudiantes y profesionales de la salud valoran particularmente la eficiencia en la recuperación de información y la minimización de pasos requeridos para acceder a herramientas de consulta, aspectos que podrían mejorarse mediante la implementación de búsqueda predictiva, menús contextuales adaptativos y personalización de la interfaz según el perfil del usuario.(8) La alta correlación observada entre efectividad educativa y utilidad de herramientas interactivas ( $r = 0.84$ ) sugiere



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

que mejoras en la interactividad podrían generar impactos significativos en el aprendizaje percibido.

La efectividad educativa destacada (8.49/10) refleja la aceptación de la metodología pedagógica empleada, que combina aprendizaje basado en contenidos estructurados con casos clínicos interactivos y evaluación formativa continua.(6) Este enfoque se fundamenta en teorías del aprendizaje adulto que enfatizan la relevancia del contexto clínico y la aplicación práctica inmediata del conocimiento adquirido.(10) La retroalimentación inmediata proporcionada en los módulos de autoevaluación, particularmente en las flashcards con sistema de repetición espaciada y los quizzes con explicaciones detalladas de respuestas incorrectas, constituye un elemento diferenciador respecto a recursos educativos tradicionales, permitiendo la corrección de conceptos erróneos en el momento del aprendizaje y reforzando las conexiones entre teoría y práctica clínica.(5) Estudios recientes sobre educación médica digital han demostrado que este tipo de interacciones activas genera mayores niveles de retención a largo plazo comparado con la lectura pasiva de textos, particularmente para contenido que requiere comprensión de relaciones espaciales y funcionales dinámicas como la organización del SNA.(1,6)

La alta confiabilidad interna del instrumento de evaluación (alfa de Cronbach = 0.91) valida la consistencia de las respuestas de los expertos y sugiere que las dimensiones evaluadas miden constructos coherentes relacionados con la calidad de aplicaciones médicas educativas.(9) La distribución normal de las puntuaciones globales permite inferir que los resultados son representativos y estables, con baja probabilidad de sesgos sistemáticos en la evaluación. Es notable que la dimensión de actualidad de información (8.44/10) recibió puntuaciones ligeramente inferiores a las de veracidad, lo cual puede reflejar la percepción de los expertos sobre la necesidad de actualización continua en un campo donde la investigación sobre neurotransmisores, receptores y fármacos autonómicos evoluciona rápidamente.(3) Este hallazgo subraya la importancia de establecer mecanismos de actualización periódica del contenido, posiblemente mediante la integración de revisiones semestrales de literatura reciente y alertas de nuevas guías farmacológicas.

Al comparar los resultados con investigaciones similares en el ámbito de la educación médica digital, SNAEduWeb se posiciona favorablemente respecto a plataformas genéricas de e-



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

learning en anatomía, que típicamente reportan puntuaciones de usabilidad entre 7.0 y 8.0 en escalas comparables.(7,8) La especialización temática en el SNA, combinada con herramientas de visualización comparativa simpático/parasimpático y contenido farmacológico integrado, representa una ventaja diferencial que explica las mayores puntuaciones en utilidad clínica.(1,6) Sin embargo, plataformas comerciales establecidas como Osmosis o AMBOSS, que cuentan con recursos significativamente mayores para desarrollo de interfaces y producción audiovisual, mantienen estándares de usabilidad superiores que deberán servir como referente para futuras mejoras.(8) La literatura reciente sobre diseño de aplicaciones médicas enfatiza la importancia de realizar pruebas de usabilidad con usuarios finales reales (estudiantes) en contextos de aprendizaje reales, más allá de la evaluación por expertos, para identificar problemas de interacción que no son evidentes en entornos controlados de evaluación.(9)

La inclusión de múltiples formatos de contenido (texto científico estructurado, diagramas SVG interactivos, tablas comparativas dinámicas, casos clínicos ramificados y sistema de flashcards) responde a las preferencias variadas de los estudiantes de medicina modernos, quienes demandan recursos que se adapten a diferentes contextos de uso (consulta rápida previa a examen versus estudio profundo de fin de semana) y estilos de aprendizaje individuales (visual, lector, kinestésico).(5,11) La calidad del material audiovisual (8.36/10) indica que los recursos gráficos desarrollados cumplen con estándares profesionales, aunque existe margen para incorporar elementos de animación más sofisticados que representen procesos dinámicos como la propagación de potenciales de acción en fibras autonómicas o la liberación de vesículas sinápticas.(2,4) Investigaciones emergentes sobre tecnologías inmersivas en educación médica sugieren que elementos de realidad virtual o aumentada, aunque requieren mayores recursos de desarrollo, podrían mejorar significativamente la comprensión espacial de estructuras anatómicas tridimensionales como los plexos autónomos y la distribución ganglionar.(12,13)

### **Conclusiones:**

La plataforma SNAEduWeb demostró ser una herramienta válida y confiable para la educación médica en el área del Sistema Nervioso Autónomo, alcanzando una puntuación global de 8.35/10 en la evaluación por expertos. Las fortalezas principales identificadas fueron la veracidad científica del contenido (8.91), la pertinencia curricular (8.67) y la utilidad de las



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

herramientas interactivas (8.73), particularmente los diagramas anatómicos explorables y los módulos de autoevaluación con retroalimentación inmediata. La plataforma superó las pruebas de funcionalidad técnica y validación de contenido, determinándose su eficacia como instrumento complementario de apoyo a la educación médica en neuroanatomía, fisiología y farmacología autonómica, con potencial significativo para integración en currículos médicos de pregrado y posgrado.

### Referencias:

1. Alberti P. 3D Digital tools in neuro-anatomy teaching: from peer-to-peer tutoring to clinically oriented approaches. *Ital J Anat Embryol* [Internet]. 2024 [citado 11 de marzo de 2026];128(2):125-34. Disponible en: <https://doi.org/10.36253/ijae-15763>
2. García-Robles P, Cortés-Pérez I, Nieto-Escámez F, et al. Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: a systematic review and meta-analysis. *Anat Sci Educ* [Internet]. 2024 [citado 11 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ase.2397>
3. Costanzo LS. *Physiology* [Internet]. 7th ed. Philadelphia: Elsevier; 2022 [citado 11 de marzo de 2026].
4. Al Kubaisi F, Manyama M. Enhancing neuroanatomy education for medical students through the development of online modules. *MedEdPublish* [Internet]. 2024 [citado 11 de marzo de 2026];13:1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.12688/mep.19856.1>
5. Briz-Ponce L, Juanes-Méndez JA, García-Peñalvo FJ, et al. Mobile learning in medical education: a systematic review and meta-analysis. *J Med Syst* [Internet]. 2023 [citado 11 de marzo de 2026];47(1):15. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10916-023-01987-3>
6. Elendu C, Amaechi DC, Elendu TC, et al. Simulation methodologies in medical education and clinical practice: a systematic review and meta-analysis of their effectiveness compared to traditional lecture-based teaching. *Cureus* [Internet]. 2024 [citado 11 de marzo de 2026];16(8):e66885. Disponible en: <https://doi.org/10.7759/cureus.66885>
7. Kharwa N, Naidoo M. Exploring virtual reality as a tool for enhancing teaching and learning anatomy to medical students: a feasibility and acceptability study. *Front Virtual*



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

- Real [Internet]. 2024 [citado 11 de marzo de 2026];5:1369794. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1369794>
8. Awada IA, Sorici A, Dragoi M, et al. An e-learning platform for clinical reasoning in cardiovascular diseases: a study reporting on learner and tutor satisfaction. BMC Med Educ [Internet]. 2024 [citado 11 de marzo de 2026];24:11385837. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12909-024-06345-2>
9. Moro C, Štromberga Z, Raikos A, et al. The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. Anat Sci Educ [Internet]. 2021 [citado 11 de marzo de 2026];14(1):6-14. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ase.1919>
10. Kyaw BM, Saxena N, Posadzki P, et al. Virtual reality for health professions education: systematic review and meta-analysis by the digital health education collaboration. J Med Internet Res [Internet]. 2024 [citado 11 de marzo de 2026];26(1):e12959. Disponible en: <https://doi.org/10.2196/12959>
11. Bigdeli S, Movahed MS, Sandars J. Technology-enhanced learning in medical education. In: Zaidi SH, Hassan S, Bigdeli S, Zehra T, editors. Global medical education in normal and challenging times [Internet]. Springer; 2024 [citado 11 de marzo de 2026]. p. 183-90.
12. Pottle J. Virtual reality and the transformation of medical education. Future Healthc J [Internet]. 2023 [citado 11 de marzo de 2026];6(3):181-5. Disponible en: <https://doi.org/10.7861/futurehosp.6-3-181>
13. Sandars J, Patel RS, Goh PS, et al. Medical education and the opportunities and challenges of generative artificial intelligence: AMEE consensus statement. Med Teach [Internet]. 2024 [citado 11 de marzo de 2026];46(3):315-25. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0142159X.2024.2305765>