

Literacidad científica en las ciencias biológicas: Un estado del arte

Scientific literacy in the life sciences: A state of the art

Alfabetização científica nas ciências da vida: um estado da arte

Libia Adriana León-Izurieta
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
ORCID: [0000-0002-6691-6420](https://orcid.org/0000-0002-6691-6420)
libiaadriana.leonizurieta@viep.com.mx

Daniel Mocencahua-Mora
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
ORCID: [0000-0003-4718-7442](https://orcid.org/0000-0003-4718-7442)
daniel.mocencahuamora@viep.com.mx

Alfonso Cano-Robles
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
ORCID: [0000-0002-9496-2301](https://orcid.org/0000-0002-9496-2301)
alfonso.canorobles@viep.com.mx

Margarita Flor de María Méndez Ochaita
Universidad Autónoma de Tlaxcala
ORCID: [0000-0001-7601-4570](https://orcid.org/0000-0001-7601-4570)
flormendezo@yahoo.com

Resumo

O desenvolvimento de competências de literacia científica nas ciências biológicas é essencial para preparar os alunos para comunicar e compreender conceitos científicos, contribuindo para a sua formação holística. Este artigo analisa os vários significados de literacia científica, as competências associadas e as estratégias educativas, incluindo o uso das tecnologias de informação e comunicação (TIC). Apesar da sua importância, o estudo da literacia científica é limitado e apresenta discrepâncias nas suas componentes. A investigação está organizada em cinco áreas: definição de literacia científica em ciências biológicas, competências associadas, dimensões de estudo, investigação no ensino superior e estratégias educativas relacionadas com as TIC. Foi realizada uma busca em bases de dados como Scopus, Web of Science e PubMed, incluindo publicações dos últimos oito anos (2015-2023). Os resultados destacam quatro competências-chave: comunicação científica escrita, análise baseada em evidências, argumentação e criação de gráficos. No entanto, foi identificada uma lacuna no ensino da escrita científica, essencial para o desenvolvimento de competências de argumentação. A pandemia revelou deficiências na utilização das TIC, sublinhando a necessidade de formação dos professores e de estratégias de aprendizagem ativa. Conclui-se que a literacia científica é crucial para formar profissionais capazes de aplicar e comunicar conhecimentos no contexto das ciências biológicas, com impacto direto na qualidade de vida da sociedade. É imperativo integrar estas competências nos currículos educativos.

Palavras-Chave: Alfabetização Científica; Comunicação Científica; Habilidade de comunicação escrita; Educação Científica; Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC).

Abstract

The acquisition of scientific literacy skills in the biological sciences is essential to prepare students to communicate and understand scientific concepts, contributing to their comprehensive education. This article examines the various meanings of scientific literacy, associated skills and educational strategies, including the use of information and communication technologies (ICT). Despite its importance, the study of scientific literacy is limited and presents discrepancies in its components. The study is organized in five areas: definition of scientific literacy in biological sciences, associated skills, dimensions of study, research in higher education, and educational strategies related to ICT. A searching was conducted in databases such as Scopus, Web of Science and PubMed, including publications from the last eight years (2015-2023). The findings highlight four key skills: written scientific communication, evidence-based analysis, argumentation, and graph creation. However, a gap was identified in the teaching of

Cite as: León-Izurieta, L. A., Mocencahua-Mora, D., Cano-Robles, A., & Ochaita, M. F. M. M. (2023). Literacidad científica en las ciencias biológicas: Un estado del arte. Revista Brasileira de Informática na Educação - RBIE, vol. 33, 829-851. <https://doi.org/10.5753/rbie.2025.5102>

scientific writing, essential for developing argumentative skills. The pandemic revealed deficiencies in the use of ICT, emphasizing the need for teacher training and active learning strategies. It is concluded that scientific literacy is crucial to train professionals capable of applying and communicating scientific knowledge in the context of the biological sciences, directly impacting the quality of life of society. It is imperative to integrate these skills into educational programs.

Keywords: *Scientific Literacy; Science Communication; Scientific Skills; Science Education; Information and Communication Technologies (ICT).*

Resumen

El desarrollo de habilidades de literacidad científica en las ciencias biológicas es esencial para preparar a los estudiantes en la comunicación y comprensión de conceptos científicos, contribuyendo a su formación integral. Este artículo examina las diversas acepciones de literacidad científica, las habilidades asociadas y las estrategias educativas, incluyendo el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC). A pesar de su importancia, el estudio de la literacidad científica es limitado y presenta discrepancias en sus componentes. La investigación se organiza en cinco áreas: definición de literacidad científica en ciencias biológicas, habilidades asociadas, dimensiones de estudio, investigaciones en educación superior y estrategias educativas relacionadas con las TIC. Se realizó una búsqueda en bases de datos como Scopus y Web of Science, con publicaciones de los últimos ocho años (2015-2023). Los hallazgos destacan cuatro habilidades clave: comunicación científica escrita, análisis basado en evidencias, argumentación y creación de gráficos. Sin embargo, se identificó un vacío en la enseñanza de la escritura científica, esencial para desarrollar habilidades argumentativas. La pandemia reveló deficiencias en el uso de TIC, enfatizando la necesidad de capacitación docente y estrategias de aprendizaje activo. Se concluye que la literacidad científica es crucial para formar profesionales capaces de aplicar y comunicar conocimientos en el contexto de las ciencias biológicas, impactando directamente en la calidad de vida de la sociedad. Es imperativo integrar estas habilidades en los currículos educativos.

Palabras clave: *Literacidad Científica; Comunicación de la Ciencia; Habilidades de comunicación escrita; Educación en Ciencias; Tecnologías de la información y comunicación (TIC).*

1 Introducción

El término *literacidad* se ha utilizado aproximadamente desde 1880 y se refiere a la capacidad de una persona para leer y escribir, ser educada, tener cultura y ser crítica. Con el tiempo, el término ha evolucionado y se puede utilizar en distintos contextos y disciplinas del conocimiento, tales como, la literacidad matemática, en salud o científica (O'Toole et al., 2020).

De acuerdo con una revisión amplia de publicaciones sobre educación en ciencias, se analizan tres componentes de la literacidad científica: 1) El acceso, que se refiere a la comunicación oral y escrita de la ciencia, así como al uso de la literatura en el aprendizaje de las ciencias. 2) El uso, que se refiere a lo que necesita saber la población respecto a la ciencia para explicar fenómenos de la naturaleza; este componente se analiza con frecuencia en las escuelas para incluir contenidos específicos. 3) El compromiso, que se refiere al impacto que tiene el estudiantado de ciencia para informar el aprendizaje de las ciencias (Anderson et al., 2020; Riquelme & Corzo, 2017; Bybee, 1997; Cartwright et al., 2020; Rusilowati et al., 2016). Esta clasificación puede dar pauta para revisar la literacidad desde diversas perspectivas, en este estudio se realiza el análisis respecto a las habilidades de la literacidad científica incluyendo el uso y el compromiso en el aprendizaje de la literacidad científica.

En el ámbito académico de las ciencias biológicas, el estudio de la literacidad científica es muy amplio, y existen distintas acepciones que la abordan desde diferentes perspectivas. Una de ellas se refiere al desarrollo de habilidades en el aprendizaje de las ciencias, mientras que otra se enfoca en la adquisición de habilidades para que el estudiantado pueda explicar fenómenos científicos a la sociedad y contribuir a formar personas con alfabetización (Henao & Londoño-Vásquez, 2016; Washburn et al., 2023).

Sin embargo, el desarrollo de habilidades de la literacidad científica no se ha estudiado en profundidad. Aún existe discrepancia entre los elementos que la conforman o, bien, sobre cuáles deberían abordarse con mayor profundidad. Es de primordial importancia identificarlos para el análisis de los contenidos académicos y el impacto que tienen sobre el aprendizaje de las ciencias biológicas.

Este documento tiene como objetivo abordar las diferencias del concepto de literacidad científica en las ciencias biológicas, las habilidades relacionadas que se han descrito, las dimensiones, y los estudios concretos que abordan metodologías para el desarrollo de habilidades de la literacidad científica; así como las estrategias utilizadas mediadas por tecnología. Finalmente, se presentan los resultados del sondeo realizado en las bases de datos sobre las disciplinas de las ciencias biológicas y las habilidades encontradas.

2 Literacidad científica en las ciencias biológicas

El desarrollo de la literacidad científica es uno de los objetivos de la educación, así como el acceso a la ciencia es primordial si queremos, como sociedad, formar ciudadanos y ciudadanas capaces de reconocer los procedimientos de la ciencia y usar el conocimiento científico para mejorar la calidad de vida (Semilarski & Laius, 2021). Algunos puntos clave para desarrollar la literacidad científica, incluso en la educación básica sugeridos por la OECD, son: 1) la comprensión de las características de la ciencia, 2) la influencia de la ciencia y la tecnología, y 3) adquirir niveles sobre el conocimiento científico (Bybee et al., 2009). Una vez adquiridas estas habilidades, en la educación superior, el objetivo de la literacidad científica es profundizar en habilidades que contribuirán a la comprensión y comunicación de la ciencia (Anderson et al., 2020).

Se han planteado diferentes literacidades que permiten englobarlas en literacidades disciplinares. Es decir, un individuo letrado en una disciplina posee habilidades para el

aprendizaje permanente en su campo de estudio y comprende múltiples habilidades básicas de interacción y comunicación (Evans et al., 2020). Desde esta perspectiva, los estudiantes de ciencias biológicas precisan que se les enseñen habilidades como la interpretación de datos, la comunicación científica y la aplicación del método científico para explicar fenómenos científicos a la sociedad. Para ello, se han desarrollado diversas estrategias educativas, como la lectura y la escritura sobre ciencia en textos especializados, como los artículos científicos, que son prácticas de literacidad científica necesarias para comunicar y comprender la ciencia (Washburn et al., 2023).

La enseñanza de la literacidad científica requiere de una instrucción explícita y una didáctica específica que promueva el desarrollo de habilidades fundamentales en los estudiantes. En el contexto actual, es imperativo que esta enseñanza se integre en entornos digitales, utilizando herramientas tecnológicas que favorezcan el desarrollo de competencias particulares. Este enfoque no solo contribuye a la formación autónoma de los estudiantes, sino que también facilita un aprendizaje mediado por Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), mediante el uso de recursos tecnológicos que pueden implementarse de manera presencial, a distancia o virtual. De este modo, se apoya el diálogo asíncrono, sustentado por interacciones que enriquecen el proceso educativo (Mateo-Girona et al., 2021). Las transformaciones impulsadas por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) requieren el fomento de competencias que posibiliten la participación en un nuevo entorno social virtual, caracterizado por la colaboración, la inclusión, la integración, la experimentación y la interacción entre diversos actores (Reviglio, 2019).

La literacidad científica se fundamenta en el concepto de literacidad académica, que hace referencia a las prácticas discursivas propias del ámbito de la educación superior. Estas prácticas incluyen el uso de elementos lingüísticos, cognitivos y retóricos, abarcando actos como la lectura, la escritura, el habla y el pensamiento, todo ello en concordancia con los marcos y convenciones establecidos por las comunidades y disciplinas académicas (Hernández-Zamora, 2016).

La literacidad científica requiere de una educación impartida por una comunidad científica dinámica, con la capacidad de abordar los desafíos globales. Este enfoque no solo busca promover el conocimiento científico, sino también extenderlo a la población general, con el fin de que los individuos adquieran las habilidades necesarias para comprender la ciencia y aplicar los principios científicos en su vida cotidiana (Oliveira et al., 2019).

2.1 Conceptos de literacidad científica en ciencias biológicas

En la literatura, existen diversas acepciones presentes publicaciones relacionadas con las ciencias biológicas. A continuación, en la tabla 1 se muestran los principales conceptos respecto a la literacidad científica en los que han coincidido diversos autores, los cuales hacen énfasis en el uso de datos y evidencias científicas para explicar fenómenos naturales. Algunos autores orientan este concepto con la finalidad de adquirir habilidades para explicarlo no solo en el ámbito académico, sino también para que los estudiantes de esta área puedan comunicarlo a la sociedad.

En este estudio se adopta el concepto de literacidad científica vinculado a habilidades específicas de una disciplina, necesarias para comunicar, debatir y entender la ciencia. Este concepto no limita únicamente a la lectura y escritura de la ciencia, sino que abarca el desarrollo de habilidades específicas esenciales para la educación en el ámbito biológico a nivel de pregrado (Nelms & Segura-Totten, 2019).

El desarrollo de la literacidad científica es fundamental en las carreras científicas, ya que permite a los estudiantes comprender el potencial de la ciencia, tomar decisiones informadas sobre situaciones cotidianas basadas en información científica, y es crucial para el desarrollo de la investigación científica y la comprensión de los experimentos en los laboratorios (Washburn et al., 2023).

De acuerdo con Semilarski & Laius, (2021) el desarrollo de la literacidad científica es el principal objetivo de la educación en ciencias; de esta manera el estudiantado letrado científicamente pueden conocer y usar el lenguaje aplicado en la biología, así como entender conceptos centrales, obtener conocimiento biológico y lograr una comprensión conceptual del conocimiento científico (Oliveira et al., 2019).

Las habilidades de los estudiantes se desarrollan a lo largo de sus estudios universitarios, por lo que el impacto de la literacidad científica en el área biológica puede medirse a través de la contribución de sus textos de difusión y divulgación científica. Se ha encontrado que habilidades como la escritura incrementan el entendimiento de los y las estudiantes en la disciplina, mejoran significativamente la comprensión lectora y la apreciación de la ciencia, además de proponer soluciones a problemas en la vida cotidiana, reforzando así sus habilidades y actitudes hacia la ciencia (Scott & Ahmed, 2020).

Tabla 1: Conceptos principales de literacidad científica

| Autor | Literacidad científica |
|---------------------------|---|
| Shaffer et al., (2019) | Uso de evidencias y datos para evaluar la calidad de la información de la ciencia y los argumentos. |
| Cartwright et al., (2020) | Se refiere a la habilidad para usar el conocimiento científico para identificar y resolver problemas basados en evidencias, pueden ser usadas para comprender cualquier fenómeno natural. |
| Prastiwi et al., (2020) | Habilidades para usar el conocimiento científico para identificar y resolver problemas basados en evidencias, que pueden ser usadas para comprender cualquier fenómeno natural. |
| Evans et al., (2020) | Es la capacidad de hacer uso del conocimiento científico en el mundo real, así como las habilidades que conducen a la comprensión del conocimiento científico. |
| Woodham et al., (2016) | Se refiere a las habilidades que comprenden la relación entre la ciencia y la sociedad. |

Nota: Se muestran los conceptos que se refieren a la literacidad científica con un enfoque cognitivo que principalmente muestran las diferentes habilidades que se adquieren durante la formación académica.

3 Metodología

Para la elaboración del estado del arte, se siguió la metodología descrita en George-Reyes, (2019) quien afirma que “el estado del arte busca clarificar el curso actual de un problema científico, logrando con ello identificar las propuestas convergentes, divergentes y también las ausencias en la generación de un tópico particular” (p. 3).

En un primer momento, se pretende contextualizar el concepto de literacidad científica en las ciencias biológicas, así como el estado actual en el que se desarrolla este concepto. En un segundo momento, nos aproximamos pro medio de la siguiente clasificación del objeto de estudio que incluye: a) el concepto de la literacidad científica en las ciencias biológicas, b) las habilidades que se desprenden de la literacidad científica en las ciencias biológicas, c) las dimensiones que se estudian sobre la literacidad científica, d) los estudios sobre literacidad científica en la educación superior en contextos nacionales e internacionales, y e) las investigaciones sobre las estrategias relacionadas a las tecnologías de la información y comunicación.

En un tercer momento, se eligió el material teórico, que consistió en las bases de datos: Scopus, Web Of Science y PubMed. Se incluyen documentos que provienen de revistas que publican en acceso abierto, de acceso gratuito temporal o permanente, publicaciones disponibles en repositorios, así como artículos de acceso no abierto que se solicitaron al autor por medio de apoyo institucional, además de revisiones de literatura y artículos de conferencia. La ecuación de búsqueda principal se realizó con las palabras clave que motivan el estudio “literacidad científica”

y “habilidades”. Los términos fueron traducidos al inglés con apoyo del *thesaurus* de las bases de datos, establecidas como “scientific literacy” AND “skills”.

En un cuarto momento, se decidieron los siguientes criterios de inclusión:

- a) Artículos de revistas mencionados anteriormente.
- b) Publicaciones de los últimos 8 años (2015-2023).
- c) Publicaciones que abordan habilidades de literacidad científica en las ciencias biológicas.
- d) Herramientas didácticas para el desarrollo de habilidades de literacidad científica
- e) Literacidad científica utilizada en ciencias biológicas, incluyendo biología, biomedicina, medicina, bioquímica, ciencias químicas, microbiología y fisiología.
- f) Estudios de enfoque cuantitativo, cualitativo o métodos mixtos.

Los criterios de exclusión fueron:

- a) Estudios de literacidad científica en el ámbito cultural o alfabetización científica, cultura científica
- b) Otros tipos de literacidad (matemática, cultural o de salud).
- c) Estudios de literacidad científica aplicados a disciplinas distintas de las ciencias biológicas y a nivel básico o medio superior.
- d) Artículos duplicados.

En un quinto momento, se establecen los siguientes criterios para la interpretación de los hallazgos:

- a) Discusión sobre conceptos de literacidad científica en las ciencias biológicas.
- b) Discusión sobre las habilidades de la literacidad científica encontradas en el nivel superior en las ciencias biológicas.
- c) Contribuciones de la didáctica al desarrollo de las habilidades de literacidad científica en las ciencias biológicas.
- d) Relaciones que se establecen entre las habilidades de literacidad científica.

4 Resultados

De acuerdo con la búsqueda, se encontraron 539 publicaciones en la base de datos Scopus 455 en WOS y 73 en PubMed. Para el análisis, solo 261 publicaciones abordan las habilidades de literacidad científica, y de estas, solo 34 incluyen alguna herramienta con TIC e incluyen y la abordan con las ciencias biológicas. Como podemos observar en la figura 1, de estas últimas publicaciones, el 67% son estudios de enfoque cuantitativo, el 12% de enfoque cualitativo, 9% de enfoque mixto y 12% son artículos que proponen metodologías educativas para desarrollar la literacidad científica (Ver Figura 1).

Los estudios publicados coinciden en algunas de las habilidades de literacidad científica. Es decir, los autores proponen al menos cuatro habilidades, que incluyen la comunicación científica escrita, el análisis científico basado en evidencias y datos, la argumentación, y la creación de gráficas y figuras para la explicación de la ciencia. La mayoría de las publicaciones se enfocan en desarrollar solo una de estas habilidades, y no existe uniformidad en los estudios revisados en este análisis.

Además, es difícil encontrar estrategias que desarrollen la mayoría de las habilidades simultáneamente. Los autores sugieren que las estrategias deben ser diferentes para cada habilidad, ya que abarcan dimensiones y constructos distintos. Por lo tanto, es razonable identificar las habilidades basándose en el syllabus correspondiente.

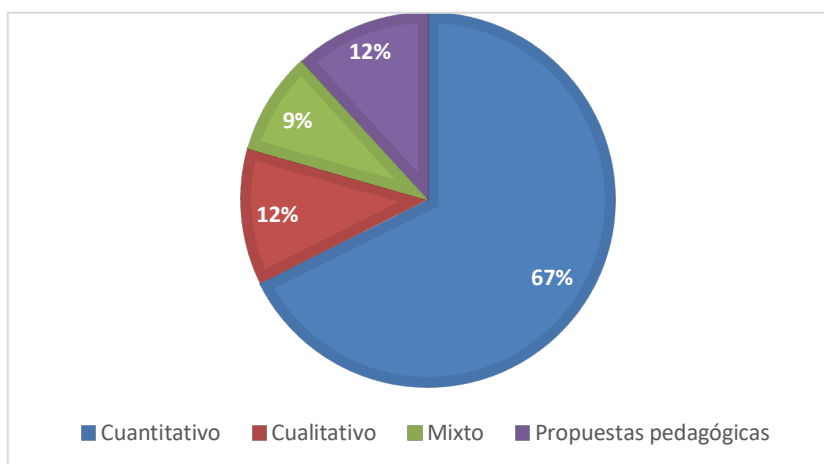


Figura 1. Porcentaje de publicaciones acerca de literacidad científica en las ciencias biológicas.

Se hizo una búsqueda por disciplinas que se encuentran en las ciencias biológicas. Se encontraron propuestas del desarrollo de habilidades en la inmunología, bioquímica y genética, microbiología, química, biología y enfermería, ciencias biomédicas, educación en ciencias y ciencias biológicas propiamente dichas (Ver Figura 2).

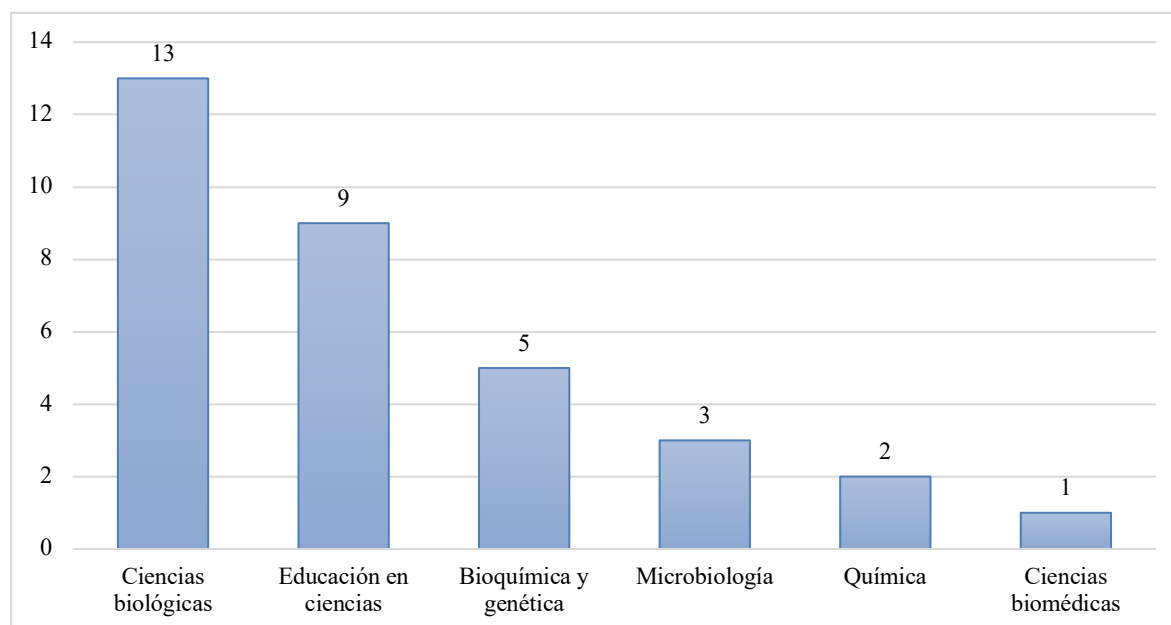


Figura 2. Publicaciones halladas en las disciplinas de las ciencias biológicas

A partir de las publicaciones se lograron extraer las habilidades que se han propuesto de literacidad científica que los autores consideran como habilidades clave para el desarrollo en la disciplina de las ciencias biológicas, se han resumido en la tabla 2.

Tabla 2. Habilidades de literacidad científica referidas en publicaciones de ciencias biológicas.

| Habilidad | Descripción |
|---|--|
| Argumentación | Forma parte de la escritura científica, consiste en presentar los resultados con datos y evidencias de forma clara, incluye una explicación y justificación, así como la correspondencia con los conceptos científicos (Roviati et al., 2022). |
| Comunicación de la ciencia escrita, oral y visual | La escritura es una actividad retórica compleja, la comunicación es propia de cada disciplina y es necesario aprender el lenguaje para pertenecer a una comunidad científica, en la comunicación de la ciencia existen diversos formatos para la presentación de datos por ejemplo los gráficos y las imágenes científicas (Navarro et al., 2022). |

| | |
|--|--|
| Búsqueda e interpretación de la información | Se refiere a la búsqueda de evidencias concretas mediante una colección diversa y significativa de fuentes de alta calidad, las fuentes de información son propias de la disciplina (Stockwell, 2016). |
| Reconocimiento y descripción de los conceptos de las disciplinas | Consiste en tener una participación activa en la ciencia que incluye el uso del lenguaje y la participación en el discurso científico (Geithner & Pollastro, 2016). |
| Aplicación de la ciencia para la resolución de problemas | Es la habilidad para generar opiniones informadas sobre la ciencia para resolver o explicar controversias y fenómenos científicos y proponer soluciones (Hussa, 2018). |
| Diseño y comprensión de los experimentos científicos | Es la habilidad que permite a los científicos plantear el diseño de los experimentos que consta de la validez científica de los objetivos de investigación, la descripción de los métodos e instrumentos y describir la validez y claridad de las conclusiones (Bortnik et al., 2017). |
| Realizar preguntas de investigación | Es la capacidad para evaluar de manera crítica los diseños de investigación así como identificar las fortalezas y debilidades de los estudios para plantear nuevas preguntas de investigación (Cartwright et al., 2020). |
| Comprensión de esquemas | Consiste en analizar e interpretar los datos y obtener conclusiones, así como la identificación de suposiciones, evidencia y razonamiento de los esquemas (Heliawati et al., 2020). |
| Creación de figuras y gráficos para la explicación de la ciencia | Es la habilidad para crear e interpretar datos expresados de forma visual, se requiere que los estudiantes interpreten los gráficos con la información pertinente (Kirby et al., 2019). |
| Comprensión, apreciación de la ciencia y el uso de la tecnología en la vida diaria | Consiste en comprender el entorno y el medio ambiente mediante una explicación utilizando la evidencia científica (Dewi et al., 2019). |
| Toma de decisiones basada en evidencia científica | Es la habilidad para encontrar fuentes apropiadas y confiables para analizar críticamente un argumento para pensar de forma crítica, actuar de manera responsable, liderar de manera efectiva y vivir humanamente (Taylor, 2020). |
| Identificación de los componentes de artículos científicos | Es la habilidad de analizar datos y argumentos, así como la adquisición de nuevo material y vocabulario y la identificación de esquemas, técnicas y procedimientos (Nelms & Segura-Totten, 2019). |
| Proporcionar revisión por pares | Es un método para evaluar el trabajo científico y una estrategia ampliamente usada en la comunidad científica para mejorar la calidad de artículos científicos, también es utilizada con los estudiantes para ayudarlos en la escritura científica y ofrecer retroalimentación (Roviati et al., 2022). |
| Habilidades de laboratorio | Consiste en la habilidad de obtener e incorporar conceptos y prácticas de la comunidad científica que tengan como resultado un razonamiento cuantitativo que permita comprobar fenómenos científicos (Buteyn et al., 2019). |

Para el análisis de los artículos, consideramos definir la literacidad científica y las habilidades en las que han coincidido la mayoría de los autores, así como las propuestas pedagógicas y tecnológicas que se utilizan en la actualidad. Se identificaron 4 núcleos temáticos a partir de la interpretación de la literatura encontrada que podemos encontrar de manera resumida en la tabla 4.

4.1 Núcleo temático I: Literacidad científica en las ciencias biológicas.

Los individuos con literacidad científica disciplinaria poseen habilidades para el aprendizaje permanente en su campo de estudio. Evans et al., (2020) proponen el desarrollo de planes integrales en el contexto del conocimiento disciplinario. Para el desarrollo de habilidades se requiere familiarización con los estilos académicos, por ejemplo, la escritura científica y la comprensión de la literatura primaria, que suelen ser distintas de otras áreas. Además, los estudiantes deberían ser capaces de aplicar conceptos científicos, explicar y evaluar datos sobre el mundo que nos rodea (Anderson et al., 2020; Shaffer et al., 2019; Taylor, 2020).

Es importante destacar los principales conceptos en los que coincide la mayoría de los autores en este estudio, como se puede observar en la tabla 3. La mayoría enfatiza el uso de evidencias y datos para explicar los fenómenos científicos.

Tabla 3. Conceptualizaciones sobre literacidad científica en las ciencias biológicas.

| Autor | Conceptualización | Habilidades |
|-------------------------|---|---|
| Evans et al., (2020) | “Es la capacidad científica de hacer uso del conocimiento científico en situaciones del mundo real” (p. 1731). | Aprendizaje permanente en su campo de estudio. Múltiples habilidades básicas de interacción con la disciplina. |
| Prastiwi et al., (2020) | “Habilidades para usar el conocimiento científico para identificar y resolver problemas basado en evidencias, que pueden ser usadas para comprender cualquier fenómeno natural” (p. 230). | Comunicación científica Observación y experimentación Pensamiento científico y creativo |
| Shaffer et al., (2019) | “Uso de evidencias y datos para evaluar la calidad de la información de la ciencia y argumentos presentados por científicos” (p. 1). | Comprender los métodos de investigación Organizar, analizar e interpretar datos basados en información científica |
| Woodham et al., (2016) | “Habilidades que comprenden la relación entre la ciencia y la sociedad” (p. 458). | Adquirir y nombrar la literatura primaria Interpretación de los datos Escritura científica Diseño experimental |

Nota: El concepto de literacidad científica en las ciencias biológicas, abarca en un conjunto de habilidades que se deben desarrollar a lo largo de la licenciatura, y no se limita únicamente a la lectura y escritura de la ciencia.

4.2 Núcleo temático II: Habilidades de literacidad científica en el área biológica.

Las habilidades de literacidad científica deben ser enseñadas en el contexto del conocimiento disciplinar (Momsen et al., 2010; Navarro et al., 2022). Estas habilidades abarcan la comprensión de la relación entre la ciencia, los profesionistas dedicados a la ciencia y la sociedad (Suwono et al., 2019; Woodham et al., 2016). Sin embargo, en este estudio se identifica un vacío en cuanto a la escritura científica, dado que existe una escasez de estrategias desarrolladas por expertos en ciencias biológicas para cultivar esta habilidad. La escritura científica está intrínsecamente ligada a la capacidad de argumentación, la revisión por pares y los diversos formatos en los que se comunica la ciencia en el ámbito biológico. Es importante destacar que entre los estudiantes principiantes en ciencias no se ha observado el desarrollo de esta habilidad, la cual se ha sugerido implementar desde los niveles educativos básicos o de enseñanza media. En particular, la comunicación de la ciencia requiere de habilidades específicas previas, tales como el pensamiento crítico, la argumentación, la literacidad visual y el análisis de la información (Firdausy & Prasetyo, 2020; Açıkgül & Köksal, 2019).

La medición de las habilidades en las ciencias biológicas se ha realizado mediante el Test de Habilidades de Literacidad Científica (TOSLS, por sus siglas en inglés), propuesto por Gormally et al., (2012) para evaluar los niveles de literacidad científica. Varios autores han replicado en subdisciplinas de las ciencias biológicas, como la bioquímica, la química y la biotecnología (Aiman et al., 2020; Açıkgül & Köksal, 2019; Segarra et al., 2018; Vogelzang et al., 2020). Este cuestionario ha sido el más utilizado para medir las habilidades de literacidad científica. Sin embargo, no se ha realizado un estudio cualitativo o mixto que aplique estrategias específicas para el desarrollo de las habilidades propuestas y que destaque su eficiencia. Además,

en las disciplinas generalmente no se enseñan estas habilidades de manera explícita con estrategias de enseñanza específicas y con una medición cuantitativa y cualitativa, sino que se han aplicado en contextos diversos, por lo tanto, los resultados suelen ser diferentes.

Otro aspecto relevante en la medición de estas estrategias es que se realiza a través de la percepción de los estudiantes, lo que puede cambiar significativamente el rumbo de aplicación de la estrategia debido los contextos en los que se encuentran y los factores que podrían influir, como la implementación por parte de los docentes, los recursos de la universidad, la tecnología o incluso los propios recursos intelectuales con los que cuentan los estudiantes.

4.3 Núcleo temático III. Contribuciones de la didáctica con TIC al desarrollo de la literacidad científica

El uso de la tecnología desde la pandemia ha tomado un papel fundamental, sin embargo, se evidenció una grave deficiencia en la implementación de estrategias basadas en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Esta carencia posiblemente se deba a la falta de preparación de los docentes en el campo de las ciencias. A esto se suma que los estudiantes no estaban preparados para la educación a distancia. En este sentido, la enseñanza de habilidades dentro del contexto del conocimiento disciplinario podría facilitar el diseño de estrategias adaptadas a las necesidades de los estudiantes, lo cual se ha fortalecido notablemente desde el año 2020 hasta la fecha actual (Evans et al., 2020; Scott & Ahmed, 2020).

Es importante destacar que la enseñanza científica implica la implementación de un conjunto de estrategias de aprendizaje activo que conlleven andamios específicos para el desarrollo de cada una de las habilidades de literacidad científica. Estas estrategias suelen ser más efectivas cuando se realizan grupos pequeños, como los grupos de caso ya que fomentan la confianza y mejoran el rendimiento académico (Moyano, 2017).

En relación con las tecnologías específicas identificadas en el análisis, se hace mención de estrategias particulares como el uso de blogs y portafolios electrónicos los cuales han demostrado contribuir al avance de la comunicación científica (Oliveira et al., 2019; Prastiwi et al., 2020). Estos estudios muestran que el portafolio electrónico es eficaz para evaluar habilidades como la comunicación científica, la observación, la experimentación, el pensamiento científico y creativo.

La plataforma Moodle facilita la organización de la evidencia, los instrumentos, la reflexión y la validación de las actividades. Sin embargo, esto solo será posible si existen criterios estandarizados. Por lo tanto, las habilidades solo se pueden mejorar con intervenciones de capacitación que incluyan elementos multimedia, textos ilustrados, audios con ejemplos y videos tutoriales cortos (Münchow et al., 2023). En la enseñanza universitaria, debería ser un objetivo a largo plazo ayudar a los estudiantes a familiarizarse con el conocimiento del contenido y mejorar las habilidades de literacidad científica. No obstante, no se evidencia la aplicación de un modelo de aprendizaje específico que fomente el desarrollo de la habilidad de la escritura científica. En su lugar, estas prácticas se orientan hacia un enfoque continuo a lo largo de la trayectoria académica, requiriendo una mejora constante como parte del desarrollo profesional individual.

Por otra parte, en el contexto de la educación a distancia, ha surgido una necesidad imperante de comprender fenómenos naturales, como la llegada de un virus nuevo que afecta a la población, en su totalidad. En este escenario, se ha vuelto crucial la práctica de habilidades como la formulación de preguntas de investigación para comprender la lógica del método científico, la evaluación de argumentos científicos y el mejoramiento de la comprensión de la lectura de artículos científicos, los cuales suelen estar redactados en un lenguaje técnico específico que requiere una preparación académica adecuada para su comprensión (Dori et al., 2023; Lee et al., 2023).

Como parte de la educación a distancia, en la que se utilizan modelos virtuales de enseñanza, es importante realizar capacitaciones adecuadas y emplear modelos instruccionales efectivos. El interés de los estudiantes por la tecnología, su comprensión de la misma y su impacto en el proceso de aprendizaje promueven el desarrollo de su alfabetización científica (Ng, 2012). El entorno de aprendizaje en línea, que demanda el uso de diversas tecnologías, incluye recursos de aprendizaje electrónico accesibles en cualquier momento y lugar, los cuales facilitan la mejora de la alfabetización científica de los estudiantes (Risniawati et al., 2020). En un contexto específico en un estudio se utilizan tres modalidades de aprendizaje activo basadas en el modelo TPACK, específicamente el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), la Resolución de Cuestiones de Aprendizaje (RQA) y la combinación de ambas (PBL-RQA), pueden emplearse como alternativas en el estudio de la Genética. Este resultado se justifica por las características beneficiosas de cada enfoque para el aprendizaje. En particular, el ABP combinado con el modelo TPACK permite a los estudiantes desarrollar habilidades para resolver problemas relacionados con la Genética que se presentan en su entorno cotidiano (Zubaidah et al., 2023).

En este sentido, se ha observado que las actividades estructuradas, las tareas detalladas, el nivel de retroalimentación y la flexibilidad para revisar y enviar tareas, así como la participación de instructores como mentores y colaboradores de investigación, mejoran la autoeficacia de los estudiantes. Esto permite que modelos como el aprendizaje basado en problemas, combinado con el modelo TPACK, expongan a los estudiantes a situaciones no estructuradas del mundo real y les ayuden a comprender los desafíos de manera más organizada, clara y dirigida (Angraini et al., 2023; Killpack & Popolizio, 2023).

Se ha observado que otros estudios respaldan la eficacia del uso de un club virtual, especialmente cuando se recibe la retroalimentación de pares en colaboración con otros científicos de diferentes países. Este enfoque puede resultar particularmente relevante para la comunicación científica, cuando está en un contexto especializado. Asimismo, la utilización de tutorías en línea puede ser beneficiosa si se integran dentro de un modelo pedagógico que siga una ruta específica en la disciplina que se busca desarrollar, lo que podría contribuir al fortalecimiento de las habilidades de literacidad científica (Bortnik et al., 2017; Duncan et al., 2018; Woodham et al., 2016). En este contexto, se han incorporado diversas herramientas tecnológicas a la didáctica de la escritura y la argumentación, tales como PowerPoint, Powtoon, Genially, Educaplay, exLearning y Google Drive, las cuales se integran en laboratorios virtuales con secuencias pedagógicas específicas. El uso de estas herramientas en dispositivos móviles favorece el incremento del interés, la disciplina y la colaboración entre los estudiantes. No obstante, es importante reconocer que cada contexto educativo presenta características particulares, por lo que se recomienda realizar un diagnóstico previo con el fin de diseñar una estrategia didáctica adaptada a las necesidades específicas de cada situación (Gutiérrez, 2018).

Por otro lado, al analizar algunas limitaciones asociadas al uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), se ha planteado que las plataformas educativas pueden presentar ciertas complicaciones debido a la falta de familiarización con la interfaz o a dificultades en interacciones personales. Por consiguiente, se identifican áreas de oportunidad para abordar este desafío, como el diseño de pedagogías de aprendizaje que proporcionen experiencias de aprendizaje centradas en el mundo real.

4.4 Núcleo temático IV. Relaciones que se establecen entre las habilidades de literacidad científica y su impacto en el aprendizaje de las ciencias biológicas.

El impacto de la literacidad científica en el ámbito biológico tiene una importancia crucial dado al continuo desarrollo científico y tecnológico, especialmente ante el crecimiento de enfermedades y agentes patógenos. Es fundamental que el personal docente aborde la necesidad de desarrollar estrategias que faciliten a los estudiantes la comprensión de la ciencia dentro de su propia

disciplina. En este sentido, no solo son relevantes las habilidades académicas, como la comprensión de prácticas de laboratorio, sino también la capacidad de comunicar la ciencia, lo cual desempeña un papel fundamental entre los científicos y científicas como en la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

En las publicaciones analizadas, se observa que algunas habilidades están interrelacionadas. Por ejemplo, la revisión por pares puede considerarse una estrategia de enseñanza en la universidad para mejorar la escritura científica mediante la retroalimentación del estudiantado, así como para aumentar su autoconfianza en esta habilidad. En el estudio realizado por Geithner & Pollastro (2016), se observó que el compromiso activo en la revisión por pares en un curso de escritura científica ayuda a comprender mejor el proceso científico y a mejorar la calidad de las publicaciones dentro de la disciplina.

Por consiguiente, resulta imperativo que desde el inicio de la carrera universitaria se implementen estrategias de enseñanza específicas, las cuales, además, deberían estar orientadas y enriquecidas por aportes otras disciplinas, con el objetivo de lograr una comunicación efectiva en el ámbito científico (Navarro, 2017).

A continuación, en la tabla 4 se recopila y analizan los artículos seleccionados en el presente estudio. En ella, se exponen las habilidades asociadas a la literacidad científica que los autores consideran cruciales para el desarrollo de los estudiantes en el ámbito de las ciencias biológicas, así como las contribuciones específicas que cada investigación propone. El análisis facilita la observación de las evidencias y mejoras identificadas en los estudios revisados, permitiendo evaluar el impacto de las intervenciones. En este sentido, se distingue si los artículos ofrecen pruebas objetivas que evidencian mejoras en las habilidades científicas o si, por el contrario, se limitan a presentar propuestas teóricas sin un respaldo empírico claro. Este criterio es particularmente relevante, ya que permite discernir de manera objetiva si los resultados reflejan un verdadero desarrollo de las habilidades o si se trata únicamente de una mejora en la percepción de los participantes. Así, la revisión proporcionada ofrece una base sólida para futuros estudios, orientados a evaluar de manera más precisa el progreso en el desarrollo de estas habilidades científicas. Además, permite identificar las principales tendencias y vacíos en la literatura actual, contribuyendo a la construcción de un marco de referencia más robusto en este campo de investigación.

Tabla 4. Publicaciones enfocadas en el desarrollo de habilidades de literacidad científica y sus contribuciones

| Autores | Habilidades identificadas | Contribuciones | Medición de impacto |
|---|---|--|--|
| A Progressive Reading, Writing, and Artistic Module to Support Scientific Literacy (Stockwell, 2016). | Buscar, interpretar, argumentar información científica, comunicación de la ciencia a través de la escritura | La implementación de un módulo de aprendizaje refuerza las habilidades de la escritura de argumentos basados en evidencia científica y la revisión por pares | Midieron el impacto en la calidad de argumentación |
| “Science Fiesta!” Combining student-led community outreach with local culture (Block et al., 2016). | Comunicación de la ciencia a través de la divulgación científica para el público y para científicos, habilidades para el diseño, dirección de actividades y cumplimiento de objetivos | La implementación de un modelo de divulgación científica en el que participaron estudiantes de ciencia mejora la literacidad científica en el público, así como la comunicación pública de la ciencia de los estudiantes | Midieron el impacto en el público respecto a la comprensión de un tema científico mediante una infografía con elementos de divulgación |
| Doing peer review and receiving feedback: impact on scientific | Lectura crítica, identificar los componentes de un artículo científico o un | La implementación de la retroalimentación de la revisión por pares mejora la | Mejora la percepción de sus habilidades de literacidad científica |

| Autores | Habilidades identificadas | Contribuciones | Medición de impacto |
|--|--|---|---|
| literacy and writing skills (Geithner & Pollastro, 2016). | reporte de laboratorio, proporcionar revisión por pares, incorporar retroalimentación en la re-escritura, apreciar la revisión por pares y la retroalimentación y sentirse parte de una comunidad de aprendizaje científico | habilidad de la escritura científica | |
| Enhancing Scientific Literacy in the Undergraduate Cell Biology Laboratory Classroom (Woodham et al., 2016). | Comprender técnicas de laboratorio, identificar características de los procesos de búsqueda de información científica, procesamiento de datos, interpretación y presentación e interpretar, discutir y analizar la información científica | La implementación de un plan de estudios de literacidad científica en el área biológica que incorpora la lectura y la discusión de literatura primaria en experiencias y prácticas colaborativa permite mejorar las habilidades de literacidad científica | Mejoran las habilidades de comprensión de la ciencia. Lo realizaron mediante una prueba objetiva de conocimientos |
| Curriculum Alignment with Vision and Change Improves Student Scientific Literacy (Auerbach & Schussler, 2017). | Identificar un argumento científico válido, leer e interpretar representaciones gráficas. comprender e interpretar representaciones de datos estadísticos, comprender los elementos del diseño de investigación, realizar gráficos, justificar inferencias, predicciones y conclusiones basados en datos cuantitativos | La evaluación mediante la prueba de Habilidades de Literacidad Científica (TOSLS) de la efectividad de cambios curriculares respecto a los planes de estudios garantiza si los estudiantes logran resultados previstos de un conjunto de cursos | No aplica |
| Effect of virtual analytical chemistry laboratory on enhancing student research skills and practices (Bortnik et al., 2017). | Recolectar, sistematizar e interpretar datos estadísticos, habilidades de laboratorio: revisión de métodos, preparación de muestras y soluciones, instrumentación, recolección de datos, tabulación, realizar gráficos y evaluar controles | La implementación de un laboratorio virtual es efectiva como entrenamiento y permite a los estudiantes practicar habilidades necesarias. Contribuye al desarrollo de la literacidad científica y la apreciación de la Química en la sociedad | Mejora la percepción de sus habilidades de literacidad científica |
| Audio Feedback: Student and Teaching Assistant Perspectives on an Alternative Mode of Feedback for Written Assignments (Rawle et al., 2018). | Competencia de comunicación científica escrita | La implementación de actividades de retroalimentación por audio que recibieron los estudiantes sobre un ensayo académico, el cual muestra que fue logísticamente factible y podría ayudar a superar la desconexión que a menudo se presenta en los cursos | La retroalimentación impacta la percepción de manera positiva la competencia de comunicación escrita |
| Can I still eat it? Using problem-based learning to test the 5-second rule and promote scientific literacy (Hussa, 2018). | Toma de decisiones basadas en evidencia científica | La implementación de la estrategia del Aprendizaje Basado en Problemas desarrolla habilidades de la literacidad científica tales como la comprensión de la | Mejora la comprensión de un fenómeno científico. |

| Autores | Habilidades identificadas | Contribuciones | Medición de impacto |
|---|---|--|---|
| | | evidencia científica en artículos científicos. | |
| Student performance on the Test of Scientific Literacy Skills (TOSLS) does not change with assignment of a low-stakes grade (Segarra et al., 2018). | Identificación y análisis de los datos científicos | La medición de las competencias de literacidad científica a través del Test (TOSLS) como un recurso para instructores de biología contribuyen a la formación del conocimiento científico | No aplica |
| The use of a virtual journal club to promote cross-cultural learning in the reproductive sciences (Duncan et al., 2018). | Revisión entre pares, discusión y comunicación científica | El uso de un club virtual fomenta la colaboración, mejora la comunicación multilingüística y las competencias culturales y amplía el mundo profesional entre redes | Mejora la percepción de la comunicación y la competencia cultural |
| DivulgaMicro: A Brazilian Initiative To Empower Early Career Scientists with Science Communication Skills (Andrade Oliveira et al., 2019). | Comunicación escrita de la ciencia | La implementación de un blog “DivulgaMicro” mejora la comunicación pública de la ciencia, así como la redacción científica y las presentaciones orales para público no especializado | Mejora la comprensión de la ciencia y la redacción, hubo medición de la percepción de escritura |
| An Ethnoscience Study in Chemistry Learning to Develop Scientific Literacy (Dewi et al., 2019). | Reconocer conceptos en Química, definir conceptos clave, usar el conocimiento científico para obtener información, identificar y explicar los fenómenos químicos, usar la evidencia científica, análisis de la información o evidencia, aplicar la ciencia para la resolución de problemas, comunicación de la ciencia y uso de productos en la Química | La implementación de la etnociencia como método de aprendizaje desarrolla habilidades de la literacidad científica en términos de contenido, competencia, contexto y actitud | Los estudiantes explican fenómenos químicos |
| Expert–Novice Comparison Reveals Pedagogical Implications for Students’ Analysis of Primary Literature (Nelms & Segura-Totten, 2019). | Comprender los diseños de investigación, evaluar argumentos científicos, y análisis del contenido científico | El análisis de la literatura científica incrementa el pensamiento crítico, mejora la comprensión de las lecturas debido al desarrollo de habilidades de la literacidad científica | No aplica |
| Exploring Nutraceuticals to Enhance Scientific Literacy: Aligning with Vision and Change (Buteyn et al., 2019). | Explorar la literatura científica Comprender los métodos (técnicas de laboratorio) Diseñar y conducir experimentos Análisis de la información | La implementación del aprendizaje basado en evidencias mejora las habilidades de la literacidad científica, sin embargo, existe un impacto negativo en los resultados afectivos de los estudiantes | Mejora la percepción de las habilidades de literacidad científica |
| The Effectiveness of Content and Language Integrated Learning-Based Teaching Material in the Topic of The Nature of | Explicar los fenómenos científicamente (Recordar y aplicar el conocimiento científico, identificar, usar y producir modelos y representaciones, realizar y | El desarrollo de habilidades incrementa la literacidad científica, así como la actitud frente a la ciencia | No aplica |

| Autores | Habilidades identificadas | Contribuciones | Medición de impacto |
|--|--|--|---|
| Matter on Scientific Literacy (Heliawati et al., 2020). | justificar predicciones científicas) diseñar y evaluar investigaciones científicas (Identificar preguntas científicas y distinguir preguntas que pueden ser investigadas científicamente) interpretar datos y evidencia científica | | |
| The Figure of the Day: A Classroom Activity to Improve Students' Figure Creation Skills in Biology (Kirby et al., 2019). | Crear e interpretar gráficas, tablas y figuras | La actividad de la figura del día mejora significativamente, incrementaron sus habilidades de interpretación y creación de figuras, además los estudiantes la perciben de forma agradable | Mejora la percepción de la habilidad para la creación e interpretación visual de los datos |
| Scientific Literacy: an exercise in model building (O'Toole et al., 2020). | Escritura, oralidad, comunicación de la literatura, interpretación numérica y de diagramas y argumentación | El establecimiento de un modelo conceptual para la enseñanza de la literacidad científica que comprende el uso, el compromiso y el acceso a la ciencia mejora las habilidades de la literacidad científica. | No aplica |
| Assessing scientific literacy skill perceptions and practical capabilities in fourth year undergraduate biological science students (Cartwright et al., 2020). | Aplicar el conocimiento científico para la resolución de problemas cotidianos, realizar preguntas de investigación para abordar problemas desconocidos, traducción y comunicación de la ciencia en términos claros y comprensibles | La implementación de actividades de lectura crítica desarrolla de habilidades de literacidad científica. Se construyeron actividades de aprendizaje para comprender lecturas de las ciencias biológicas y se midieron las percepciones de los estudiantes acerca de la literacidad científica como resultado, las habilidades no se alinean con las percepciones de los estudiantes. | Midieron su percepción acerca de las actividades y utilizaron la prueba TOSLS, cambiaron su percepción de habilidades de literacidad científica, pero no hubo cambio en las habilidades |
| Assessing Using Technology: Is Electronic Portfolio Effective To Assess the Scientific Literacy on Evolution Theory (Prastiwi et al., 2020). | Describir conceptos, comprensión de esquemas de conceptos en la ciencia, comprender el proceso de investigación y el diseño tecnológico, comprender y apreciar la ciencia y la tecnología con su relación en la vida diaria, realizar conexiones entre disciplinas científicas y la tecnología | La implementación de un e-portafolio para la evaluación de habilidades de literacidad científica respecto al tema de evaluación mejora las habilidades científicas en un 9.5% en un nivel multidimensional a través del portafolio electrónico | Mejoran las habilidades científicas en un 9.5% en un nivel multidimensional a través del portafolio electrónico |
| Integrating scientific literacy skills into a biochemistry course for nonscience majors (Taylor, 2020). | Tomar de decisiones basadas en evidencia científica | La implementación de actividades con integración de información, adquisición, fuentes de análisis y aplicación incrementa el entendimiento de los estudiantes en el área bioquímica | Mejora la comprensión de la ciencia |

| Autores | Habilidades identificadas | Contribuciones | Medición de impacto |
|---|---|---|--|
| The Biochemical Literacy Framework: Inviting pedagogical innovation in higher education (Evans et al., 2020). | Pensamiento crítico, comunicación de la ciencia, autogestión, literacidad de la información, literacidad visual, habilidades prácticas y análisis de contenido científico | La propuesta pedagógica de literacidad científica debe ser construida en las distintas disciplinas de las ciencias biológicas, según las habilidades específicas que requieren los estudiantes en su área disciplinar | No aplica |
| Using real-world examples of the COVID-19 pandemic to increase student confidence in their scientific literacy skills (Anderson et al., 2020). | Extracción y descripción de la información necesaria para la comprensión del fenómeno científico, comprensión y análisis de las figuras de los artículos, comprender los diseños de experimentación, identificar y comunicar los resultados | Los ejemplos basados en la actualidad mejoran significativamente la comprensión de la lectura y mejora las habilidades de la literacidad científica | Mejora la percepción de sus habilidades de literacidad científica |
| Practicing Critical Thinking in Undergraduate Microbiology Classes by Presenting News Stories with Data Evidence (Moisander, 2021). | Evaluar los datos basados en evidencia científica | La aplicación de una estrategia pedagógica que consiste en la evaluación crítica de la evidencia de datos científicos | No hay medición del impacto |
| The Effect of Blended Project-Based Learning for Enhancing Student's Scientific Literacy Skills: An Experimental Study in University (Bangun et al., 2023). | Explicar fenómenos científicos, diseñar y evaluar proyectos de investigación científica, interpretar datos | La aplicación del aprendizaje basado en proyectos en modalidad semi-presencial para mejorar habilidades de literacidad científica | Mejora de la habilidad de la explicación de fenómenos científicos mediante la técnica de aprendizaje basado en proyectos |
| How do readers at different career stages approach reading a scientific research paper? A case study in the biological sciences (Hubbard et al., 2022). | Leer artículos científicos | El estudio de cómo abordan la lectura de artículos científicos expertos y estudiantes de pregrado y posgrado | La lectura de los expertos está centrada principalmente en los datos |
| Science Writing in Higher Education: Effects of Teaching Self-Assessment of Scientific Poster Construction on Writing Quality and Academic Achievement” (Navarro et al., 2022). | Escritura científica | La aplicación de la autoevaluación y la evaluación por pares de la escritura en un póster científico fomenta el aprendizaje de la escritura científica | No hubo diferencia significativa en los grupos de control y tratamiento, excepto en un marcador que se refiere a la evaluación de los debates |
| Biomedical engineering students questions posing skill base on reading scientific articles (Dori et al., 2023). | Plantear preguntas de investigación | La formulación de preguntas como parte de la comprensión de artículos científicos puede ayudar a comprender la lógica de una investigación mediante un curso híbrido. | Mejora de la habilidad para plantear preguntas de investigación y la evaluación crítica de los resultados derivados de los artículos científicos |

| Autores | Habilidades identificadas | Contribuciones | Medición de impacto |
|--|--|---|--|
| Promoting students argument comprehension and evaluation skills: Implementation of two training intervention in higher education (Münchow et al., 2023). | Comprender y evaluar textos científicos | La mejora del procesamiento de argumentos mediante un programa voluntario de formación en línea ofrecido como actividad integrada en un curso universitario regular. | Mejora de la habilidad de la evaluación de argumentos informales en textos científicos |
| Annotations serve as an on ramp for introductory biology students learning to read primary scientific literature (Lee et al., 2023). | Leer y comprender literatura científica primaria | Las anotaciones sobre la literatura científica primaria ayudan a los estudiantes a identificar los fragmentos de la lectura, resumir, identificar la información clave y distinguir entre diferentes secciones. | Mejora de la comprensión de la lectura científica primaria mediante la realización de notas como estrategia |
| An equity focused redesign of an introductory organismal biology lab course to developed foundational scientific practices (Killpack & Popolizio, 2023) | Comunicación de la ciencia | El rediseño de un curso de laboratorio, la mayoría de los estudiantes dominaron las habilidades de análisis, elaboración de gráficos y redacción de resultados experimentales | Mejora en la visualización de los datos en gráficos y el uso de estadísticas, así como la comprensión de la hipótesis nula |
| Discussion of annotated research articles results in increases in scientific literacy within a cell biology course (Washburn et al., 2023). | Analizar artículos de investigación científica | La aplicación de un enfoque pedagógico para la discusión de artículos científicos y su efecto en la actividad en las habilidades de literacidad científica | Mejora en la interpretación de las representaciones gráficas de los resultados de los artículos y la comprensión del diseño experimental del estudio |
| TPACK-based active learning to promote digital and scientific literacy in genetics (Zubaidah et al., 2023). | Evaluar la calidad de información científica y los argumentos científicos utilizando datos | La aplicación de 3 modelos de aprendizaje (PBL, RQA y PBL-RQA) activo basado en TPACK produce una mejora en la literacidad científica en una clase de genética | No hubo una diferencia significativa en el aumento de la literacidad científica entre los tres estilos de aprendizaje, aunque muestra una similitud en el desarrollo de la literacidad científica y digital. |

5 Conclusiones

El desarrollo de habilidades de literacidad científica ha sido objeto de estudio a través de diversas estrategias, siendo la mayoría de ellas de naturaleza cuantitativa. Se observa una escasez de investigaciones cualitativas y una falta de estudios mixtos a nivel universitario. Aunque los estudios coinciden en algunas habilidades de literacidad científica, no existe uniformidad en este aspecto. Se ofrecen sugerencias que se centran en el desarrollo de habilidades consideradas críticas en la disciplina de las ciencias biológicas, si bien es importante destacar la escasez de estrategias específicas para desarrollar la mayoría de estas habilidades. Además, las estrategias propuestas abordan distintos constructos y dimensiones, así como contextos diversos.

El concepto central de este estudio se fundamenta en la literacidad académica, que se aborda en diversas disciplinas. En lo particular, en el ámbito de las ciencias biológicas, la habilidad de escritura puede entenderse a través del modelo de socialización académica. Este modelo implica un proceso de enculturación en los géneros discursivos propios de cada disciplina, lo que significa que formar parte de un campo disciplinar conlleva aprender a leer y escribir como lo haría un biólogo, siendo capaz de reproducir dichas prácticas de manera competente para asegurar un buen desempeño académico. Este enfoque resalta la importancia de considerar la escritura como una práctica situada, que es simultáneamente material, histórica, cultural e ideológica. De esta manera, se reconoce que el proceso de enseñanza y aprendizaje de la escritura en educación superior requiere de una comprensión más profunda, en el cual se integren estos múltiples aspectos para garantizar una formación académica integral (Hernández-Zamora, 2016; Orellana, 2024).

En cuanto a la conceptualización de literacidad científica, persisten diversas acepciones. No obstante, hay consenso en torno al desarrollo de habilidades que deberían ser abordadas en la educación científica, aunque en la mayoría de las instituciones educativas no se incluyen en el currículo. Según Semilarski & Laius, (2021) la literacidad científica refleja el principal objetivo de la educación en ciencias, por lo que sería necesario realizar modificaciones en los programas de Educación Superior, especialmente en el ámbito de las ciencias biológicas, para considerarla en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

En otro estudio que incorpora prácticas de comunicación auténticas en el proceso de investigación de los estudiantes, se observó que, al finalizar el programa, los participantes disponían de un esbozo o primer borrador de su trabajo de investigación basado en su propia indagación. Los estudiantes informaron un aumento significativo en su autoeficacia y confianza en la escritura científica tras la finalización del curso. El programa se implementó utilizando la plataforma Zoom, a través de la cual los estudiantes recibían una guía estructurada para abordar las secciones relevantes de un artículo de investigación científica original. El enfoque del programa combinaba un componente de alfabetización integrada con un componente de investigación práctica; no obstante, no es posible determinar con certeza en este estudio cómo estos dos componentes influyeron de manera diferenciada en los resultados obtenidos por los estudiantes. En este contexto, se concluye que es necesario integrar secuencias didácticas que incluyan el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), las cuales faciliten el desarrollo de la escritura científica. Sin embargo, el empleo de estas herramientas parece generar un mayor nivel de confianza en los estudiantes con respecto a sus habilidades investigativas y de redacción (Kim et al., 2023).

Por otro lado, existen enfoques que se estudian a nivel de posgrado, respecto al uso de las TIC en la investigación y la escritura, es necesario estudiar cómo las tecnologías digitales ofrecen soluciones, en este sentido, se ha estudiado con una plataforma para la elaboración de tesis que es un sitio web especializado en los procesos de lectura y escritura en diversos niveles educativos donde los usuarios pueden acceder a una serie de publicaciones elaboradas por los miembros del grupo, las cuales abordan los desafíos y cuestiones relacionados con la escritura de tesis, de esta manera las tecnologías móviles, junto con algunas de sus características inherentes, tales como la ubicuidad, portabilidad, movilidad, conectividad y permanencia (Valero et al., 2012), ofrecen oportunidades significativas para optimizar los tiempos y flexibilizar los espacios de trabajo (Cuello & Alvarez, 2024).

Los estudios futuros deben orientarse hacia el diseño de modelos instruccionales que favorezcan el desarrollo integral de las diversas habilidades necesarias en el ámbito académico. En la literatura especializada, se ha identificado que una de las competencias más urgentes de desarrollar es la escritura científica. En este contexto, se han propuesto diversos modelos que integran las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para fomentar esta habilidad.

Un ejemplo destacado es el Rubricado de Evaluación de la Escritura (RSU), el cual se presenta como una herramienta eficaz tanto para la autoevaluación de los estudiantes como para la evaluación entre pares, la calificación por parte del instructor o profesor asistente, y la evaluación programática departamental de cualquier escrito científico producido en el aula o el laboratorio. Además, el RSU resulta ser un recurso útil para los investigadores en el campo de la didáctica de las ciencias, al facilitar la evaluación tanto antes como después de las intervenciones curriculares vinculadas con la escritura científica (Pisano et al., 2021).

Las habilidades identificadas en las publicaciones analizadas sugieren que cada disciplina presenta requisitos particulares en cuanto a la literacidad científica. Aunque la mayoría coincide en la relevancia del fomento del pensamiento crítico, la comprensión de textos científicos y la comunicación en el ámbito científico, estas habilidades están estrechamente vinculadas. En consecuencia, sería razonable esperar que se promovieran de manera integrada a través de una ruta estratégica en los programas universitarios.

References

- Açıkgül Fırat, E., & Köksal, M. S. (2019). Development and validation of the biotechnology literacy test. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(2), 179-188. <https://doi.org/10.1002/bmb.21216> [GS Search]
- Aiman, U., & Hasyda, S. (2020). The Influence of Process Oriented Guided Inquiry Learning (POGIL) Model Assisted by Realia Media to Improve Scientific Literacy and Critical Thinking Skill of Primary School Students. *European Journal of Educational Research*, 9(4), 1635-1647. <https://doi.org/10.12973/EU-JER.9.4.1635> [GS Search].
- Anderson, A. E., Justement, L. B., & Bruns, H. A. (2020). Using real-world examples of the COVID-19 pandemic to increase student confidence in their scientific literacy skills. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 48(6), 678-684. <https://doi.org/10.1002/bmb.21474> [GS Search].
- Auerbach, A. J., & Schussler, E. E. (2017). Curriculum alignment with Vision and Change improves student scientific literacy. *CBE—Life Sciences Education*, 16(2). <https://doi.org/10.1187/cbe.16-04-0160> [GS Search].
- Bangun, W., Degeng, I. N. S., Praherdhiono, H., & Lestari, S. R. (2023). The effect of blended project-based learning for enhancing student's scientific literacy skills: An experimental study in University. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 13(1), 223-233. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2105414> [GS Search].
- Block, T. J., Marinkovic, M., Gray, J., Dowell, P. E., Anthony, C., Daly, R., ... & Evans, T. M. (2016). "Science Fiesta!" Combining student-led community outreach with local culture. *F1000Research*, 5, 2319. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.9560.1> [GS Search].
- Bortnik, B., Stozhko, N., Pervukhina, I., Tchernysheva, A., & Belysheva, G. (2017). Effect of virtual analytical chemistry laboratory on enhancing student research skills and practices *Research in Learning Technology*, 25. <https://doi.org/10.25304/rlt.v25.1968> . [GS Search].
- Buteyn, N., Oh, Y. I., Knott, J., Bokach, P., Konyndyk, J., Tenney, J., ... & Koetje, D. (2019). Exploring Nutraceuticals to Enhance Scientific Literacy: Aligning with Vision and Change. *The American Biology Teacher*, 81(3), 176-185. <https://doi.org/10.1525/abt.2019.81.3.176> [GS Search].
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Heinemann, 88 Post Road West, PO Box 5007, Westport, CT 06881 [GS Search].

- Bybee, R., McCrae, B., & Laurie, R. (2009). PISA 2006: An assessment of scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(8), 865-883 [\[GS Search\]](#)
- Cartwright, N. M., Liddle, D. M., Arceneaux, B., Newton, G., & Monk, J. M. (2020). Assessing Scientific Literacy Skill Perceptions and Practical Capabilities in Fourth Year Undergraduate Biological Science Students. *International Journal of Higher Education*, 9(6), 64-76. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v9n6p64> [\[GS Search\]](#).
- Cuello, E., & Alvarez, G. (2024). TIC y escritura de tesis de posgrado: entre viejos problemas y nuevas oportunidades. *Revista Colombiana de Educación*, (91), 168-188. <https://doi.org/10.17227/rce.num91-16884> [\[GS Search\]](#).
- Dewi, C. A., Khery, Y., & Erna, M. (2019). An ethnoscience study in chemistry learning to develop scientific literacy. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(2), 279-287. <https://doi.org/10.15294/jpii.v8i2.19261> [\[GS Search\]](#).
- Dori, Y. J., Allouche, A., Herscu-Kluska, R., Herscovitz, O., Yarden, H., Blinder, Y., & Levenberg, S. (2023). Biomedical engineering students' question posing skill based on reading scientific articles. *Journal of Science Education and Technology*, 32(6), 962-978. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10015-y> [\[GS Search\]](#).
- Duncan, F. E., Romar, R., Gadea, J., Kimelman, D., Wallach, H. D., Woodruff, T. K., & Jiménez-Movilla, M. (2018). The use of a virtual journal club to promote cross-cultural learning in the reproductive sciences. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, 35, 2141-2147. <https://doi.org/10.1007/s10815-018-1309-z> [\[GS Search\]](#).
- Evans, D. L., Bailey, S. G., Thumser, A. E., Trinder, S. L., Winstone, N. E., & Bailey, I. G. (2020). The Biochemical Literacy Framework: Inviting pedagogical innovation in higher education. *FEBS Open bio*, 10(9), 1720-1736. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.12938> [\[GS Search\]](#).
- Firdausy, B. A., & Prasetyo, Z. K. (2020). Improving scientific literacy through an interactive e-book: A literature review. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1440, No. 1, p. 012080). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1440/1/012080> [\[GS Search\]](#).
- Geithner, C. A., & Pollastro, A. N. (2016). Doing peer review and receiving feedback: impact on scientific literacy and writing skills. *Advances in Physiology Education*, 40(1), 38-46. <https://doi.org/10.1152/advan.00071.2015> [\[GS Search\]](#).
- George Reyes, C. E. (2019). Estrategia metodológica para elaborar el estado del arte como un producto de investigación educativa. *Praxis educativa*, 23(3), 29-32. [\[GS Search\]](#).
- Gormally, C., Brickman, P., & Lutz, M. (2012). Developing a test of scientific literacy skills (TOSLS): Measuring undergraduates' evaluation of scientific information and arguments. *CBE—Life Sciences Education*, 11(4), 364-377. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-03-0026> [\[GS Search\]](#)
- Gutiérrez, C. A. (2018). Herramienta didáctica para integrar las TIC en la enseñanza de las ciencias. *Revista interamericana de investigación, educación y pedagogía*, 11(1), 101-126. <https://doi.org/10.15332/s1657-107X.2018.0001.03> [\[GS Search\]](#).
- Heliawati, L., Rubini, B., & Firmayanto, R. (2020). The effectiveness of content and language integrated learning-based teaching material in the topic of the nature of matter on scientific literacy. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 8(3), 1061-1070. <https://doi.org/10.17478/JEGYS.736654> [\[GS Search\]](#).
- Henao Salazar, J. I., & Londoño-Vásquez, D. A. (2017). Relación literacidad, contexto sociocultural y rendimiento académico: la experiencia de la Facultad de Ciencias

- Empresariales de la Institución Universitaria de Envigado. *Encuentros*, 15(1), 29-46. <https://doi.org/10.15665/re.v15i1.847> . [GS Search]
- Hernández-Zamora, G. (2016). Literacidad académica. *Universidad Autónoma Metropolitana*. [GS Search].
- Hubbard, K. E., Dunbar, S. D., Peasland, E. L., Poon, J., & Solly, J. E. (2022). How do readers at different career stages approach reading a scientific research paper? A case study in the biological sciences. *International Journal of Science Education, Part B*, 12(4), 328-344. [GS Search].
- Hussa, E. A. (2018). Can I still eat it? Using problem-based learning to test the 5-second rule and promote scientific literacy. *FEMS microbiology letters*, 365(21), fny246. <https://doi.org/10.1093/femsle/fny246> [GS Search]
- Killpack, T. L., & Popolizio, T. R. (2023). An equity-focused redesign of an introductory organismal biology lab course to develop foundational scientific practices. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 24(1), e00213-22. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00213-22> [GS Search].
- Kim, C., Preston Jr, K., Braga, A., & Fankhauser, S. C. (2023). Increasing Student Confidence in Writing: Integrating Authentic Manuscript Writing into an Online 8-Week Research Program. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 24(1), e00199-22. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00199-22> [GS Search].
- Kirby, C. K., Fleming-Davies, A., & White, P. J. (2019). The figure of the day: A classroom activity to improve Students' figure creation skills in biology. *The American Biology Teacher*, 81(5), 317-325. <https://doi.org/10.1525/abt.2019.81.5.317> [GS Search].
- Lee, S., Foster, C., Zhong, M., Bruce-Opris, H., Duenas, M., Parente, V., ... & McCartney, M. (2023). Annotations serve as an on ramp for introductory biology students learning to read primary scientific literature. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 24(1), e00214-22. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00214-22> [GS Search].
- Mateo-Girona, M. T., Agudelo-Ortega, J. A., & Caro-Lopera, M. Á. (2021). El uso de herramientas TIC para la enseñanza de la escritura argumentativa. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 5(8), 80-98. [GS Search].
- Moisander, P. H. (2021). Practicing critical thinking in undergraduate microbiology classes by presenting news stories with data evidence. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 22(3). <https://doi.org/10.1128/jmbe.00171-21> [GS Search]
- Momsen, J. L., Long, T. M., Wyse, S. A., & Ebert-May, D. (2010). Just the facts? Introductory undergraduate biology courses focus on low-level cognitive skills. *CBE—Life Sciences Education*, 9(4), 435-440. <https://doi.org/10.1187/cbe.10-01-0001> [GS Search].
- Moyano, E. I. (2017). Diseño e implementación de programas de lectura y escritura en el nivel universitario: principios y estrategias. *Lenguas Modernas*, (50), ág-47. [GS Search].
- Münchow, H., Tiffin-Richards, S. P., Fleischmann, L., Pieschl, S., & Richter, T. (2023). Promoting students' argument comprehension and evaluation skills: Implementation of two training interventions in higher education. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 26(3), 703-725. <https://doi.org/10.1007/s11618-023-01147-x> [GS Search].
- Navarro, F. (2017). Piensa globalmente, actúa localmente: cómo diseñar un curso de escritura académica para estudiantes que ingresan a la universidad. *El desarrollo de las competencias básicas en los Estudios Generales*. Lima: EEGLL-PUCP [GS Search].

- Navarro, F., Orlando, J., Vega-Retter, C., & Roth, A. D. (2022). Science writing in higher education: Effects of teaching self-assessment of scientific poster construction on writing quality and academic achievement. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10137-y> [GS Search].
- Nelms, A. A., & Segura-Totten, M. (2019). Expert–novice comparison reveals pedagogical implications for students’ analysis of primary literature. *CBE—Life Sciences Education*, 18(4), ar56. <https://doi.org/10.1187/cbe.18-05-0077> [GS Search].
- Ng, W. (2012). Can we teach digital natives digital literacy?. *Computers & education*, 59(3), 1065-1078. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.04.016> [GS Search].
- O’Toole, J. M., McKoy, K., Freestone, M., & Osborn, J. A. (2020). ‘Scientific Literacy’: An Exercise in Model Building. *Education Sciences*, 10(8), 204. <https://doi.org/10.3390/educsci10080204> [GS Search].
- Oliveira, L. M. A., Bonatelli, M. L., & Pinto, T. C. A. (2019). DivulgaMicro: A Brazilian initiative to empower early-career scientists with science communication skills. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 20(1), 10-1128. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v20i1.1616> [GS Search].
- Orellana, M. (2024). Los Nuevos Estudios de Literacidad y las literacidades académicas: Aportes conceptuales para estudiar las prácticas letradas en la universidad. *Anales de Lingüística*, (12), 75-88. [GS Search].
- Pisano, A., Crawford, A., Huffman, H., Graham, B., & Kelp, N. (2021). Development and validation of a universal science writing rubric that is applicable to diverse genres of science writing. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 22(3), e00189-21. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00189-21> [GS Search].
- Prastiwi, M., Kartowagiran, B., & Susantini, E. (2020). Assessing using technology: Is electronic portfolio effective to assess the scientific literacy on evolution theory. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(12), 230-243. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i12.12227> [GS Search].
- Rawle, F., Thuna, M., Zhao, T., & Kaler, M. (2018). Audio Feedback: Student and Teaching Assistant Perspectives on an Alternative Mode of Feedback for Written Assignments. *Canadian Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 9(2), n2. <https://doi.org/10.5206/cjsotl-rcacea.2018.2.2> [GS Search].
- Reviglio, A. (2019). Lectura y escritura en biología. Una experiencia pedagógica con TIC. *Biografía*, 12(22). <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.11.num22-7040> [GS Search].
- Riquelme Arredondo, A., & Quintero Corzo, J. (2017). La literacidad, conceptualizaciones y perspectivas: hacia un estado del arte. [GS Search]. *Revista reflexiones*, 96(2), 93-105.
- Risniawati, M., Serevina, V., & Delina, M. (2020, March). The development of E-learning media to improve students’ science literacy skill in Senior High School. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1481, No. 1, p. 012075). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012075>. [GS Search].
- Roviati, E., Sahrir, D. C., & Umami, M. (2022, December). Argumentative peer review as an effort to improve scientific writing skills on laboratory reports from home during the pandemic time of Covid-19. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2468, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0113999>. [GS Search].

- Rusilowati, A., Kurniawati, L., Nugroho, S. E., & Widiyatmoko, A. (2016). Developing an Instrument of Scientific Literacy Assessment on the Cycle Theme. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11(12), 5718-5727. [\[GS Search\]](#).
- Scott, G., & Ahmed, S. A. (2020). A writing-to-learn approach for improving students' evaluation of science web sources. *The American Biology Teacher*, 82(9), 638-640. <https://doi.org/10.1525/abt.2020.82.9.638>. [\[GS Search\]](#).
- Segarra, V. A., Hughes, N. M., Ackerman, K. M., Grider, M. H., Lyda, T., & Vigueira, P. A. (2018). Student performance on the Test of Scientific Literacy Skills (TOSLS) does not change with assignment of a low-stakes grade. *BMC research notes*, 11, 1-5. <https://doi.org/10.1186/s13104-018-3545-9>. [\[GS Search\]](#).
- Semilarski, H., & Laius, A. (2021). Exploring Biological Literacy: A Systematic Literature Review of Biological Literacy. *European Journal of Educational Research*, 10(3), 1181-1197. [\[GS Search\]](#).
- Shaffer, J. F., Ferguson, J., & Denaro, K. (2019). Use of the test of scientific literacy skills reveals that fundamental literacy is an important contributor to scientific literacy. *CBE—Life Sciences Education*, 18(3), ar31. <https://doi.org/10.1187/cbe.18-12-0238>. [\[GS Search\]](#).
- Stockwell, S. B. (2016). A Progressive Reading, Writing, and Artistic Module to Support Scientific Literacy. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 17(1), 93-97. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v17i1.990>. [\[GS Search\]](#).
- Suwono, H., Saefi, M., & Susilo, H. (2019, March). Challenge based learning to improve scientific literacy of undergraduate biology students. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2081, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.5094018>. [\[GS Search\]](#).
- Taylor, A. T. (2020). Integrating scientific literacy skills into a biochemistry course for nonscience majors. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 48(1), 54-60. <https://doi.org/10.1002/bmb.21313>. [\[GS Search\]](#).
- Vogelzang, J., Admiraal, W. F., & van Driel, J. H. (2020). Effects of Scrum methodology on students' critical scientific literacy: the case of Green Chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(3), 940-952. <https://doi.org/10.1039/D0RP00066C>. [\[GS Search\]](#).
- Washburn, M. E., Shanks, R. A., McCartney, M., Robertson, C. L., & Segura-Totten, M. (2023). Discussion of annotated research articles results in increases in scientific literacy within a cell biology course. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 24(1), e00154-22. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00154-22>. [\[GS Search\]](#).
- Woodham, H., Marbach-Ad, G., Downey, G., Tomei, E., & Thompson, K. (2016). Enhancing scientific literacy in the undergraduate cell biology laboratory classroom. *Journal of microbiology & biology education*, 17(3), 458-465. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v17i3.1162>. [\[GS Search\]](#).
- Zubaidah, S., Angraini, E., & Susanto, H. (2023). TPACK-based active learning to promote digital and scientific literacy in genetics. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 13(2), 50-61. <https://doi.org/10.47750/pegegog.13.02.07>. [\[GS Search\]](#).