Artículo de posición

Inteligencia artificial y simulación para reducir el uso de animales en la docencia de fisiología

Artificial Intelligence and Simulation to Reduce the Use of Animals in Physiology Teaching

Brian Zequeira García[1*] https://orcid.org/0000-0002-1592-093X

[1]Universidad de Ciencias Médicas de Matanzas. Matanzas, Cuba.

[*]Autor para la correspondencia: brianzequeira4@gmail.com

RESUMEN

Introducción: La enseñanza práctica de la fisiología se ha apoyado durante décadas en animales de experimentación, práctica hoy cuestionada por razones éticas, técnicas y económicas, frente al auge de alternativas basadas en simulación e inteligencia artificial.

Objetivo: Fundamentar la necesidad de una transición progresiva y planificada hacia la reducción del uso de animales de experimentación en la docencia de la fisiología, con prioridad para la simulación y la inteligencia artificial como alternativas pedagógicas viables.

Posicionamiento del autor: Este artículo de posición defiende la necesidad de una transición progresiva y planificada hacia la reducción de su uso en la docencia, con prioridad para la simulación avanzada y la inteligencia artificial. El autor construyó el argumento a partir de una búsqueda narrativa en PubMed, Scopus, SciELO y Google Scholar, organizada en cuatro ejes: los fundamentos éticos de las Tres R, la evidencia pedagógica de las alternativas no animales, el aporte específico de la IA y el contexto regulatorio cubano.

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Conclusiones: La evidencia respalda esta transición para el aprendizaje conceptual, aunque exige cautela en los objetivos ligados a la destreza técnica manual, siempre que se garanticen las competencias prácticas esenciales del futuro egresado.

Palabras clave: experimentación animal; inteligencia artificial; fisiología; educación médica.

ABSTRACT

Introduction: Practical teaching of physiology has traditionally relied on experimental animals, a practice now questioned on ethical, technical, and economic grounds, amid the rise of alternatives based on simulation and artificial intelligence (AI).

Author's positioning: This position article argues for a progressive, planned transition toward reducing their use in teaching, prioritizing advanced simulation and AI. The author built the argument from a narrative search in PubMed, Scopus, SciELO, and Google Scholar, organized around four axes: the ethical foundations of the Three Rs; pedagogical evidence on non-animal alternatives; the specific contribution of AI; and the Cuban regulatory context.

Conclusions: The evidence supports this transition for conceptual learning, though it calls for caution regarding objectives tied to manual technical skill, provided the essential practical competencies of future graduates are guaranteed.

Keywords: animal experimentation; artificial intelligence; physiology; education, medical.

Recibido: 18/09/2026

Aceptado: 23/10/2026

Introducción

La fisiología normal y patológica ha construido su enseñanza práctica, desde sus orígenes, sobre la observación directa de procesos biológicos en animales vivos: la

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

contracción muscular en preparaciones neuromusculares, los reflejos espinales en la rana, o la actividad eléctrica cardíaca en modelos mamíferos han sido, durante generaciones, la vía privilegiada para que el estudiante de medicina comprenda de forma vivencial los mecanismos que después aplicará en la clínica.

Sin embargo, esta tradición pedagógica coexiste hoy con tres tensiones difíciles de ignorar. La primera es ética: el reconocimiento creciente de la sensibilidad y la capacidad de sufrimiento de los animales de laboratorio han situado el principio de las Tres R (reemplazar, reducir y refinar), formulado en su origen por *Russell* y *Burch*,[1] como referente obligado de cualquier actividad docente o investigativa que involucre biomodelos. La segunda es técnica y pedagógica: un cuerpo creciente de evidencia compara de forma sistemática los resultados de aprendizaje obtenidos con animales frente a los alcanzados con simulación, sin que la superioridad de la vía animal esté ya garantizada de antemano. La tercera es de recursos: el mantenimiento de bioterios, la adquisición de especímenes y el cumplimiento de estándares de bienestar animal representan una carga económica e institucional considerable, que resulta más sensible aún en universidades médicas con recursos limitados como las cubanas.

Este artículo de posición, escrito desde mi experiencia como especialista en fisiología normal y patológica y docente universitario, defiende una tesis concreta: la docencia de fisiología en las universidades de ciencias médicas debe avanzar de manera progresiva y planificada hacia la disminución del uso de animales de experimentación, mediante su sustitución, siempre que sea viable desde el punto de vista pedagógico, por modelos de simulación y herramientas de inteligencia artificial. Esta posición no equivale a proponer la eliminación absoluta e inmediata del animal como recurso docente, sino a defender un cambio de prioridad, que el reemplazo y la reducción dejen de ser una alternativa marginal y pasen a ser el punto de partida por defecto en el diseño de cada práctica de laboratorio. Por todo lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue fundamentar la necesidad de una transición progresiva y planificada hacia la reducción del uso de animales de experimentación en la docencia de la fisiología, con prioridad para la simulación y la inteligencia artificial como alternativas pedagógicas viables.

Métodos

El artículo se organizó en cuatro ejes: los fundamentos éticos del principio de las Tres R, la evidencia científica sobre la eficacia pedagógica de las alternativas no

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

animales, el aporte específico de la inteligencia artificial y la simulación avanzada, y el contexto regulatorio y estructural cubano. El autor identificó la evidencia mediante una búsqueda narrativa no sistemática en PubMed, Scopus, SciELO y Google Scholar, en la que combinó términos en español e inglés relacionados con experimentación animal, alternativas no animales, simulación, inteligencia artificial, enseñanza de la fisiología y educación médica, y priorizó revisiones sistemáticas, metaanálisis, estudios comparativos y documentos de posición publicados entre 2021 y 2026, sin restricción de fecha para los referentes éticos e históricos considerados fundacionales para el tema, como la obra original de *Russell* y *Burch*.[1]

El autor incluyó trabajos que compararan de manera directa métodos animales y no animales, o que evaluaran la implementación de simulación e inteligencia artificial en educación superior en ciencias de la salud; y excluyó publicaciones centradas solo en investigación básica sin transferencia docente explícita, así como aquellas sin revisión por pares, salvo documentos institucionales o regulatorios relevantes para el contexto cubano.

Desarrollo

El principio de las Tres R como fundamento ético

Desde que *Russell* y *Burch*[1] formularan el principio de las Tres R en *The Principles of Humane Experimental Technique*,[1] el reemplazo de animales por métodos alternativos, siempre que exista evidencia de su validez científica, ha dejado de ser una opción filantrópica para convertirse en un estándar internacional de buena práctica científica y docente. Más de 60 años después, *Poh* y *Stanslas*[2] documentan que el catálogo de alternativas disponibles para materializar ese principio se ha ampliado y madurado de forma notable, e incorpora modelos computacionales, sistemas *in vitro* y, cada vez con mayor peso, herramientas de inteligencia artificial capaces de sustituir etapas completas de la experimentación tradicional. Lo que en 1959 era una aspiración ética, hoy cuenta con un respaldo tecnológico concreto que antes no existía.

En el contexto latinoamericano y cubano, *Betancourt* y otros[3] han documentado que persisten debilidades importantes en la aplicación de este principio: comités de ética con capacitación insuficiente, escaso conocimiento de métodos alternativos y deficiencias estructurales en los bioterios universitarios. *De la Peña*,[4] en el escenario concreto de los centros de enseñanza médica superior cubanos, señaló

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

hace más de dos décadas problemas similares; entre ellos, la falta de formación teórico-práctica del personal docente y el desconocimiento de las guías institucionales disponibles. La persistencia de estas limitaciones no es un argumento en contra de la experimentación animal en sí, pero constituye un argumento a favor de reducir su empleo hasta donde la pedagogía lo permita, allí donde las condiciones para garantizar un uso irreprochable desde el punto de vista ético no siempre están aseguradas.

Evidencia científica sobre la eficacia pedagógica de las alternativas no animales

El argumento ético por sí solo no bastaría, si las alternativas no animales resultaran inferiores desde el punto de vista pedagógico. La evidencia disponible, sin embargo, no respalda esa objeción de manera generalizada. La revisión sistemática de *Ormandy* y otros,[5] quienes analizaron 20 estudios publicados entre 2005 y 2020 sobre disección animal frente a métodos no animales, encontró que en el 95 % de los casos los estudiantes obtuvieron resultados de aprendizaje iguales o superiores con alternativas virtuales o modelos tridimensionales, lo que llevó a sus autores a recomendar la sustitución progresiva de la disección animal en todos los niveles educativos.

En el terreno específico de la fisiología, *Zhang* y otros[6] revisaron once estudios sobre laboratorios virtuales y concluyeron que estos son efectivos para el aprendizaje conceptual, y que los modelos híbridos que combinan práctica presencial y virtual son al menos tan eficaces como el laboratorio presencial tradicional para ese fin. Un estudio reciente de *Soulage* y otros[7] confirma y profundiza este hallazgo: al evaluar durante tres cursos consecutivos (2023-2025) la plataforma ExAVir, un laboratorio virtual desarrollado en Francia para sustituir experimentos con animales en fisiología vascular, encontraron que el 90 % de los 197 estudiantes participantes valoró de manera positiva evitar el uso de animales, y que su nivel de conocimiento autopercibido sobre fisiología vascular aumentó con significación estadística tras la actividad virtual. En la misma línea, *Durand* y otros,[8] en un currículo médico híbrido basado en aprendizaje por problemas, compararon la percepción de estudiantes que utilizaron laboratorio animal frente a laboratorio virtual, sin encontrar una preferencia inequívoca a favor del primero. *Telecan* y otros,[9] por su parte, sistematizaron la evidencia sobre mesas de disección virtual en anatomía, y hallaron niveles de satisfacción y utilidad percibida comparables, y, en algunos casos, superiores a los métodos tradicionales.

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Estos hallazgos no deben leerse como una descalificación del laboratorio animal, sino como evidencia de que, para buena parte de los objetivos de aprendizaje conceptual propios de la fisiología, la alternativa no animal ya no representa una renuncia a la calidad docente. Esta conclusión coincide con la revisión de literatura de *Byukusenge* y otros[10] sobre laboratorios virtuales en la enseñanza de Biología, que documentó efectos positivos consistentes sobre el rendimiento académico y la comprensión conceptual en disciplinas biológicas afines a la fisiología; y con la experiencia de *Ekarattanawong* y otros,[11] quienes documentaron en Tailandia la implementación de un laboratorio virtual de fisiología durante la pandemia de COVID-19 con niveles de satisfacción estudiantil favorables, lo que sugiere que la viabilidad de estas alternativas ya ha sido puesta a prueba en contextos de recursos limitados comparables al cubano.

El aporte específico de la inteligencia artificial y la simulación avanzada

Más allá de la simulación convencional, la incorporación de la inteligencia artificial abre una vía de reemplazo distinta en lo cualitativo. *Rudroff*,[12] aunque enfocado en la investigación neurológica más que en la docencia, ilustra con claridad el mecanismo. Organoides cerebrales, modelos computacionales y aprendizaje automático permiten hoy recrear procesos fisiológicos complejos con un nivel de detalle que hace un lustro era impensable fuera del organismo vivo, lo que resulta trasladable de manera directa al aula de fisiología. En esa misma dirección, la revisión de *Sandhu* y otros[13] sostiene que la IA no solo reemplaza al animal en tareas puntuales, sino que potencia, a la vez, los tres componentes del principio de las Tres R: facilita el reemplazo mediante predicciones y simulaciones, la reducción mediante diseños experimentales optimizados, y el refinamiento, mediante mejoras en el bienestar animal basadas en datos, allí donde el animal todavía resulte imprescindible.

La IA aporta, de manera específica, capacidades que la simulación estática no ofrece: la generación de escenarios clínico-fisiológicos variables y personalizados para cada estudiante, y la retroalimentación inmediata sobre el razonamiento fisiopatológico. *Nuñez* y otros,[14] en un curso universitario de fisiología, integraron un asistente de IA generativa como herramienta de aprendizaje autodirigido y encontraron una alta receptividad estudiantil hacia su uso académico, lo que sugiere que estas herramientas dejan ya de ser un recurso experimental de nicho para convertirse en un componente habitual del aula.

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Esta tendencia no es aislada: un análisis bibliométrico de *Taylor* y otros[15] sobre la producción científica biomédica entre 2003 y 2022 documentó un aumento sostenido de las publicaciones basadas solo en métodos no animales frente a las que emplean animales, lo que respalda la idea de que la sustitución tecnológica del animal, también en el ámbito docente, responde a una transformación estructural del campo y no a una moda pasajera. En ese sentido, el taller internacional de expertos documentado por *Deckha* y otros[16] concluye que corresponde a las propias universidades liderar de forma activa esta transición, en lugar de esperar a que la tecnología o la regulación la impongan desde fuera.

El contexto cubano: regulación, limitaciones y oportunidades

En Cuba, la ausencia de una ley nacional específica sobre experimentación animal ha dejado la regulación del uso de biomodelos en manos de guías institucionales, emitidas, en lo fundamental, a partir de la creación del Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio (CENPALAB), y de la supervisión de los comités de ética de las investigaciones en cada centro.[3] Esta estructura, aunque funcional, deposita en cada universidad médica una responsabilidad considerable de autorregulación, en un contexto de recursos materiales limitados para el mantenimiento de bioterios y para la capacitación continua del personal, tal como documentó, ya en 2002, *De la Peña*,[4] para las propias facultades de ciencias médicas del país.

Esta combinación de factores convierte a la universidad médica cubana en un escenario donde la sustitución progresiva por simulación e IA no es solo una aspiración ética, sino también una vía pragmática para sostener la calidad docente sin depender de una infraestructura de bioterio cada vez más costosa de mantener.

Lo que la evidencia no resuelve todavía

Los límites de este argumento son reales, y la evidencia más reciente es, en este punto, más matizada que concluyente. El propio estudio de *Soulage* y otros[7] sobre la plataforma ExAVir, pese a mostrar resultados favorables en conocimiento autopercibido, encontró que el 88 % de los estudiantes se opuso a que el laboratorio virtual sustituyera todas las sesiones prácticas presenciales, y que solo el 21 % se sintió capaz de realizar experimentos reales de forma independiente al finalizar el curso; el análisis temático de sus comentarios reveló un reclamo recurrente de experiencia táctil, manejo de material biológico real e interacción directa con el

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

profesor ante situaciones imprevistas. *Griffin* y otros,[17] en un estudio con más de 600 estudiantes de ciencias de la vida en Irlanda, llegaron a una conclusión convergente: los laboratorios virtuales aumentan la confianza y el compromiso de los estudiantes, pero estos los prefieren de forma mayoritaria como complemento y no como sustituto de las clases presenciales.

Estos hallazgos no invalidan la posición defendida en este artículo, pero sí la matizan: la evidencia disponible respalda con solidez el reemplazo del animal para el aprendizaje conceptual y para buena parte de las prácticas ilustrativas, mientras que exige mayor cautela y evaluación continua en aquellos objetivos formativos ligados al desarrollo de destreza técnica manual, al manejo de tejido vivo y a la exposición controlada a la variabilidad biológica real, dimensiones para las que la alternativa virtual funciona mejor como complemento que como reemplazo total.

Conclusiones

La evidencia científica disponible, el marco ético internacional del principio de las Tres R y las limitaciones estructurales propias de las universidades médicas cubanas convergen en una misma dirección: la docencia de la fisiología normal y patológica debe avanzar hacia una disminución progresiva y planificada del uso de animales de experimentación: debe priorizar la simulación avanzada y las herramientas de inteligencia artificial como primera opción metodológica, y reservar el laboratorio animal para aquellos objetivos de aprendizaje en los que la evidencia actual todavía no reconoce una alternativa equivalente. Esta transición no debe entenderse como una renuncia al rigor formativo, sino como su actualización: sustituir por defecto no es sustituir sin criterio, sino invertir la carga de la prueba, de modo que sea el uso del animal lo que deba justificarse en cada práctica de laboratorio.

Referencias bibliográficas

1. Russell WMS, Burch RL. The principles of humane experimental technique. London: Methuen; 1959.

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

2. Poh WT, Stanslas J. The new paradigm in animal testing–"3Rs" alternatives. Regul Toxicol Pharmacol. 2024;153:105705. DOI: https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2024.105705

3. Betancourt Valladares M, Domínguez Montero G, Casado Hernández I, Rodríguez Martín O, Fajardo Tornés YL. Consideraciones éticas en investigaciones experimentales con modelos animales. Mediciego. 2015 [acceso 18/09/2026];21(4):81-91. Disponible en: https://revmediciego.sld.cu/index.php/mediciego/article/view/498

4. De la Peña Pino RR. Algunas consideraciones éticas sobre la experimentación animal en los centros de enseñanza médica superior. Rev Cubana Investig Bioméd. 2002 [acceso 18/09/2026];21(4):270-5. Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/ibi/v21n4/ibi08402.pdf

5. Ormandy E, Schwab JC, Suiter S, Green N, Oakley J, Osenkowski P, et al. Animal dissection vs. non-animal teaching methods: a systematic review of pedagogical value. Am Biol Teach. 2022;84(7):399-404. DOI: https://doi.org/10.1525/abt.2022.84.7.399

6. Zhang X, Al-Mekhled D, Choate J. Are virtual physiology laboratories effective for student learning? A systematic review. Adv Physiol Educ. 2021;45(3):467-80. DOI: https://doi.org/10.1152/advan.00016.2021

7. Soulage CO, Legeay S, Chevrier T, Baetz D. Using a physiology virtual laboratory to explore vascular reactivity: feedback from undergraduate biology students in France. Adv Physiol Educ. 2026;50(4):613-25. DOI: https://doi.org/10.1152/advan.00276.2025

8. Durand MD, Restini CB, Wolff AC, Faria M Jr, Couto LB, Bestetti RB. Students' perception of animal or virtual laboratory in physiology practical classes in PBL medical hybrid curriculum. Adv Physiol Educ. 2019;43(4):451-7. DOI: https://doi.org/10.1152/advan.00005.2019

9. Telecan T, Capraș RD, Filip GA, Bonea M, Crivii CB. Dissection in the 21st century: virtual tables versus traditional methods and their influence on medical students' perception — a systematic review. BMC Med Educ. 2025;25(1):1-15. DOI: https://doi.org/10.1186/s12909-025-07946-6

10. Byukusenge C, Nsanganwimana F, Tarmo AP. Effectiveness of virtual laboratories in teaching and learning biology: a review of literature. Int J Learn Teach Educ Res. 2022;21(6):1-17. DOI: https://doi.org/10.26803/ijlter.21.6.1

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

11. Ekarattanawong S, Piyabhan P, Srisawat U, Thongsepee N, Sookprasert N, Mathuradavong N, *et al*. Experience of online physiology laboratory teaching for undergraduate students during the COVID-19 pandemic in Thailand. Adv Physiol Educ. 2023;47(4):625-32. DOI: https://doi.org/10.1152/advan.00079.2021

12. Rudroff T. Artificial intelligence as a replacement for animal experiments in neurology: potential, progress, and challenges. Neurol Int. 2024;16(4):805-20. DOI: https://doi.org/10.3390/neurolint16040060

13. Sandhu JS, Parida A, Hegde S, Manju V. Artificial intelligence in biomedical research: advancing non-animal methodologies. Front Anim Sci. 2025;6:1687111. DOI: https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1687111

14. Nuñez P, Argüelles J, Perillan C. Integration of artificial intelligence as a self-directed learning tool in an undergraduate physiology course. Adv Physiol Educ. 2026;50(2):413-21. DOI: https://doi.org/10.1152/advan.00174.2025

15. Taylor K, Modi S, Bailey J. An analysis of trends in the use of animal and non-animal methods in biomedical research and toxicology publications. Front Lab Chip Technol. 2024;3:1426895. DOI: https://doi.org/10.3389/frlct.2024.1426895

16. Deckha M, Michel M, Azilagbetor D, Blattner C, Cajiga Morales RM, Davies G, et al. Accelerating animal replacement: how universities can lead — results of a one-day expert workshop in Zurich, Switzerland. Altern Lab Anim. 2025;53(2):106-18. DOI: https://doi.org/10.1177/02611929251317434

17. Griffin CS, Loughran S, Kelly B, Healy E, Lambe G, van Rossum A, *et al*. Virtual laboratories complement but should not replace face-to-face classes: perceptions of life science students at Dundalk Institute of Technology, Ireland. Adv Physiol Educ. 2025;49(2):314-30. DOI: https://doi.org/10.1152/advan.00227.2024

Conflicto de intereses

El autor declara que no existe conflicto de intereses.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Durante la preparación de este manuscrito, el autor empleó el modelo de lenguaje Claude Sonnet 5 (Anthropic) en septiembre de 2026, como herramienta de apoyo para la revisión de estilo conforme a las normas editoriales de esta revista. El autor

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

revisó, editó y asumió la responsabilidad íntegra sobre la exactitud, integridad y originalidad del contenido final. La herramienta de IA no no figura como autora ni como fuente de referencia.

Esta obra está bajo una licencia https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES