

Integración de la bioingeniería en la educación superior: desafíos pedagógicos y oportunidades formativas en entornos STEM

Integration of Bioengineering in Higher Education: Pedagogical Challenges and Training Opportunities in STEM Environments

Wilfredo Fariñas-Coronado¹, wfarinas@upr.edu, <https://orcid.org/0000-0003-2095-5755>

¹Polytechnic University of Puerto Rico, Puerto Rico, Estados Unidos.

Recibido(23/07/2025), Aceptado (22/11/2025)

Resumen. La bioingeniería se ha consolidado como un campo interdisciplinar clave en la educación superior, especialmente en entornos STEM. Este estudio analizó, mediante una revisión documental, los principales desafíos pedagógicos y las oportunidades formativas asociadas a su integración educativa. Los resultados evidencian un predominio de metodologías activas, como la simulación, los laboratorios virtuales y el uso de *wearables*, las cuales favorecen la comprensión de contenidos complejos y la motivación estudiantil. Se concluye que la efectividad de estas estrategias depende de su adecuada articulación pedagógica y de la incorporación de dimensiones éticas y sociales en la formación bioingenieril.

Palabras clave: bioingeniería, entornos STEM, metodologías activas, innovación pedagógica.

Abstract. Bioengineering has become a key interdisciplinary field in higher education, particularly within STEM environments. This study analyzed, through a documentary review, the main pedagogical challenges and training opportunities associated with its educational integration. The results reveal a predominance of active learning methodologies, such as simulation, virtual laboratories, and the use of *wearables*, which enhance the understanding of complex content and increase student motivation. It is concluded that the effectiveness of these strategies depends on their appropriate pedagogical articulation and on the incorporation of ethical and social dimensions in bioengineering education.

Keywords: bioengineering, STEM environments, active learning methodologies, pedagogical innovation.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la bioingeniería se ha consolidado como uno de los campos más dinámicos e interdisciplinarios del conocimiento científico y tecnológico, al articular principios de la ingeniería con las ciencias biológicas, médicas y de la salud [1]. Su rápido desarrollo ha dado lugar a innovaciones significativas en áreas como los dispositivos biomédicos, la ingeniería de tejidos, los biosensores, la bioinformática y la inteligencia artificial aplicada a sistemas biológicos. Este escenario plantea nuevos retos no solo a nivel tecnológico, sino también en el ámbito educativo, particularmente en la formación de profesionales capaces de desenvolverse en entornos altamente complejos, cambiantes y multidisciplinarios.

En el contexto de la educación superior, la incorporación de la bioingeniería exige repensar los modelos pedagógicos tradicionales, que históricamente han privilegiado la enseñanza fragmentada por disciplinas, con

escasa integración entre teoría, práctica y reflexión ética [2], [3]. La naturaleza híbrida de la bioingeniería demanda enfoques formativos que promuevan el pensamiento sistémico, la resolución de problemas reales, la capacidad de trabajar en equipos interdisciplinarios y la comprensión de los impactos sociales de la tecnología. En este sentido, los entornos educativos basados en STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) surgen como un marco propicio para la integración de saberes, al fomentar aprendizajes activos, contextualizados y orientados a la innovación [4].

No obstante, la integración efectiva de la bioingeniería en los programas de educación superior enfrenta desafíos pedagógicos significativos. Entre ellos se encuentran la actualización curricular, la formación docente en enfoques interdisciplinarios, la limitada disponibilidad de infraestructura especializada y la necesidad de equilibrar el rigor científico con metodologías educativas innovadoras [5]. A ello se suma la creciente preocupación por la formación ética y social del futuro bioingeniero, en un contexto donde las aplicaciones tecnológicas inciden directamente en la vida, la salud y el bienestar humano.

Paralelamente, este escenario abre oportunidades formativas relevantes, especialmente a través del uso de metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos, la simulación computacional, los laboratorios virtuales y la integración de herramientas digitales avanzadas [6]. Estas estrategias permiten superar, en parte, las limitaciones materiales, al tiempo que fortalecen competencias clave como el pensamiento crítico, la creatividad, la toma de decisiones y la responsabilidad social [7]. De este modo, la educación en bioingeniería no solo se orienta a la adquisición de conocimientos técnicos, sino también al desarrollo integral del estudiante como agente de innovación y transformación social.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de carácter documental, orientado al análisis de la integración de la bioingeniería en la educación superior y de los desafíos pedagógicos y oportunidades formativas que emergen en entornos STEM. El estudio adoptó un diseño no experimental y descriptivo-analítico, dado que se basó en la revisión, selección e interpretación de fuentes secundarias previamente publicadas, sin manipulación de variables. La unidad de análisis estuvo constituida por estudios académicos, informes institucionales y documentos normativos relacionados con la enseñanza de la bioingeniería, la educación en ingeniería y los enfoques STEM en educación superior. Se consideraron publicaciones correspondientes al período 2015–2024, con el fin de recoger tendencias contemporáneas y enfoques pedagógicos actuales.

El análisis de la información se llevó a cabo mediante una lectura crítica y comparativa de los documentos seleccionados, identificando categorías temáticas relacionadas con desafíos pedagógicos (interdisciplinariedad, formación docente, currículo, ética) y oportunidades formativas (metodologías activas, simulación, aprendizaje basado en proyectos, uso de tecnologías digitales). Los resultados se organizaron de manera sintética, priorizando la coherencia conceptual y la relevancia para el contexto de la educación superior STEM. Este enfoque metodológico permitió generar una visión integrada y reflexiva sobre la enseñanza de la bioingeniería, adecuada a los objetivos de un artículo corto y sustentada en evidencia académica actual.

III. RESULTADOS

La evidencia revisada indica que la integración de la bioingeniería en la educación superior se consolida principalmente mediante estrategias de aprendizaje activo, destacando la simulación, el uso de *wearables* y biosensores, los laboratorios virtuales, el aprendizaje basado en proyectos y los enfoques transdisciplinarios orientados a problemas reales del sistema de salud. En conjunto, los estudios coinciden en que estas metodologías

facilitan la comprensión de contenidos complejos y fortalecen dimensiones clave del aprendizaje, como la motivación, el interés y la percepción de relevancia profesional. En particular, la incorporación de tecnologías bioingenieriles en experiencias contextualizadas se asocia con mejoras en la percepción del aprendizaje y con una mayor conexión entre la formación académica y la práctica profesional, mientras que los entornos de simulación y la virtualización de prácticas han demostrado ser eficaces para sostener y enriquecer la experiencia formativa, especialmente en contextos de educación remota. De manera complementaria, la literatura evidencia una expansión del uso educativo de biosensores hacia la analítica del aprendizaje, lo que abre oportunidades para innovar en evaluación y personalización formativa, aunque también plantea desafíos éticos y pedagógicos. Finalmente, la orientación transdisciplinar emerge como un rasgo distintivo de la formación en bioingeniería, al articular saberes de distintas ingenierías para abordar problemáticas complejas del ámbito sanitario y reforzar su pertinencia social en entornos STEM.

La Tabla 1 resume el corpus de evidencia utilizado en este artículo corto, destacando el enfoque didáctico, el contexto de aplicación y el tipo de resultado reportado por cada estudio. En términos comparativos, se aprecia que la innovación más frecuente se concentra en estrategias de aprendizaje activo (simulación, laboratorios virtuales, aprendizaje basado en proyectos y experiencias con dispositivos), con resultados reportados principalmente a través de percepciones estudiantiles y de egresados, retroalimentación del alumnado y evaluación por desempeño del curso, además de revisiones sistemáticas orientadas a mapear tendencias.

Tabla 1. Principales aportes encontrados en la documentación

Ref.	Enfoque didáctico	Contexto / curso	Tipo de evidencia reportada	Resultado educativo reportado (síntesis)
[1]	Aprendizaje basado en proyectos (PBL)	<i>Biosensors and Transducers</i> (pregrado, BME)	Evaluación por resultados de curso + retroalimentación	Mejora de comprensión profunda y pensamiento crítico
[2]	Laboratorio remoto + simulación gamificada	Laboratorio integrador BME durante COVID-19	Resultados de implementación + retroalimentación estudiantil	Continuidad del aprendizaje práctico en entornos remotos
[3]	Aprendizaje experiencial con <i>wearables</i>	<i>Biomedical signals & systems analysis</i> (BME)	Percepción de aprendizaje + análisis de curso	Aumento de motivación, relevancia e interés
[4]	Experiencial transdisciplinar	Curso electivo de gestión hospitalaria (BME + Ing. Industrial)	Evaluación formativa y sumativa + encuesta	Mejor preparación para sistemas sanitarios complejos
[5]	Laboratorios virtuales	Curso médico de pregrado	Estudio de caso + retroalimentación del alumnado	Mejora del proceso y resultados de aprendizaje
[6]	Biosensores y <i>wearables</i> en educación (revisión)	Revisión de literatura	Revisión sistemática	Identificación de tendencias y desafíos éticos
[7]	Simulación educativa	Modelado de sistemas sanitarios (BME)	Encuesta a egresados ($n = 78$)	Alta efectividad percibida para aprendizaje y práctica profesional

La Figura 1 muestra la distribución temporal de los estudios considerados en la revisión, correspondientes al período 2020–2025. Se observa una concentración creciente de publicaciones en los años más recientes, particularmente a partir de 2023, lo que evidencia el interés sostenido y emergente por la integración de la bioingeniería en contextos educativos STEM. Este incremento coincide con la aceleración de procesos de innovación pedagógica impulsados por la virtualización de la enseñanza, la incorporación de tecnologías digitales y la necesidad de adaptar la formación bioingenieril a entornos más flexibles e interdisciplinarios.

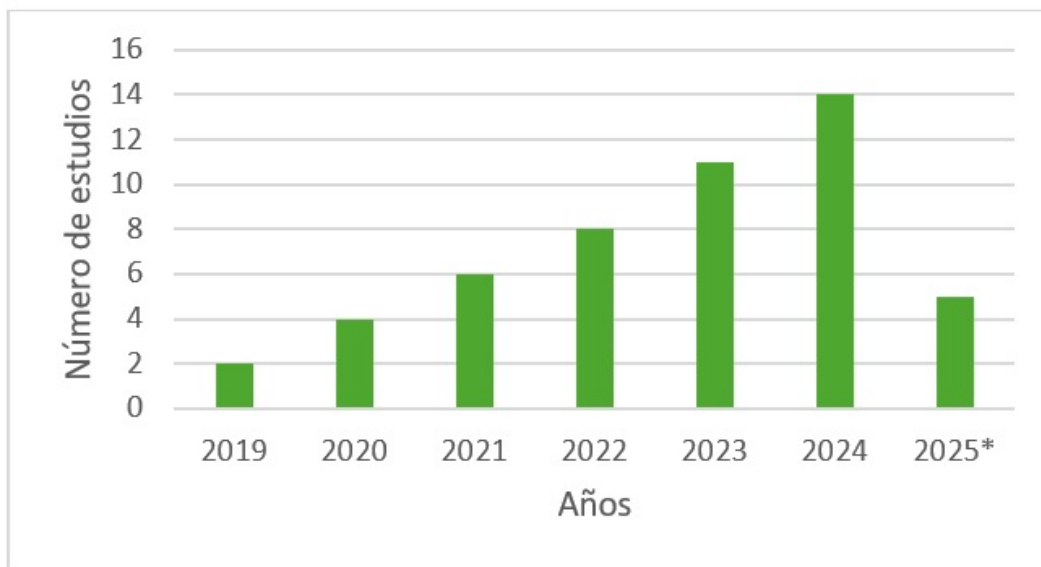


Fig. 1. Estudios analizados por año (extracto del corpus documental).

CONCLUSIONES

Los resultados evidencian que la integración de la bioingeniería en la educación superior se encuentra en un proceso de consolidación pedagógica, impulsado principalmente por metodologías activas y por el uso de tecnologías propias del campo, como la simulación, los laboratorios virtuales y los dispositivos *wearables*. Estas estrategias han demostrado ser especialmente efectivas para abordar la complejidad conceptual de la bioingeniería y para fortalecer la motivación y la percepción de relevancia profesional en los estudiantes.

Asimismo, la revisión documental confirma que los entornos STEM ofrecen un marco adecuado para promover experiencias de aprendizaje interdisciplinarias, siempre que estas se acompañen de un diseño instruccional coherente y de una intencionalidad pedagógica clara. La tecnología, por sí sola, no garantiza mejoras educativas, sino que su impacto depende de la articulación entre objetivos formativos, metodologías y evaluación. El estudio pone de manifiesto que la educación en bioingeniería debe trascender la formación técnica, incorporando dimensiones éticas, sociales y contextuales. En este sentido, el fortalecimiento de modelos formativos integrales representa una oportunidad clave para preparar profesionales capaces de responder a los desafíos científicos y sociales del siglo XXI.

REFERENCIAS

- [1] S. Sankaran, M. Pallikonda Rajasekaran, and C. Sivapragasam, "Project-based learning: A novel approach to teach biosensors and transducers course for engineering students," *Journal of Engineering Education Transformations*, vol. 34, no. 1, pp. 61–69, jul 2020, doi: 10.16920/jeet/2020/v34i1/151945.

- [2] T. E. Allen and S. D. Barker, "BME labs in the era of COVID-19: Transitioning a hands-on integrative lab experience to remote instruction using gamified lab simulations," *Biomedical Engineering Education*, vol. 1, pp. 99–104, 2021, doi: 10.1007/s43683-020-00015-y.
- [3] L. Montesinos, A. Santos-Díaz, D. E. Salinas-Navarro, and L. Cendejas-Zaragoza, "Experiential learning in biomedical engineering education using wearable devices: A case study in a biomedical signals and systems analysis course," *Education Sciences*, vol. 12, no. 9, p. 598, 2022, art. no. 598. doi: 10.3390/educsci12090598.
- [4] L. Montesinos, D. E. Salinas-Navarro, and A. Santos-Díaz, "Transdisciplinary experiential learning in biomedical engineering education for healthcare systems improvement," *BMC Medical Education*, vol. 23, p. 207, 2023, art. no. 207. doi: 10.1186/s12909-023-04171-x.
- [5] M. A. Hernández-Mustieles, Y. E. Lima-Carmona, M. A. Pacheco-Ramírez, A. A. Mendoza-Armenta, J. E. Romero-Gómez, C. F. Cruz-Gómez, D. C. Rodríguez-Alvarado, A. Arceo, J. G. Cruz-Garza, and M. A. Ramírez-Moreno, "Wearable biosensor technology in education: A systematic review," *Sensors*, vol. 24, no. 8, p. 2437, 2024, art. no. 2437. doi: 10.3390/s24082437.
- [6] P. Beatrice, A. Grimaldi, S. Bonometti, E. Caruso, M. Bracale, and A. Montagnoli, "Adding immersive virtual reality laboratory simulations to traditional teaching methods enhances biotechnology learning outcomes," *Frontiers in Education*, vol. 9, p. 1354526, jun 2024, art. no. 1354526. doi: 10.3389/feduc.2024.1354526.
- [7] E. Vallefucio, M. Romano, and A. Pepino, "The effectiveness of simulation in biomedical engineering education: A case study," in *Proc. 17th Int. Conf. on Computer Supported Education (CSEDU 2025)*, vol. 2, 2025, pp. 854–859, doi: 10.5220/0013479800003932.