

ENSEÑANZA DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EDUCACIÓN MEDIA. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA

González Tovar, Sonia Liliana ¹ - Fonseca Amaya, Guillermo ²

RESUMEN

Esta Revisión Sistemática de Literatura recoge información relevante en torno a las concepciones, características y tendencias sobre la enseñanza de la biotecnología publicada entre 2004 – 2024 en las bases de datos ERIC y Dialnet. El objetivo es aportar al campo de investigación sobre la biotecnología en educación media. Se han revisado 423 artículos, incluyendo 52 de ellos de acuerdo con los criterios de selección establecidos según las directrices de la Declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), en la cual se posibilita ubicar la investigación mediante un método que sustenta la selección teórica y conceptual del tema. Como resultado, es posible identificar tres tendencias relacionadas con: la comprensión de la enseñanza de la biotecnología, las actitudes de los estudiantes hacia la biotecnología y las perspectivas sobre la biotecnología.

Palabras claves: enseñanza de la biotecnología, Revisión Sistemática de Literatura, educación media

TEACHING BIOTECHNOLOGY IN HIGH SCHOOL EDUCATION. A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

This Systematic Literature Review collects relevant information regarding the conceptions, characteristics, and trends on the teaching of biotechnology published between 2004 – 2024 in the ERIC and Dialnet databases. The objective is to contribute to the field of research on biotechnology in high school education. 423 articles have been reviewed, including 52 of them in accordance with the selection criteria established according to the guidelines of the PRISMA Declaration (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), in which it is possible to locate the research through a method that supports the theoretical and conceptual selection of the topic. As a result, it is possible to identify three trends related to: the understanding of biotechnology teaching, students' attitudes towards biotechnology and perspectives on biotechnology.

Keywords: biotechnology teaching, Systematic Literature Review, high school

¹ Estudiante del Doctorado Interinstitucional en Educación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo de Investigación en Didáctica de las Ciencias. Docente de la Secretaría de Educación del Distrito. Bogotá (Colombia). Email: sgonzalez@udistrital.edu.co

² Profesor de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo de Investigación en Didáctica de las Ciencias (Colombia). Email: gfonsecaa@udistrital.edu.co

Introducción

La Revisión Sistemática de Literatura acerca de la enseñanza de la biotecnología se articula con el proyecto de tesis doctoral orientado a caracterizar el conocimiento científico escolar que los estudiantes de educación media tienen sobre los alimentos transgénicos desde la investigación escolar en biotecnología. De esta forma, este artículo presenta una revisión de antecedentes que aporta en la comprensión del concepto de biotecnología, ya que en sí misma como campo teórico es amplia y se concibe, en este caso, desde varias perspectivas. Una perspectiva científicista, que se posiciona con mayor dinamismo en las propuestas para la enseñanza de la biotecnología en la última década (Said et al., 2013; Bielik y Yarden, 2016; Silva et al., 2017), y que por tanto, representan un desafío en las prácticas de reflexión pedagógica en el aula, inherentes a la comprensión en torno a qué es la ciencia y cómo funciona, específicamente con relación a las fuentes de información de relevancia y confiabilidad ofrecidas por una actividad científica rigurosa y multidimensional.

Una perspectiva tradicional (Morcillo et al., 2013; Paš et al., 2019) inscrita desde la antigüedad por el ser humano cuando realizaba la selección rutinaria de los genes ventajosos de plantas y animales sin considerar explicaciones claras sobre este proceso, y fundamental en la comprensión de sucesos históricos que permiten contrastar una mirada de la biotecnología antes y después del descubrimiento del ADN; en este contexto, como un aspecto de interés que marca la construcción del conocimiento científico escolar sobre qué es la vida, de dónde procede y cómo se estudia. Una perspectiva ambiental que se anticipa en propiciar la reflexión sobre la enseñanza de la biotecnología y las construcciones de ciudadano crítico y el abordaje de problemas socioambientales para reconocer los cambios efectuados en la actualidad y la necesidad de reorientar el uso de tecnologías agrícolas y optimizar el flujo de energía, especialmente utilizando los aportes de la permacultura (Holmgren, 2013; Morrow, 2010).

Ante este conjunto de perspectivas, se pretende aportar en la comprensión de la enseñanza de la biotecnología desde una postura compleja y reflexiva de las condiciones de la realidad y sus causas, considerando las relaciones que establecen los seres humanos con el modelo social y económico sustentado en gran parte por los desarrollos científicos, particularmente centrados en los productos biotecnológicos. También, contempla favorecer la reflexión por los modelos de desarrollo sostenible que demarquen nuevas formas de interacción social y comunitaria desde el aula (Rodríguez Marín et al., 2015), acordes con una educación para el decrecimiento y la necesidad de incorporar un enfoque socio cultural a la enseñanza de las ciencias (Lozano Puentes, 2017), fundamental para comprender la construcción del conocimiento científico escolar desde la visión de los estudiantes, ya que la biotecnología por sí misma se concibe como un concepto complejo (Roa et al., 2019), de necesaria reflexión epistemológica (Roa, 2010), que integra una propuesta de contenidos en el aula como campo de conocimiento bajo distintas finalidades, desde el desarrollo de habilidades para el trabajo hasta su tratamiento didáctico para la enseñanza de las ciencias.

Para ampliar este panorama, la Revisión Sistemática de Literatura (RSL) sobre la perspectiva internacional de la enseñanza de la biotecnología se realiza a partir del abordaje de las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es el estado actual de la producción académica sobre esta temática? ¿Cómo ha sido su evolución en el tiempo? ¿Qué países han aportado en ello?
- ¿Qué tendencias existen sobre la enseñanza de la biotecnología en el campo de la enseñanza de las ciencias?
- ¿En qué niveles educativos se está enseñando biotecnología? ¿Cuáles son sus principales finalidades?

Enseñanza de la Biotecnología

En el aula, la biotecnología se presenta como un campo del conocimiento científico que busca el desarrollo de habilidades de pensamiento por medio de temáticas desafiantes para los profesores en la planeación de las clases y en la enseñanza en el siglo XXI (Cortez et al., 2016). En este marco, la biotecnología implica la integración de diferentes saberes en la búsqueda del beneficio humano y de su entorno, específicamente, en el reconocimiento, evaluación y resolución de situaciones que afectan el bienestar de la sociedad. De esta manera, la enseñanza de la biotecnología se visualiza como una oportunidad y un espacio para responder a la iniciativa de promover un sujeto que piensa críticamente (Roa et al., 2019), que usa la tecnología para innovar y socializar en la resolución de problemas en contexto.

En la actualidad, la biotecnología se encarga comúnmente de usar organismos vivos, o productos de los mismos, para el beneficio humano o del medio ambiente con el fin de desarrollar un producto o resolver un problema (Thieman y Palladino, 2010). En este orden de ideas, dentro de los productos de la biotecnología moderna es posible diferenciar el material genético de organismos unicelulares y pluricelulares, por lo que sus aplicaciones vanguardistas e innovadoras reflejan las necesidades actuales del hombre, por ejemplo, la producción farmacéutica, la modificación genética de alimentos, la emergencia de nuevas tecnologías del ADN como la terapia génica, ADN recombinante, y el Crisper Cas9.

En consecuencia, desde esta perspectiva de la biotecnología moderna, el estudio en torno a los organismos unicelulares es protagonista en las investigaciones realizadas para comprender la estructura y comportamiento del ADN, ya que los avances de la práctica científica evidencian procesos de revisión y producción en bacterias, virus y hongos (Guevara, 2004). Así mismo, los adelantos de la biotecnología y otras ciencias afines como la Ingeniería Genética y la Bioinformática, han conllevado al entendimiento y modificación de la estructura molecular del ADN, soportando el mejoramiento de la calidad de vida de la humanidad; no obstante, es necesario dilucidar y reflexionar en torno a sus limitaciones y efectos.

De otro lado, la biotecnología tradicional conlleva a identificar prácticas que el ser humano desde la antigüedad ha realizado de selección natural de los genes ventajosos de plantas y animales sin considerar explicaciones claras sobre este proceso, fundamentados en la observación (Latorre et al., 2015). En este sentido, con el tiempo, encontrar la base fundamental de información que poseen todos los organismos vivos se ha convertido en la inspiración de muchos científicos para el desarrollo de descubrimientos o inventos que conllevan a validar el conocimiento en torno al ADN como molécula que sostiene la vida.

De esta forma, el descubrimiento del ADN determinó el comienzo de la biotecnología moderna, y su contrastación con las técnicas artesanales.

Finalmente, durante los últimos años se han producido transformaciones en el abordaje de problemas socioambientales por algunas comunidades interesadas en un modelo natural sostenible, “centrado en la idea de educar para la acción y el cambio social” (Rodríguez-Marín et al., 2015). En este sentido, se implica una perspectiva ambiental de la biotecnología y su enseñanza, involucrando acciones de responsabilidad social con la cultura, el autocuidado, la economía energética, la soberanía alimentaria, entre otras (Giraldo de López et al., 2017).

Metodología

La Revisión Sistemática de Literatura se ha realizado de acuerdo con la definición aportada por Arnau-Sabatés y Sala Roca (2020), en la cual se posibilita ubicar la investigación mediante un método que sustenta la selección teórica y conceptual de otros referentes escritos anteriormente sobre la temática. También, sirve para analizar teoría fundamentada en torno a la comprensión y delimitación del problema de investigación y su repercusión metodológica.

De esta forma, se tiene en cuenta la Declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses*), como orientación que evalúa la calidad de la revisión sistemática. La Declaración PRISMA incluye ítems de comprobación y un diagrama de flujo de cuatro fases, que conlleva a mejorar la organización y presentación de la revisión sistemática, así como la calidad de su metaanálisis. Se entiende por esta última (Yepes-Núñez et al., 2021), una técnica estadística que ofrece un resumen cuantitativo de los resultados, permitiendo revelar un comportamiento de los datos y sus cambios.

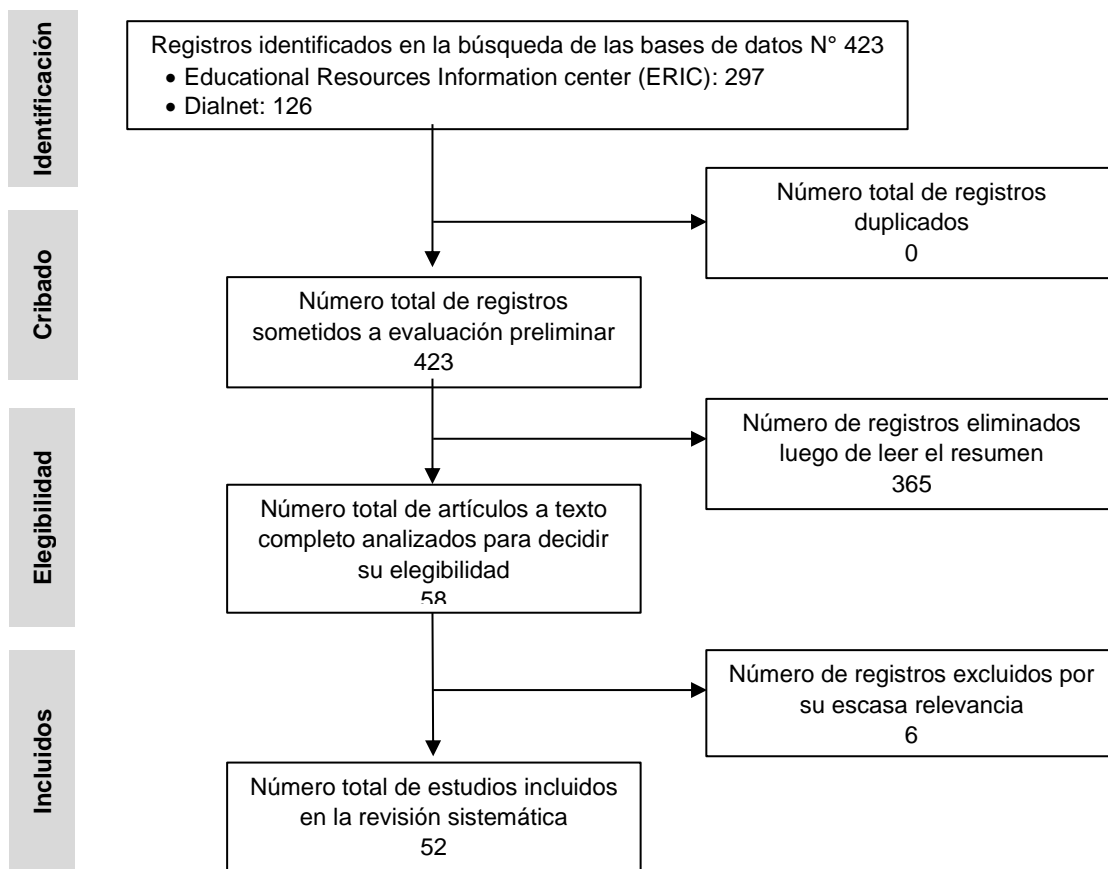
El proceso inició con la selección de las bases de datos ERIC y Dialnet, dado su reconocimiento en el ámbito de la educación. El criterio de búsqueda específico para la selección de los artículos potencialmente importantes está compuesto por las palabras clave en inglés “*biotechnology teaching*” y en español “enseñanza de la biotecnología”. El resultado obtenido involucra 423 registros o unidades documentales que han sido sometidas a un proceso de selección para garantizar su correspondencia con la resolución de las preguntas de investigación planteadas; no se presentaron duplicados. El proceso de depuración se presenta en la Figura 1, de acuerdo con los criterios de inclusión formulados para este trabajo, los cuales son:

1. Artículos publicados en bases de datos especializadas en educación, particularmente en el área de Didáctica de las Ciencias.
2. Artículos publicados entre 2004 y 2024 (ambos inclusive).
3. Trabajos que hacen referencia en su título, resumen o palabras clave a la enseñanza de la biotecnología.
4. Estudios relacionados con la enseñanza de la biología, particularmente desde las categorías conceptuales implicadas con desarrollos biotecnológicos.

Siguiendo las indicaciones de la declaración PRISMA 2020 se elabora el diagrama de flujo de la Figura 1, en la que se presenta el proceso de selección y extracción realizado en este trabajo, según los pasos de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión.

Figura 1

Diagrama de flujo con base en la Declaración PRISMA 2020 para la publicación de revisiones sistemáticas.



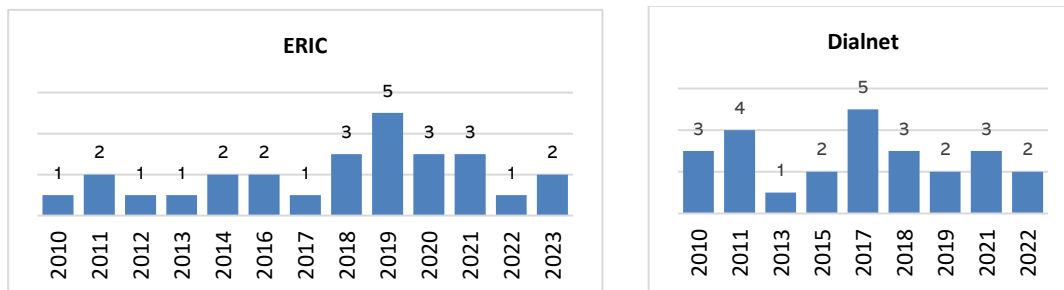
Nota. La figura muestra el proceso de selección, exclusión y número de estudios finalmente seleccionados para la Revisión Sistemática de Literatura sobre enseñanza de la biotecnología.

Resultados y Discusión

Desde una mirada general, los resultados de la Figura 2 muestran que la producción académica sobre la enseñanza de la biotecnología desde la perspectiva internacional aparece de forma atenuante desde hace seis años, periodo 2018 – 2024, particularmente en las investigaciones encontradas en la base de datos ERIC, donde es posible evidenciar nuevas expectativas de aprendizaje en el siglo XXI a partir de los cambios efectuados y la necesidad de reorientar los objetivos educativos en una época de gran influencia humana.

Figura 2

Evolución en la producción de artículos relacionados con la enseñanza de la biotecnología en las bases de datos ERIC y Dialnet.



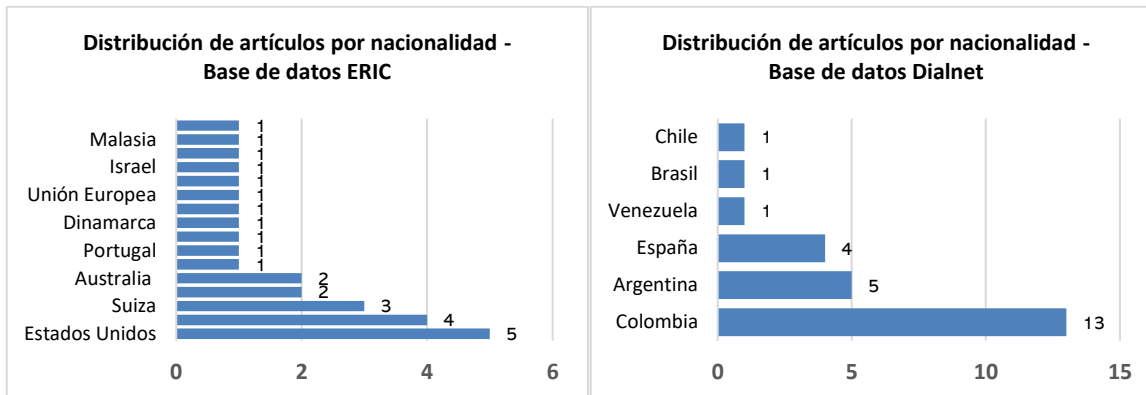
Nota. La figura muestra la evolución en la producción de artículos relacionados con la enseñanza de la biotecnología en las bases de datos ERIC y Dialnet.

En la base de datos Dialnet es evidente un auge en el abordaje de la biotecnología en el año 2017, de protagonismo colombiano, dado que del 20% de los trabajos revisados en este periodo, un 12% corresponde a investigaciones que buscan establecer las bases de conocimiento para aproximarse a la biotecnología como objeto de enseñanza y sus finalidades (Espinel y Valbuena, 2018; Lozano, 2017; Morales, 2017). En este sentido, en la actualidad, en el marco del desarrollo del proyecto doctoral, emerge como una preocupación aportar a la comprensión de la biotecnología situada desde el contexto escolar, así como comprender las oportunidades que ofrece en la construcción del conocimiento científico escolar desde la perspectiva de los estudiantes, dada la poca reflexividad efectuada en los últimos años en los trabajos revisados.

Así mismo, como se describe en la Figura 3, en el contexto internacional, los estudios encontrados en ERIC corresponden en un 51% a diversos países de Europa, un 22% a Estados Unidos, y un 27% a países de otros continentes. En Dialnet se identifica que un 52% de la producción académica obedece a artículos publicados en Colombia, seguido por Argentina y España con aproximadamente un 20%.

Figura 3

Distribución de artículos por nacionalidad en las bases de datos ERIC y Dialnet.

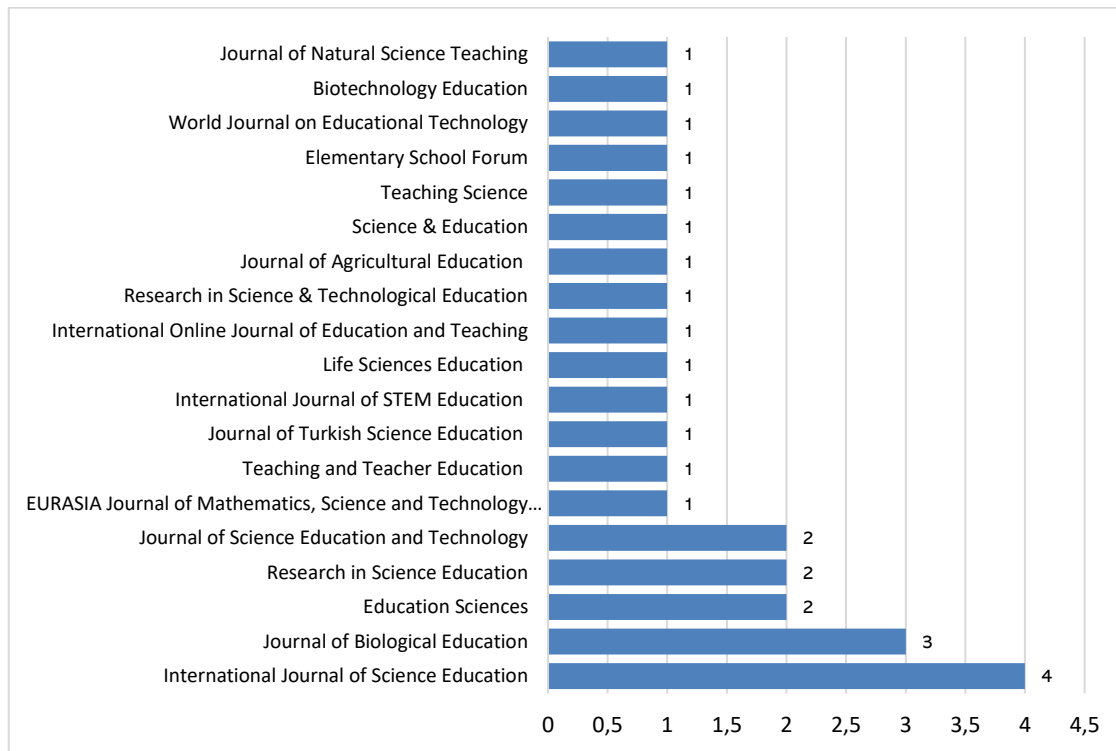


Nota. La figura muestra la distribución de artículos por nacionalidad relacionados con la enseñanza de la biotecnología en las bases de datos ERIC y Dialnet.

De esta manera, la producción académica internacional encontrada sobre la enseñanza de la biotecnología indica que es un tema de gran reflexión general. Así, de acuerdo con la publicación de trabajos en 27 revistas internacionales encontradas en la base de datos ERIC (Figura 4) se identifican y exploran los diferentes contextos sociales en los que se inserta la enseñanza y el aprendizaje de la biotecnología.

Figura 4

Revistas del área en la base de datos ERIC asociadas con la enseñanza de la biotecnología.

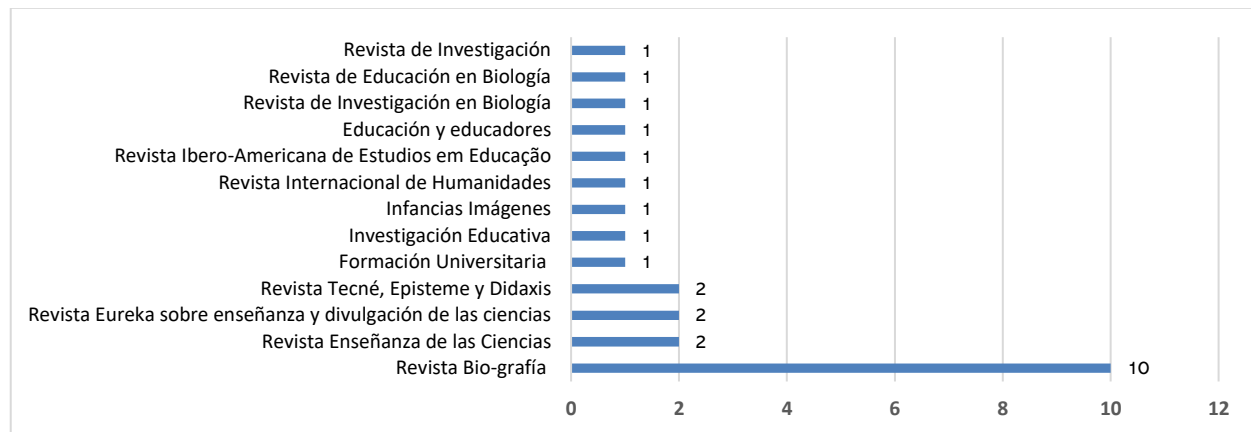


Nota. La figura muestra la distribución de artículos entre las revistas del área en la base de datos ERIC.

En la relación de trabajos encontrados en Dialnet para la enseñanza de la biotecnología, se destaca la producción publicada en revistas nacionales. En la Figura 5 se relacionan los 25 artículos seleccionados y asociados a 14 revistas en el área, de las cuales el 52% corresponde a producción colombiana liderada en las revista Bio-grafía, Tecné, Episteme y Didaxis, y Educación y educadores. El 48% restante involucra publicaciones realizadas en revistas de Venezuela, Chile, Argentina, España y Brasil.

Figura 5

Revistas del área en la base de datos Dialnet asociadas con la enseñanza de la biotecnología.

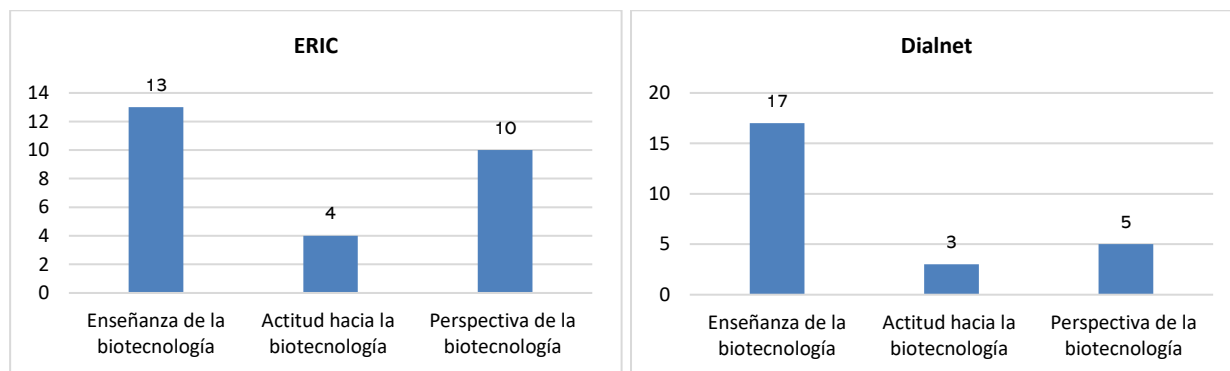


Nota. La figura muestra la distribución de artículos entre las revistas del área en la base de datos Dialnet.

En consecuencia, en la Figura 6 se reconoce que la producción de trabajos relacionados con el contexto de la tesis doctoral conlleva a destacar las siguientes tendencias (I) enseñanza de la biotecnología, (II) actitudes de los estudiantes hacia la biotecnología, (III) perspectivas de la biotecnología.

Figura 6

Tendencias sobre la enseñanza de la biotecnología en la base de datos ERIC y Dialnet



Nota. La figura muestra la distribución de las tendencias asociadas a la enseñanza de la biotecnología en las bases de datos ERIC y Dialnet.

Enseñanza de la biotecnología. Respecto a esta tendencia se puede afirmar es la que produce una mayor preocupación y reflexión con un 57% de los trabajos seleccionados, particularmente desde tres asuntos importantes. El primero hace referencia a las finalidades de enseñanza, influenciadas por el interés de diversas naciones en la inclusión de la biotecnología en el currículo escolar dada la necesidad de afrontar los desafíos científicos de una sociedad en cambio. De esta manera, se reconoce la comprensión de problemas socioambientales controversiales, el desarrollo de habilidades científicas, laborales y de emprendimiento como algunos alcances de la enseñanza en biotecnología.

En este sentido, con relación al desarrollo de habilidades científicas se promueven actividades de alfabetización científica que conlleven a identificar, comprender y explicar conceptos y fenómenos propios de la biotecnología (Ruhizan et al., 2018). El análisis de los argumentos escritos (Berne, 2014), la formulación de preguntas de investigación (Archila et al., 2023; Bielik & Yarden, 2016; Lieshout & Dawson, 2016) y la inclusión de programas de innovación en el aula (Bigler et al., 2011) son aspectos fundamentales en el abordaje de cuestiones socioambientales controversiales del contexto.

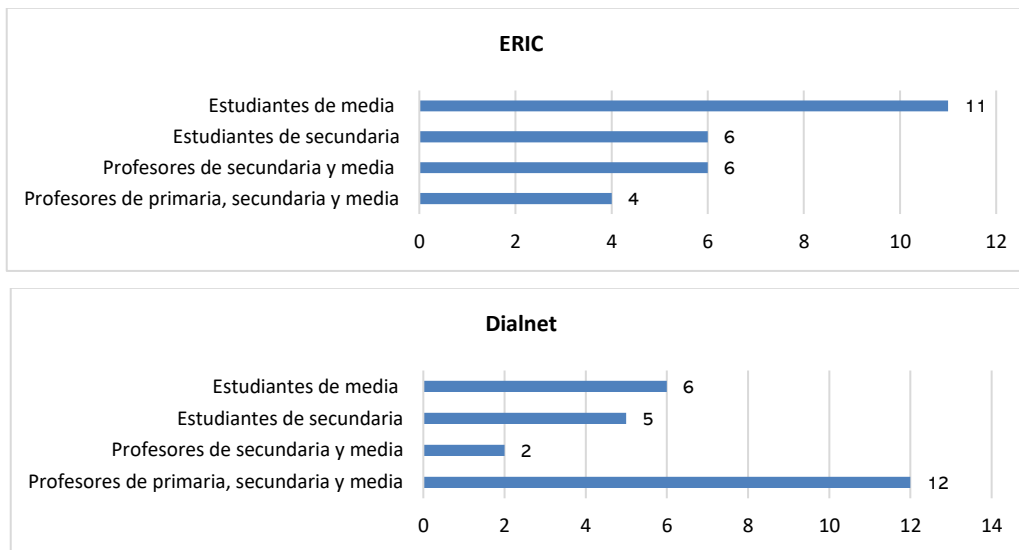
De igual manera, se identifica que la enseñanza de la biotecnología conlleva a promover un sujeto que piensa críticamente, que usa la biotecnología para innovar y socializar en la resolución de problemas de relevancia para el contexto cercano, y la adquisición de habilidades laborales y de emprendimiento (Curia et al., 2010; Morales, 2017). En este sentido, se enuncian algunos programas y estrategias empleadas para promover la alfabetización científica en torno a los desarrollos biotecnológicos de carácter técnico y profesional, particularmente en la educación secundaria y media de América Latina (Espinel, 2015; Gaetan, 2021; Said et al., 2013).

El segundo asunto permite reconocer las metodologías para enseñar biotecnología. Se identifican, mayoritariamente, metodologías de resolución de problemas (Bielik & Yarden, 2016) que promueven el interés y la comprensión de los avances de la biotecnología a partir de la formulación de preguntas o situaciones problema. Asimismo, Tugce & Nurettin (2018) destacan la importancia del uso de enfoques de enseñanza innovadores fundamentados en aprendizaje basado en proyectos, argumentación, la investigación-indagación y enfoques de aprendizaje interdisciplinarios basado en la web. Al respecto, el uso de módulos y plataformas de aprendizaje electrónico se implementan dentro de las prácticas de enseñanza (Yang et al., 2017). Además, es recurrente la promoción de ambientes de aprendizaje constructivista demarcados por la inclusión del aprendizaje cooperativo (Aivelo & Uitto, 2021), la integración con otros campos del saber y la aplicación de estrategias procedimentales (Gardner & Jones, 2011).

Por último, en la Figura 7 se reconocen los niveles educativos de interés en la enseñanza de la biotecnología. Se identifican publicaciones desarrolladas en Educación Secundaria, y Educación Media, Educación Secundaria Superior o Bachillerato. De esta forma, puede reconocerse que la enseñanza de la biotecnología es abordada con dominancia en la práctica docente de profesores y estudiantes de educación media en el contexto internacional. En efecto, un 56% de los estudios analizados en ERIC y un 37% de los estudios analizados en Dialnet revelan la inquietud de los profesores por enseñar este campo del saber en todos los niveles educativos, así como la falta de actualización profesional frente a la misma.

Figura 7

Población asociada con la enseñanza de la biotecnología en las bases de datos ERIC y Dialnet.



Nota. La figura muestra la población asociada con la enseñanza de la biotecnología en las bases de datos ERIC y Dialnet.

Actitudes de los estudiantes hacia la biotecnología. Con un 13% de los trabajos analizados, se reconoce el interés por analizar las actitudes que los estudiantes y profesores tienen hacia la biotecnología. En este sentido, la biotecnología moderna ha provocado especialmente que se consideren aspectos éticos y sociales en el tratamiento de este campo del saber (Nordqvist & Johansson, 2020), de gran influencia actual en la formación de ciudadanos informados y críticos (Archila et al., 2023; Janez Vogrinc et al., 2019). Sin embargo, se define como un reto actual en el aula (Aivelo y Uitto, 2021; De la Vega, 2018).

De este modo, la mayoría de los estudios sobre actitudes en la enseñanza de la biotecnología utilizan un modelo de un solo componente para caracterizar las actitudes de los estudiantes, mientras que algunos utilizan un modelo de tres componentes: afectivo, conductual y cognitivo (Nordqvist & Johansson, 2020), dado que el constructo de actitud y sus componentes no han sido problematizados con el mismo rigor que otros contextos de investigación, distintos a la educación científica. En general, se afirma que los temas científicos, en particular la biotecnología, son demasiado complejos para ser explicados por un solo componente actitudinal. No obstante, es fundamental ampliar la discusión en torno a la definición de actitud.

También, se reconoce la necesidad de implementar metodologías o estrategias centradas en el interés y la motivación de los estudiantes y su relación con temáticas del contexto, ya que promueven la confianza en sí mismos y el alcance de objetivos (Svendsen & Banner, 2021). De esta forma, los resultados indican la importancia de incluir dimensiones afectivas y conductuales en la enseñanza de la biotecnología (Tugce & Nurettin, 2018), ya que persiste la preocupación por los procesos de enseñanza que lidera el profesor, más que por las actitudes de los estudiantes hacia la biotecnología.

Perspectivas de biotecnología. Los resultados muestran que un 30% de las investigaciones se orientan a la comprensión de distintas perspectivas para comprender la biotecnología. Se reconoce una amplia variedad de concepciones demarcadas por los desarrollos científicos del siglo XX (Roa, 2011), desde una perspectiva tradicional (Lozano, 2017), moderna (Anderton & Ronald, 2018; Lieshout & Dawson, 2016) y ambiental (Bagsani & González, 2022). No obstante, predomina la concepción de la biotecnología moderna (Kumnuanek et al., 2022; Roa, 2010; Tugce & Nurettin, 2018; Vuran et al., 2020), de gran rigor intelectual, que usa organismos vivos para la obtención de un producto o servicio que mejora la calidad de vida de la sociedad. Así, los productos de la biotecnología moderna involucran aplicaciones contemporáneas e innovadoras (Aydin et al., 2023; Persano et al., 2021) que reflejan las necesidades actuales del hombre. De este modo, se identifican como principales tópicos de abordaje de la biotecnología, la producción farmacéutica, la genética de la raza, la modificación genética de alimentos, nuevas tecnologías de secuenciación y bioinformática, etc.

De otro lado, conlleva a reconocer la influencia cultural involucrada en el desarrollo de la biotecnología (Lozano, 2017), particularmente en la tensión de lo tradicional versus lo moderno, pues se imponen prácticas experimentales y evidencias desde la biotecnología moderna. Enseguida, se identifican las temáticas asociadas a las diferentes perspectivas de enseñanza de la biotecnología encontradas en los diferentes niveles educativos, las cuales obedecen a cuestiones sociocientíficas relevantes, incluyendo alimentos transgénicos (Archila et al., 2023; De la Vega-Naranjo et al., 2018; Silva et al., 2017):

Tabla 1

Ejes temáticos y niveles educativos asociados a la enseñanza de la biotecnología en las bases de datos ERIC y Dialnet.

Base de datos ERIC			
Nivel Educativo	PRIMARIA	SECUNDARIA	BACHILLERATO
Temáticas	1º - 5º	6º - 9º	10º y 11º
Actitudes de los estudiantes	x	x	x
Enseñanza	x		
Bioética	x	x	x
Sostenibilidad	x		
Biodiversidad y cambio climático	x	x	x
Los animales: Caracol			x
Motivación		x	
Creatividad	x		
Base de datos Dialnet			
Enseñanza	x	x	x
Biología molecular y biofarmacología			x
Alimentos transgénicos		x	x

Biofertilizantes			x
Fermentación	x	x	x
Emprendimiento			x
Formación ciudadana			x
Ingeniería genética		x	
Procesos industriales			x
Bioética		x	

Nota. Elaboración propia.

Sin embargo, también implica identificar temáticas relacionadas con los actores educativos y la reflexión sobre la enseñanza de la biotecnología en contexto (Ruhizan et al., 2018; Tugce & Nurettin, 2018), particularmente como un aspecto dominante en los resultados encontrados con un 48% en la literatura internacional, y con un 84% en la literatura iberoamericana. Esto involucra los procesos metodológicos que emergen de conceptos complejos propios de una dominancia de la perspectiva científicista y de las estrategias de resolución que posibilitan la valoración de la biotecnología en la actualidad (Aydin et al., 2023). Además, expone la importancia de indagar en torno a las actitudes que los estudiantes tienen hacia la biotecnología (Svendsen & Banner, 2021), con un 14% de los trabajos analizados en ERIC y un 12% de los trabajos analizados en Dialnet, fundamentalmente desde los valores, las creencias, el interés y la motivación que involucra este proceso de enseñanza. Asimismo, es importante señalar la ausencia de trabajos implicados con el desarrollo del razonamiento ético en biotecnología, coincidentalmente evidenciado en el contexto internacional y regional en un 3% de las investigaciones seleccionadas (Bagsani y González, 2022; Berne, 2014).

Conclusiones

Los resultados muestran que existen diversos estudios para la enseñanza de la biotecnología en la escuela a nivel internacional, especialmente durante la última década. En este sentido, existe una inquietud general por la enseñanza de la biotecnología, que corresponde en un 51% a diversos países de Europa, un 22% a Estados Unidos, y un 27% a países de otras naciones, como Colombia y Argentina. En estos casos, es evidente el reconocimiento de la biotecnología moderna en las prácticas de aula, marcado por los avances de la actualidad y su relación con otras áreas de influencia social, económica, cultural, entre otras, propias del contexto.

Se identifican tres tendencias articuladas con la comprensión de la enseñanza de la biotecnología, las actitudes de los estudiantes hacia la biotecnología y las perspectivas sobre la biotecnología. En consecuencia, es la enseñanza de la biotecnología la tendencia que produce una mayor preocupación y reflexión con un 57% de los trabajos analizados. De esta forma, aunque las actitudes de los estudiantes hacia la biotecnología son de interés, la Revisión Sistemática de Literatura realizada proporciona evidencia sobre la predominancia de los contenidos conceptuales sobre los contenidos actitudinales con relación al acercamiento que los estudiantes establecen hacia la biotecnología. No

obstante, existe una amplia diversidad de metodologías utilizadas en la enseñanza de la biotecnología, donde la participación de los estudiantes es una preocupación principal.

Finalmente, es evidente que existe una preocupación de los profesores por la promoción de prácticas propias para la enseñanza de la biotecnología y su implementación en los planes de estudio en todos los niveles educativos. Sin embargo, es abordada mayoritariamente con un 54% en la práctica docente de profesores y estudiantes de educación secundaria y media, con la finalidad de fundamentar su enseñanza en contexto y reconocer sus aportes en el mejoramiento de la calidad de vida de la humanidad.

Referencias

- Aivelo, T. & Uitto, A. (2021) Factors explaining students' attitudes towards learning genetics and belief in genetic determinism. *International Journal of Science Education*, 43 (9), 1408-1425, DOI: 10.1080/09500693.2021.1917789
- Alindra, A.L., Widodo, A. Rahman T. & Riandi. (2020). Analysis of Learning Activity Facilitating Argumentation Skill on Cloning Topic in Islamic Senior High Schools by Using Video. *Thabiea: Journal of Natural Science Teaching*, 3 (1), 1-10.
- Anderton, B & Ronald, P. (2018). Hybrid thematic analysis reveals themes for assessing student understanding of biotechnology. *Journal of Biological Education*, 52 (3), 271-282. DOI: 10.1080/00219266.2017.1338599
- Arnau-Sabatés, L. y Sala Roca, J. (2020). *La revisión de la literatura científica: pautas, procedimientos y criterios de calidad*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Archila, P., Truscott de Mejía, A. & Restrepo, S. (2023). Using Drama to Enrich Students' Argumentation About Genetically Modified Foods. *Sci & Educ* 32, 635-668.
- Aydin, Serap Öz; Azizoglu, Nursen; Yilmaz, Fatma Bilgican. (2023). Designing Active Learning Enriched Biotechnology Instruction Module (BIM) for Middle School Science Course. *Elementary School Forum*, 10 (1), 34-62.
- Bagsani, D. y González-García, F. (2022). Bioética, una temática transversal para la educación secundaria. *Revista Internacional de Humanidades*, 11 (3), 1 – 11. <https://doi.org/10.37467/revhuman.v11.3824>
- Berne, B. (2014). Progression in Ethical Reasoning When Addressing Socio-scientific Issues in Biotechnology, *International Journal of Science Education*, 36 (17), 2958-2977, DOI: 10.1080/09500693.2014.941957
- Bielik, T. & Yarden, A. (2016). Promoting the asking of research questions in a high-school biotechnology inquiry-oriented program. *International Journal of STEM Education*, 3 (15), 3 – 15. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0048-x>
- Bigler, A., Hanegan, N. (2011). Student Content Knowledge Increases After Participation in a Hands-on Biotechnology Intervention. *J Sci Educ Technol*, 20, 246–257.
- Borgerding, L.A., Sadler, T.D. & Koroly, M.J. (2013). Teachers' Concerns About Biotechnology Education. *J Sci Educ Technol* 22, 133–147. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9382-z>
- Cortez, L., Latorre, N., & Hernández, R. (2016). La historia en la enseñanza del ADN: Una propuesta para generar un cambio de visión de ciencia en la escuela. *Propósitos y Representaciones*, 4(1), 281-326. doi: [http:// dx.doi.org/10.20511/pyr2016.v4n1.91](http://dx.doi.org/10.20511/pyr2016.v4n1.91)
- Curia, M., D' Alessandro, O. y Briand, L. (2010). La enseñanza de conceptos en biotecnología a través de un experimento sencillo y económico. *Formación universitaria*, 3 (1).

- De la Vega-Naranjo M., Lorca-Marín A.A., De las Heras-Pérez M.A. (2018) Conocimientos y actitudes hacia la biotecnología en alumnos de último curso de Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 15, (3), 3301.
- Espinel, N. (2015). Enseñanza de la biotecnología en américa latina. Revisión de antecedentes. *Bio-grafía*, 1 (extraordinario), 1318-133.
- Espinel Barrero, J. y Valbuena Ussa, E. (2018). Aproximación al estatus epistemológico de la biotecnología: implicaciones didácticas. *Tecné, episteme y didaxis: revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología*, 43, 193-206.
- Gaetan, R. (2021). Las propuestas educativas para la enseñanza de la biotecnología en la escuela secundaria presentes en los portales educativos de RELPE. *Revista de Educación en Biología*, 24 (2), 137-142.
- Gardner, G. E. & Jones, M. G. (2011). Science Instructors' Perceptions of the Risks of Biotechnology: Implications for Science Education. *Res Sci Educ*, 41, 711–738. <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9187-0>
- Giraldo de López, M., Cabascango, J. y Pinargote, Y. (2017). Soberanía alimentaria a través de la permacultura. *Revista Publicando*, 4 (2), 53 – 69.
- Guevara, G. (2004). ADN: historia de un éxito científico. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, vol. 3, núm. 11, 2004, pp. 9 – 40.
- Holmgren, D. (2013). *Permacultura. Principios y senderos más allá de la sustentabilidad*. Cambium.
- Janez, V. M., Nada Udovč Knežević, P. & Zajc, J. (2019) Biotechnology learning in Slovenian upper-secondary education: gaining knowledge and forming attitudes. *Research in Science & Technological Education*, 37 (1), 110-125. DOI: 10.1080/02635143.2018.1491473
- Kumnuanek, O., Aranyawat, U. & Pongsoyon, P. (2022). Study of students' moral reasoning on modern biotechnology applications using bioethics for informed decision modules. *Journal of Turkish Science Education*, 19 (2), 511-524.
- Latorre, P., Cortes, L. y Aristizábal, A. (2015). Reflexiones socio-históricas en torno a la dilucidación de la estructura del ADN: una experiencia educativa. *Física y cultura* (9), 43 – 60.
- Lieshout, E. & Dawson, V. (2016). Knowledge of, and Attitudes Towards Health-related Biotechnology Applications Amongst Australian Year 10 High School Students, *Journal of Biological Education*, 50 (3), 329-344. DOI: 10.1080/00219266.2015.1117511
- Lozano Puentes, N. P. (2017). Aproximación de los jóvenes de origen cultural Muisca, asentamiento Sesquilé, a los artefactos de la biotecnología. *Infancias Imágenes*, 16 (2), 189 – 203.
- Morales, J. (2017). El énfasis en Biotecnología como escenario de inclusión y desarrollo de una actitud emprendedora. *Bio-grafía*, 1 (extraordinario), 351-362.
- Morcillo, G., Cortés, E. y García, J. (2023). *Biotecnología y alimentación*. UNED.
- Morrow, R. (2010). *Suelo un organismo viviente*. En Morrow, R. (2010). Guía de permacultura para el usuario de la tierra. Kaicron.
- Nordqvist, O. & Johansson, S. (2020). Secondary School Biology Students' Attitudes towards Modern Biotechnology Characterized Using Structural Equation Modeling. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16 (2), 1822.
- Nordqvist, O. & Aronsson, H. (2019), It Is Time for a New Direction in Biotechnology Education Research. *Biotechnology Education*, 47, 189-200. <https://doi.org/10.1002/bmb.21214>
- Paš, M., Vogrinc, J., Raspor, P., Udovč Knežević, N., & Čehovin Zajc, J. (2019). Biotechnology learning in Slovenian upper-secondary education: gaining knowledge and forming attitudes. *Research in Science & Technological Education*, 37 (1), 110 –125. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1491473>

- Persano Adorno, D., Mallahnia, T., Koch, V., Zailskaite-Jakšt, L.; Ostreika, A., Urbaityte, A., Punys, V. y Pizzolato, N. (2021). The BioS4You European Project: An Innovative Way to Effectively Engage Z-Generation Students in STEM Disciplines. *Educ. Sci.*, 11, 774.
<https://doi.org/10.3390/educsci11120774>
- Roa, R. (2010). Referentes de la biotecnología para la enseñanza de las ciencias naturales. *Bio-grafía*, 3 (5), 170 – 180.
- Roa, R. (2011). Didáctica de la biotecnología en la escuela. *Bio-grafía*, 333 – 341.
- Roa-Acosta, R., González-Galli, L. y Valbuena Ussa, E. (2019). Implicaciones didácticas del concepto biotecnología. *Educación y Educadores*, 22 (3), 397 – 421.
- Rodríguez-Marín, Fernández-Arroyo, F. y García Díaz, J. (2015). El huerto escolar ecológico como herramienta para la educación en y para el decrecimiento. *Investigación en la escuela*, 86, 35 – 48.
- Ruhizan Mohammad, Y., Latifah, A. & Kok, H. (2018). Teaching & Learning of 21st Century Biotechnology in Secondary School Additional Science. *Teaching Science*, 64 (3), 27-36.
- Ruiz González, C. (2021). Conocimientos, actitudes e intereses de estudiantes de educación secundaria obligatoria y bachillerato hacia la biotecnología. [Tesis Doctoral, Universidad de Murcia]. Archivo digital. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/103701>
- Ruiz González, C., López-Banet, L. y Ayuso Fernández, E. (2021). Conocimientos y valoraciones de estudiantes de bachillerato sobre la utilización de aplicaciones biotecnológicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18 (1), 1102.
- Said, A., Acevedo, E., Urzúa, B., Cifuentes, V. y Sepúlveda, D. (2013). Estrategias didácticas para la enseñanza de la biología molecular y la biotecnología, en estudiantes de educación media. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* 0 (extraordinario), 3138-3142.
- Silva, J., Maia, L. y Brito, C. (2017). Ensino de biotecnologia o conhecimento docente e abordagem na perspectiva do exame nacional do ensino médio. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, 12 (2), 776-792.
- Svendsen, P. & Banner, I. (2021). Vocal and quiet students' attitude towards school biology and biotechnology following an intervention. *Journal of Biological Education*, 55 (1), 45-59, DOI: 10.1080/00219266.2019.1643762
- Thieman, W. y Palladino, M. (2010). *Introducción a la biotecnología*. Pearson.
- Toman, U. (2019). Articles on biotechnology teaching: Thematic content analysis study. *Journal on Educational Technology: Current Issues*, 11 (4), 220–229
<https://doi.org/10.18844/wjet.v11i4.4271>
- Tugce Yagmur, O. & Nurettin, S. (2018). The Impact of Innovative Teaching Approaches on Biotechnology Knowledge and Laboratory Experiences of Science Teachers. *Education Sciences*, 8. Article 213.
- Vuran, F. E., Çiğdemoğlu, C., & Mirici, S. (2020). The effect of genetic engineering and biotechnology activities on students' achievement, attitudes and self-evaluations. *International Online Journal of Education and Teaching (IOJET)*, 7 (1). 373-388.
<http://iojet.org/index.php/IOJET/article/view/813>
- Yang, X., Hartman, M., Harrington, K., Etson, C., Fierman, M., Slonim, M. y Walt, D. (2017). *Using Next-Generation Sequencing to Explore Genetics and Race in the High School Classroom*. CBE—Life Sciences Education.
- Yepes-Núñez, J., Urrutia, G., Romero-García, M. y Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista española de cardiología*, 74 (9), 790-799.