

INVESTIGACIÓN FORMATIVA EN BIOTECNOLOGÍA: UNA REVISIÓN CRÍTICA.

David Sebastián Jiménez Villota
Jesús Insuasti

UNIVERSIDAD DE NARIÑO



Fecha de recepción: 14 de noviembre 2024

DOL:

Resumen.

La biotecnología es un campo multidisciplinario que combina ciencias fundamentales como la química, la biología y la física, generando innovaciones tecnológicas capaces de modificar artificialmente organismos vivos, y generando el concepto denominado "biotecnociencia". Este enfoque integrador tiene impactos potenciales en áreas como el bienestar social y el desarrollo económico. No obstante, su inclusión en la educación superior ha sido limitada, lo que refleja una limitada representación en aulas y una escasa investigación en métodos pedagógicos específicos para su enseñanza. Este artículo realiza una revisión crítica sobre la investigación formativa en biotecnología, analizando diversas estrategias didácticas y metodológicas implementadas en programas de educación superior. Mediante una revisión sistemática de literatura con enfoque cualitativo, se identificaron las metodologías más eficaces para desarrollar competencias científicas y técnicas en estudiantes universitarios. Los resultados subrayan la importancia de reestructurar las experiencias educativas mediante la integración de herramientas avanzadas como la bioinformática y la implementación de metodologías innovadoras en laboratorios. La investigación formativa en biotecnología facilita que los estudiantes empleen conocimientos teóricos en contextos prácticos, desarrollando habilidades técnicas imprescindibles y fomentando el pensamiento crítico e innovador. Sin embargo, la efectividad de estas metodologías se enfrenta a barreras destacables, incluyendo limitaciones en el acceso a recursos óptimos, enfoques tradicionales en los laboratorios, y formación insuficiente en investigación para docentes y estudiantes. Por tanto, resulta fundamental promover una cultura investigativa más arraigada en las instituciones educativas superiores, garantizando así una formación integral que responda de forma certera a las demandas actuales y futuras del campo biotecnológico.

Palabras clave: Biotecnología, didáctica, investigación formativa, estrategias didácticas, educación superior.

Abstract.

Biotechnology is a multidisciplinary field that combines fundamental sciences such as chemistry, biology, and physics, generating technological innovations capable of artificially modifying living organisms and giving rise to the concept of "biotechnoscience." This integrative approach has potential impacts on areas

FORMATIVE RESEARCH IN BIOTECHNOLOGY: A CRITICAL REVIEW.

such as social welfare and economic development. However, its inclusion in higher education has been limited, reflecting a limited presence in classrooms and scarce research on specific pedagogical methods for its teaching. This article presents a critical review of formative research in biotechnology, analyzing various didactic and methodological strategies implemented in higher education programs. Through a systematic literature review with a qualitative approach, the most effective methodologies for developing scientific and technical competencies in university students were identified. The results underscore the importance of restructuring educational experiences by integrating advanced tools such as bioinformatics and implementing innovative methodologies in laboratories. Formative research in biotechnology enables students to apply theoretical knowledge in practical contexts, developing essential technical skills and fostering critical and innovative thinking. However, the effectiveness of these methodologies faces significant barriers, including limited access to optimal resources, traditional approaches in laboratories, and insufficient research training for faculty and students. Therefore, it is crucial to promote a more deeply rooted research culture in higher education institutions, thus ensuring comprehensive training that accurately addresses the current and future demands of the biotechnology field.

Keywords: biotechnology, didactics, formative research, teaching strategies, higher education.

I. INTRODUCCIÓN.

La biotecnología es un campo multidisciplinario que integra ciencias como la química, la biología y física, permitiendo la comprensión de fenómenos vivos, a su vez, ofrecer herramientas y avances tecnológicos que permiten modificar artificialmente los organismos vivos. En este sentido, la convergencia de las ciencias y las tecnologías ha dado lugar al concepto de "biotecnociencia", donde se entrelaza la investigación científica y las aplicaciones tecnológicas sin distinciones claras entre conocimiento y aplicación (Espinel-Barrero & Valbuena-Ussa, 2018;

Roa Acosta & Valbuena Ussa, 2013). Este desarrollo tiene impactos potenciales en áreas como el bienestar social y económico, lo que subraya la importancia de promover su estudio y enseñanza (Abuqamar et al., 2015).

Aunque la biotecnología es un campo importante y de rápido avance, no ha sido un tema habitual en la enseñanza de la educación científica. Está poco representada en los planes de estudio y en las aulas, y no ha sido estudiada exhaustivamente por los investigadores en didáctica de las ciencias (Nordqvist & Aronsson, 2019; Orhan & Sahin, 2018). Además, la circulación de ideas y prácticas sobre su enseñanza es aún incipiente, aunque en crecimiento, y las propuestas sobre cómo enseñar este contenido no están completamente definidas (Marcelino & Marques, 2017). En este contexto, la didáctica, como actividad mediadora entre el docente y sus estudiantes, denota un papel primordial. Los profesores de biotecnología deben actualizar constantemente sus conocimientos en el área para fortalecer los conceptos fundamentales en el aula, empleando estrategias innovadoras que respondan a las necesidades actuales de la enseñanza (Bernardes, 2019; Uve et al., 2022). Al abarcar distintas opciones y áreas del conocimiento biotecnológico, es posible despertar el interés y motivación de los alumnos de educación superior.

La figura del educador en la educación superior es crucial para alcanzar un auténtico salto de calidad en la educación de un país, siendo la verdadera estrategia para modificar positivamente a la sociedad. Por ende, es esencial crear enfoques didácticos y pedagógicos que permitan condiciones para que la práctica alcance un diálogo actual y bien estructurado. Dentro del campo de las ciencias naturales, y específicamente en biotecnología, la implementación de diversas estrategias de aprendizaje es clave para que los estudiantes desarrollen habilidades prácticas y adquieran un aprendizaje significativo (Cortes et al., 2017).

En el ámbito universitario, la investigación formativa en biotecnología permite la formación de estudiantes como investigadores y profesionales competentes en un campo en continua evolución. Esta modalidad investigativa brinda a los estudiantes la posibilidad de utilizar sus conocimientos teóricos, adquirir habilidades prácticas y participar en proyectos relevantes, preparándolos para las futuras demandas científicas y tecnológicas (Crane & Page, 2022). Además, fomenta el desarrollo de habilidades técnicas y principios científicos fundamentales necesarios para la innovación (Baranovskyy & Baranovska, 2023).

Sin embargo, la accesibilidad limitada a experiencias de investigación auténticas y el enfoque tradicional de los laboratorios obstaculizan o inhiben el desarrollo del pensamiento crítico y la innovación (Chaari et al., 2020).

Adicional a ello, la investigación formativa enfrenta varios obstáculos que limitan su efectividad, como la falta de metodologías educativas adecuadas, el acceso limitado a recursos necesarios y la formación insuficiente en y para la investigación lo que implica que tanto docentes como estudiantes pueden no estar adecuadamente preparados para llevar a cabo investigaciones de alta calidad (Restrepo, 2007). Entre los principales problemas se encuentra el desarrollo limitado de habilidades investigativas y la falta de integración interdisciplinaria, lo que reduce la comprensión sobre el impacto de los avances tecnológicos (Nordqvist & Aronsson, 2019). La cultura de investigación, que engloba valores, actitudes, técnicas y métodos asociados con la actividad investigativa, no está suficientemente arraigada en todas las instituciones, afectando la capacidad para promover y sostener una investigación de alta calidad (Restrepo, 2007).

En este sentido, se hace necesaria una reestructuración de las experiencias educativas en biotecnología, incorporando herramientas avanzadas como la bioinformática y metodologías innovadoras en los laboratorios (Chaari et al., 2020). Esto no solo contribuirá al aprendizaje teórico, sino que también permitirá a los estudiantes aplicar estos conocimientos en entornos reales, desarrollando habilidades técnicas y de pensamiento crítico esenciales para carreras científicas (Kaufman, 2020). Por lo tanto, para abordar esta revisión, se adoptó un enfoque cualitativo mediante una revisión sistemática de la literatura, integrando análisis hermenéuticos que permitieran una comprensión profunda de las estrategias didácticas de la biotecnología. El objetivo de este artículo de revisión es sintetizar las estrategias didácticas y metodológicas de investigación formativa aplicadas en los programas de biotecnología de pregrado, con el fin de identificar aquellas que han demostrado ser más eficaces en la formación de competencias científicas y técnicas.

II. METODOLOGÍA.

Esta revisión se realizó desde un paradigma cualitativo, de naturaleza inductiva, lo que permite una flexibilidad en la recolección de datos. En este paradigma, la recolección y el análisis de los datos cualitativos se integran de

manera dinámica, reflejando una interacción constante entre ambos procesos (Hernández-Sampieri et al., 2014). Además, se adoptó un enfoque hermenéutico, enmarcado dentro del paradigma cualitativo, que facilita una comprensión profunda de los fenómenos estudiados mediante la interpretación de textos y discursos. Este enfoque pone énfasis en el contexto histórico, cultural y social, reconociendo que el conocimiento se construye mediante la interpretación y el diálogo, en lugar de ser un conjunto de hechos fijos y absolutamente objetivos (Finol de Franco & Vera Solórzano, 2020; Rojas Arango & Arroyo Ortega, 2021).

El presente artículo es una revisión sistemática, entendida como un estudio integrador, de naturaleza observacional y retrospectiva, que utiliza datos secundarios para combinar investigaciones enfocadas en una pregunta común (Beltrán, 2005). Este tipo de revisión proporciona una síntesis racional de la investigación básica y supera los estándares de una revisión narrativa, puesto que aplica estándares rigurosos a la investigación secundaria, similares a los utilizados en estudios de investigación primaria (Beltrán, 2005; Moreno et al., 2018). De este modo, se busca consolidar la evidencia existente, identificar áreas de mejora y establecer recomendaciones basadas en datos sólidos, con el fin de optimizar las estrategias didácticas y metodológicas de investigación formativa en biotecnología y disciplinas afines.

Para la selección de los artículos que sustentan el análisis documental de esta investigación, se emplearon diversas bases de datos bibliográficas, centrándose en revistas científicas de alto impacto. Las plataformas utilizadas incluyeron Google Scholar, ScienceDirect y Scopus, cada una consultada con un conjunto específico de palabras clave diseñadas para capturar la esencia de la investigación en biotecnología a nivel de pregrado. Los términos de búsqueda fueron “biotechnology undergraduate research” para Google Scholar, mientras que en ScienceDirect se amplió con términos como “biotechnology research education”. En Scopus, la estrategia de búsqueda se estructuró mediante la combinación de operadores booleanos: “biotechnology” AND “research” AND “undergraduate”.

En Scopus, se identificaron un total de 103 documentos, delimitando la búsqueda al período comprendido entre 2019 y 2024. Esta limitación temporal permitió centrar el análisis en las investigaciones más recientes y relevantes. La selección se restringió a artículos, capítulos de libros y artículos de conferencia, con el fin de abarcar una

amplia gama de formatos textuales ricos en contenido y análisis científico. Se incluyeron estudios de diversos países para obtener una perspectiva internacional, sin limitarse a un contexto geográfico específico. Además, se consideraron únicamente aquellos estudios que presentaran resultados empíricos y evidencias concretas relacionadas con la enseñanza de la biotecnología y áreas afines en la educación superior.

También se utilizaron plataformas avanzadas respaldadas con Inteligencia Artificial (IA), como SciSpace, Elicit y Consensus, en sus versiones gratuitas. Estas herramientas facilitaron la obtención de explicaciones claras y concisas proporcionadas por la IA a partir de cada artículo analizado, así como el descubrimiento de una red de artículos interconectados y relevantes, enriqueciendo la profundidad y el alcance de la investigación documental.

Los estudios se sometieron a un proceso de selección manual. En una primera etapa, se examinaron los títulos, resúmenes y conclusiones para eliminar los estudios que no cumplían con los criterios de inclusión. Posteriormente se realizó una revisión del texto completo de los estudios, asegurando su pertinencia. Para la extracción sistemática de datos de los estudios incluidos, se empleó una matriz de análisis documental.

La matriz de análisis documental permitió comparar y contrastar los hallazgos de los estudios incluidos, permitiendo identificar patrones comunes, discrepancias y vacíos en la literatura. A partir de esta comparación, se sintetizó cualitativamente la información, destacando temas emergentes, tendencias relevantes, y áreas que requieren mayor investigación.

La matriz de análisis documental abarcó un total de 10 artículos seleccionados de manera meticulosa. Este análisis cubrió diversas dimensiones, desde un Análisis Temático que comprende el Título, Temas, Subtemas y Tipo de población, hasta un Análisis Bibliométrico que detalla la Tipología Textual, Referencia APA, DOI o URL, Año, Palabras Clave, Base de datos, Idioma y País, junto con un resumen, resultados y conclusiones de cada documento. Además, se llevó a cabo un Análisis Metodológico enfocado en el Paradigma y Enfoque, Diseño del estudio, Procedimientos, Muestra Poblacional, Instrumentos, y la utilización de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) utilizadas, incluyendo software de análisis estadístico y equipos. Finalmente, se incluyeron Notas, Observaciones y Comentarios relevantes para cada artículo. Los resultados presentan un resumen de la

matriz de análisis documental, destacando las columnas más representativas o de mayor interés para el lector.

III. RESULTADOS.

En la revisión sistemática sobre investigación formativa en biotecnología en el pregrado; diversas fuentes destacan la aplicación de métodos innovadores, entre los cuales se encuentra el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), Experiencias de Investigación Basadas en Cursos (CUREs - Course-Based Undergraduate Research Experiences), Aprendizaje Basado en Problemas (PBL) y otras estrategias centradas en aprendizaje activo o basado en indagación.

A. Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP).

Ocampo-López et al. (2019) destacan cómo el ABP integra el currículo académico con grupos de investigación, fomentando la creación de tecnologías con potencial de comercialización. Los estudiantes participan activamente en la resolución de problemas reales, promoviendo la innovación tecnológica y social. Balasubramanian & Chatterjee (2022) aplican el ABP en bioinformática, donde los estudiantes desarrollan un flujo de trabajo en aplicaciones terapéuticas, utilizando herramientas de código abierto. Este tipo de aprendizaje les permite adquirir habilidades técnicas en la predicción y análisis de datos bioinformáticos.

Chaari et al. (2020) describen un curso basado en ABP donde los estudiantes purifican y caracterizan enzimas, integrando técnicas experimentales y herramientas bioinformáticas, lo que fortalece su capacidad de interpretar resultados y resolver problemas de laboratorio. Rendón-Castrillón et al. (2023) implementan el ABP apoyados en química verde y sostenibilidad, fomentando la solución de problemas reales con una guía hacia economía circular. Los estudiantes desarrollan habilidades de gestión del tiempo, experimentación y trabajo en equipo, vinculando la biotecnología con la sostenibilidad.

B. Experiencias de Investigación Basadas en Cursos (CUREs).

Mintzes & Walter (2020) subrayan que las CUREs permiten a los estudiantes participar en investigaciones reales con resultados desconocidos, promoviendo la autoeficacia

y la identificación como científicos. Esto incrementa su persistencia en las disciplinas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), además de ser inclusivo para estudiantes de distintas clases sociales. Roberts & Shell (2023) describen cómo los estudiantes trabajan en proyectos de biotecnología utilizando tecnologías avanzadas como CRISPRi y análisis de expresión génica. Estas actividades promueven la autonomía y el desarrollo de habilidades colaborativas, contribuyendo a investigaciones en curso.

Pieczynski et al. (2019) aplican CURE en cursos de genética utilizando la tecnología CRISPR-Cas9, donde los estudiantes diseñan y prueban herramientas genéticas, lo que fomenta la toma de decisiones y la resolución de problemas, mejorando sus competencias investigativas. Rulfs et al. (2022) integran a los estudiantes en iniciativas como el "Tiny Earth Initiative" y "SEA-PHAGES", donde buscan antibióticos y bacteriófagos. Estas experiencias promueven el sentido de pertenencia en los proyectos y mejoran las habilidades técnicas y científicas. Shelby (2019) implementa CURE en bioquímica, donde los estudiantes investigan interacciones proteína-proteína. Esto permite que se fomente la participación activa y el desarrollo de habilidades experimentales clave, mediante la indagación guiada y la mentoría entre pares.

Kaufman (2020) introduce un enfoque CURE en bioinformática, donde los estudiantes realizan análisis genómicos utilizando herramientas computacionales. Se fortalece la investigación activa y la colaboración entre estudiantes, mejorando sus competencias técnicas y permitiendo que se generen resultados para publicación. Gao & Guo (2023) aplican CUREs en bioinformática, enseñando a los estudiantes análisis de datos mediante la programación en R y el uso de bases de datos genómicas públicas. Mediante proyectos de investigación, los estudiantes adquieren competencias en análisis de datos y publican sus resultados, lo que fortalece su preparación para futuras investigaciones.

Johnson et al. (2022) destacan el uso de CUREs en biotecnología y biología sintética, donde los estudiantes diseñan y ensamblan dispositivos genéticos, de esta manera se mejora la comunicación científica, la resolución de problemas y el pensamiento crítico, fortaleciendo su sentido de pertenencia a una comunidad científica. Peyton & Skorupa (2021) aplican CUREs para que los estudiantes investiguen microorganismos que biodegradan plásticos. Estas actividades les permiten desarrollar habilidades en análisis de datos y trabajo colaborativo, preparándolos

para futuras carreras en biotecnología y microbiología. Balke et al. (2021) implementan CUREs en biotecnología con dos modalidades: investigación en el aula, que desarrolla pensamiento crítico y trabajo en equipo, e investigación mentorizada, donde los estudiantes trabajan en proyectos a largo plazo, fortaleciendo su autoeficacia y competencias experimentales.

C. Aprendizaje Basado en Indagación.

Desai et al. (2019) proponen un enfoque que combina actividades prácticas con el uso de herramientas tecnológicas, como Minitab, para análisis de datos y la redacción de artículos científicos. Esto permite a los estudiantes aplicar conceptos teóricos a situaciones prácticas, mejorando su comprensión de las metodologías de investigación. Williams et al. (2020) implementan un sistema de síntesis de proteínas sin células (CFPS), que permite a los estudiantes manipular maquinaria biológica. Esta estrategia práctica fomenta el aprendizaje activo y mejora su comprensión de procesos bioquímicos esenciales, proporcionando una experiencia de indagación en el aula.

D. Aprendizaje Basado en Problemas (PBL).

(Yani & Adiansyah, 2019) diseñaron un módulo de PBL, lo validaron y probaron, encontrando que este módulo mejoró significativamente el pensamiento crítico y los resultados de aprendizaje en el área cognitiva. Los estudiantes mostraron alta motivación, mayor participación en la resolución de problemas y un mejor entendimiento de los conceptos biotecnológicos. Shan et al. (2023) implementan un curso de laboratorio enfocado en el estudio del envejecimiento utilizando *Drosophila melanogaster*. Los estudiantes adquieren experiencia práctica en técnicas de laboratorio y análisis de datos, mejorando su confianza y comprensión de la investigación científica. Tikhomirova (2020) utiliza el PBL en proyectos grupales y análisis situacional, donde los estudiantes resuelven problemas relacionados con la biotecnología. Este enfoque promueve la autonomía y creatividad al aplicar conocimientos teóricos en situaciones profesionales simuladas, desarrollando competencias técnicas y transversales.

E. Aprendizaje Basado en la Investigación (ABI).

Almanza-Arjona et al. (2019) destacan que el ABI permitió a los estudiantes aplicar conceptos teóricos a investigaciones reales, mejorando sus habilidades

en investigación, pensamiento crítico y resolución de problemas. Los estudiantes involucrados obtuvieron mejores resultados que sus pares y mostraron una mayor motivación hacia el aprendizaje. Bickford et al. (2020) encontró que los estudiantes de STEM que participaron en investigaciones también tuvieron un rendimiento académico superior en diversas asignaturas. Además, observó que los estudiantes con interés en la investigación ya mostraban un mejor desempeño antes de involucrarse, lo que sugiere que el ABI atrae a estudiantes con una mayor motivación académica.

F. Aprendizaje Activo.

Basu (2023) presenta un curso introductorio sobre métodos de investigación en biotecnología, donde los estudiantes participan en actividades grupales y aplican técnicas básicas de laboratorio. Este enfoque fomenta el análisis crítico y la conexión entre la ciencia y la sociedad, promoviendo la participación de minorías subrepresentadas en STEM. Crane & Page (2022) implementan un módulo de laboratorio que enseña técnicas de biología molecular, como PCR sin plantilla y RT-PCR, para detectar ARN de SARS-CoV-2 en muestras ambientales. Los estudiantes diseñan y ejecutan experimentos basados en protocolos científicos, aplicando conocimientos teóricos en un contexto relevante y práctico.

Pao et al. (2021) aplican un enfoque de aprendizaje activo en bioinformática, donde los estudiantes estudian comunidades microbianas orales mediante la recolección de muestras, análisis por PCR y secuenciación. El curso culmina con la presentación de resultados en formato de póster, integrando genética, microbiología y análisis bioinformático en una experiencia real. Ripoll et al. (2023) destacan el uso de aprendizaje activo mediante proyectos presenciales que combinan secuencias de aprendizaje basadas en la utilización de las TIC y la resolución de problemas, fomentando el aprendizaje por descubrimiento y el trabajo colaborativo.

G. Otras estrategias innovadoras.

Iannotta et al. (2024) describen al enfoque narrativo y su integración en escenarios del mundo real con un perspectiva longitudinal. Se incluyen la incorporación de técnicas prácticas dentro de un contexto narrativo que simula retos sociales importantes, como el desarrollo de vacunas y la identificación de patógenos. Mediante el uso de la narrativa en la enseñanza, se favorece la retención

y comprensión profunda de conceptos complicados, lo que motiva a los estudiantes y mejora la experiencia educativa. Así, se fomenta la aplicación de técnicas de laboratorio en problemas interconectados, lo que ayuda a los estudiantes a develar la importancia social de sus habilidades técnicas, incrementando su interés en las ciencias aplicadas y sus perspectivas de carrera.

Por otra parte, Ningrum et al. (2020) se centran en el desarrollo de materiales educativos innovadores, como libros de texto basados en la investigación. El área de la bioinformática se emplea para vincular la ciencia y la tecnología de forma contextual, permitiendo a los estudiantes comprender conceptos de biotecnología a través de ejemplos prácticos. La metodología de desarrollo de "Dick y Carey" abarca etapas como el análisis de las necesidades educativas, el desarrollo de estrategias de aprendizaje, y la evaluación formativa y sumativa. Las pruebas y validaciones con expertos y estudiantes indican que este enfoque permite mejorar los resultados de aprendizaje.

En la Tabla 1, al final de este artículo, se incluye la matriz de análisis documental, en la cual se reportan diez artículos seleccionados meticulosamente según los criterios descritos en la metodología de esta investigación.

IV. DISCUSIÓN.

La matriz de análisis documental para la descripción de las iniciativas y proyectos recientes en el campo de la investigación en biotecnología destaca una amplia diversidad de enfoques, temáticas y metodologías empleadas para mejorar tanto la experiencia educativa como los avances investigativos en el campo. Los proyectos analizados destacan el empleo de experiencias de investigación de pregrado basadas en cursos (CURE por sus siglas en inglés), las cuales integran metodologías activas y tecnológicas para el aprendizaje práctico y aplicado. Estas experiencias fomentan una participación de los estudiantes en la investigación, incrementando su comprensión y habilidades en áreas científicas críticas (Chaari et al., 2020; Crane & Page, 2022; Kaufman, 2020; Mintzes & Walter, 2020).

Las investigaciones cubren áreas como la ingeniería biotecnológica, la biología molecular, la química verde y la bioquímica, así como subtemas como la inhibición enzimática, la modelización molecular, la pedagogía de

la investigación, el análisis bioinformático y la biología sintética. La población objetivo de estos estudios varía desde estudiantes de pregrado de diferentes años y disciplinas hasta estudiantes de maestría, reflejando la transversalidad y la importancia de la biotecnología en la formación académica a distintos niveles (Desai et al., 2019; Rendón-Castrillón et al., 2023).

El análisis bibliométrico y el metodológico indican una preferencia por enfoques empíricos y hermenéuticos mixtos, destacando la combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas para profundizar en el aprendizaje y la investigación. Se emplea una variedad de técnicas para la recopilación y análisis de datos, que van desde encuestas y análisis de datos institucionales hasta herramientas de software especializadas en análisis bioinformático, estadístico y de propiedad intelectual (Shan et al., 2023; Tikhomirova, 2020).

La evidencia y valoración de los estudios muestran un reconocimiento de la contribución de las TIC a la enseñanza y la investigación en biotecnología. Herramientas como Expasy, Autodock Vina, OASIS, Minitab, y software de análisis de datos y de plagio, demuestran ser útiles en la educación y la práctica investigativa. Estas herramientas permiten realizar desde análisis estructurales comparativos de proteínas y docking molecular hasta análisis bibliométricos y estadísticos (Chaari et al., 2020; Crane & Page, 2022).

Finalmente, los proyectos y experiencias reportadas ilustran la eficacia de las CURE, ABP, PBL y otras metodologías sustentadas en la investigación, empleadas para fortalecer la resolución de problemas, el conocimiento técnico, el aprendizaje autónomo, la comunicación efectiva y el pensamiento crítico, preparando a los estudiantes para enfrentar los retos futuros con una sólida base científica y tecnológica.

V. CONCLUSIONES.

Los hallazgos de esta revisión sistemática resaltan la importancia de integrar metodologías innovadoras como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), las Experiencias de Investigación Basadas en Cursos (CUREs) y el Aprendizaje Basado en Problemas (PBL) en los programas de biotecnología de pregrado. Estas estrategias no solo promueven un aprendizaje activo y práctico, sino que también potencian el desarrollo de habilidades técnicas,

pensamiento crítico y capacidad de resolución de problemas entre los estudiantes, aspectos fundamentales para su futura carrera científica. La implementación de enfoques como el ABP ha demostrado su efectividad al vincular el contenido académico con aplicaciones reales, lo que permite a los estudiantes participar en la creación de tecnologías con impacto potencial en la sociedad y la economía.

Por otro lado, las CUREs han sido fundamentales en el fomento de la autoeficacia y la identificación de los estudiantes con el rol de investigador, incrementando su persistencia en disciplinas STEM. Este enfoque también ha mostrado ser inclusivo, permitiendo la participación de estudiantes de diferentes contextos sociales y niveles académicos, lo que refuerza la diversidad en el ámbito científico. Además, la incorporación de herramientas tecnológicas avanzadas, como las plataformas bioinformáticas y los softwares de análisis molecular y estadístico, ha facilitado el aprendizaje autónomo y colaborativo, permitiendo a los estudiantes enfrentarse a problemáticas científicas complejas con mayor confianza.

Sin embargo, los resultados también revelan algunos desafíos que limitan la efectividad de estas metodologías, como la falta de acceso a recursos adecuados y la escasa formación en investigación, tanto de docentes como de estudiantes. Este escenario destaca la importancia de potenciar la cultura de investigación en las universidades, a través de una mayor incorporación de las TIC y una mayor capacitación de los educadores en estrategias de enseñanza basadas en la investigación.

Finalmente, se destaca la relevancia de reestructurar las experiencias educativas en biotecnología para incluir enfoques más integradores y transversales que permitan un aprendizaje significativo. La combinación de métodos cualitativos y cuantitativos en los estudios analizados demuestra que, cuando se aplican correctamente, estas estrategias no solo mejoran la comprensión técnica de los estudiantes, sino que también fomentan una participación más activa en la investigación, preparándolos mejor para los desafíos científicos y tecnológicos del futuro.

Bibliografía.

- Abuqamar, S., Alshannag, Q., Sartawi, A., & Iratni, R. (2015). *Educational awareness of biotechnology issues among undergraduate students at the united arab emirates university*. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 43(4), 283–293. <https://doi.org/10.1002/bmb.20863>.
- Almanza-Arjona, Y., Vergara-Porras, B., García-Rivera, B., & Venegas-Andraca, S. (2019). *Research-Based approach to undergraduate Chemical Engineering Education*. *IEEE Global Engineering Education Conference*, 180(4577), 125–127. <https://doi.org/10.1038/180125a0>.
- Balasubramanian, A., & Chatterjee, J. (2022). *Bioinformatics approach used in undergraduate research to predict siRNA as ZIKV therapeutics*. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 50(2), 237–245. <https://doi.org/10.1002/bmb.21605>.
- Balke, V., Grusenmeyer, L., & McDowell, J. (2021). *Long-Term Outcomes of Biotechnology Student Participation in Undergraduate Research Experiences at Delaware Technical Community College*. *Scholarship and Practice of Undergraduate Research*, 4(3), 5–12. <https://doi.org/10.18833/spur/4/3/12>.
- Baranovskyy, M., & Baranovska, L. (2023). *Formation of Research Competence in Students of Higher Education of the Second Master'S Level in the Process of Mastering the Profession*. *Scientific Bulletin of Flight Academy. Section: Pedagogical Sciences*, 13, 18–25. <https://doi.org/10.33251/2522-1477-2023-13-18-25>.
- Basu, U. (2023). *An idea to explore: Introduction to research methods*. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 51(5), 566–573. <https://doi.org/10.1002/bmb.21758>.
- Beltrán, Ó. (2005). *Revisiones sistemáticas de la literatura*. *Rincón Epidemiológico*, 38(6), 855–857. <https://doi.org/10.1068/ldmk-lee>.

Bernardes, A. (2019). Biotecnologia : proposta de sequência didática de ensino investigativa como material de apoio para professores do e Ensino Médio. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37340>.

Bickford, N., Peterson, E., Jensen, P., & Thomas, D. (2020). *Undergraduates interested in STEM research are better students than their peers*. *Education Sciences*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/educsci10060150>

Chaari, A., Al-Ali, D., & Roach, J. (2020). *Biochemistry course-based undergraduate research experience: Purification, characterization, and identification of an unknown lactate dehydrogenase isoenzyme*. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 48(4), 369–380. <https://doi.org/10.1002/bmb.21363>.

Cortes, A., Oñate, J., & Rojas, L. (2017). *PROPIUESTA METODOLÓGICA: CURSO-TALLER PARA EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE HONGOS MACROSCÓPICOS EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA JOSÉ GUILLERMO CASTRO CASTRO DEL MUNICIPIO DE LA JAGUA DE IBIRICO- CESAR*. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 29, 38–48.

Crane, J., & Page, S. T. (2022). *An undergraduate laboratory experiment with real-world applications: Utilizing templateless polymerase chain reaction and real-time polymerase chain reaction to test for SARS-CoV-2 RNA*. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 50(1), 142–148. <https://doi.org/10.1002/bmb.21593>

Desai, S. V., Bagewadi, Z. K., & Muddapur, U. M. (2019). An integrated pedagogical approach for effective teaching of research methodology for biotechnology engineering. *Journal of Engineering Education Transformations*, 33(2), 41–47. <https://doi.org/10.16920/jeet/2019/v33i2/145469>.

Espinel-Barrero, N. E., & Valbuena-Ussa, É. O. (2018). *Aproximación al estatus epistemológico de la biotecnología: implicaciones didácticas TT - Approaching the Epistemological Status of Biotechnology: Didactic Implications TT - Aproximação ao status epistemológico da biotecnologia: implicações didáticas*. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 43, 193–206. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-38142018000100193&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/ted/n43/0121-3814-ted-43-193.pdf.

Finol de Franco, M., & Vera Solórzano, J. L. (2020). *Paradigmas, enfoques y métodos de investigación: análisis teórico*. *Mundo Recursivo*, 3(1), 1–24. <https://www.atlantic.edu.ec/ojs/index.php/mundor/article/view/38>

Gao, L., & Guo, M. (2023). A course-based undergraduate research experience for bioinformatics education in undergraduate students. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 51(2), 189–199. <https://doi.org/10.1002/bmb.21710>.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (S. A. D. C. V. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES (ed.); 6th ed.).

Iannotta, D., Goncalves, J. P., Ghebosu, R. E., Gopalakrishnan, A., Cooper-White, J., & Wolfram, J. (2024). *Transforming undergraduate laboratory courses with interlinked real-world challenges*. *Trends in Biotechnology*, 42(1), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2023.10.006>.

Johnson, K. C., Sabel, J. L., Cole, J., Pruett, C. L., Plymale, R., & Reyna, N. S. (2022). *From genetics to biotechnology: Synthetic biology as a flexible course-embedded research experience*. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 50(6), 580–591. <https://doi.org/10.1002/bmb.21662>.

Kaufman, J. D. (2020). Work in progress: *Improving student engagement in undergraduate bioinformatics through research contributions*. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 2020-June.

Marcelino, L. V., & Marques, C. A. (2017). *Abordagens Educacionais Das Biotecnologias No Ensino De Ciências Através De Uma Análise Em Periódicos Da Área*. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 22(1), 61. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2017v22n1p61>.

Mintzes, J. J., & Walter, E. M. (2020). *Active Learning in College Science: The Case for Evidence-Based Practice*. In *Active Learning in College Science: The Case for Evidence-Based Practice* (pp. 1–1001). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33600-4>.

Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (2018). *Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas*. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*, 11(3), 184–186. <https://doi.org/10.4067/s0719-01072018000300184>.

Ningrum, D. E. A. F., Rofiki, I., Melinda, V. A., Erfantinni, I. H., & Febriani, R. O. (2020). Development of biotechnology textbook based on bioinformatics research. *Universal Journal of Educational Research*, 8(11), 5188–5196. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081119>.

Nordqvist, O., & Aronsson, H. (2019). *It Is Time for a New Direction in Biotechnology Education Research*. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(2), 189–200. <https://doi.org/10.1002/bmb.21214>.

Ocampo-López, C., Ramírez-Carmona, M., Rendón-Castrillón, L., & Vélez-Salazar, Y. (2019). *Applied research in biotechnology as a source of opportunities for green chemistry start-ups*. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 11(December 2018), 41–45. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.12.005>.

Orhan, T. Y., & Sahin, N. (2018). *The impact of innovative teaching approaches on biotechnology knowledge and laboratory experiences of science teachers*. *Education Sciences*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/educsci8040213>.

Pao, C. H., Choi, S. T., Lok, Y., Dorrough, S., Abelseth, C., Shelton, J., & Rentas, A. (2021). Study of Student Oral Microbes. 22(2).

Peyton, B. M., & Skorupa, D. J. (2021). *Integrating CUREs in Ongoing Research: Undergraduates as Active Participants in the Discovery of Biodegrading Thermophiles*. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 22(2). <https://doi.org/10.1128/jmbe.00102-21>.

Pieczynski, J. N., Deets, A., McDuffee, A., & Lynn Kee, H. (2019). *An undergraduate laboratory experience using CRISPR-cas9 technology to deactivate green fluorescent protein expression in Escherichia coli*. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(2), 145–155. <https://doi.org/10.1002/bmb.21206>.

Rendón-Castrillón, L., Ramírez-Carmona, M., & Ocampo-López, C. (2023). *Training strategies from the undergraduate degree in chemical engineering focused on bioprocesses using PBL in the last decade*. *Education for Chemical Engineers*, 44(May), 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2023.05.008>.

Restrepo, B. (2007). *Conceptos y aplicaciones de la investigación formativa, y criterios para evaluar la investigación científica en sentido estricto*. Documento CNA.(Http://Www. Cna. Gov. Co), 19. <http://scholar.google.com/>.



HUELLAS EDICIÓN 22

HUELLAS EDICIÓN 22