

Estado de la publicación: El preprint no ha sido enviado para publicación

Biotecnología y educación científica en Paraguay: ¿Hacia una economía del conocimiento?

Edgar Bernabé Cardozo Ruíz Díaz, Ivana Fernandez, Pedro Arthuro Santa Cruz Peralta, Samuel Gabaglio

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.16615>

Enviado en: 2026-08-18

Postado en: 2026-08-21 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

Biotecnología y educación científica en Paraguay: ¿Hacia una economía del conocimiento?

Biotechnology and Scientific Education in Paraguay: Toward a Knowledge Economy?

Biotechnologia e Educação Científica no Paraguai: Rumo a uma Economia do Conhecimento?

Edgar Bernabé Cardozo Ruíz Díaz

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Departamento de Biotecnología, Grupo de Investigación en Biotecnología y sus Aplicaciones

San Lorenzo, Paraguay

ecardozo@facen.una.py

<https://orcid.org/0009-0008-5339-5997>

Ivana Preciosa Fernández Jara

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Departamento de Biotecnología, Grupo de Investigación en Biotecnología y sus Aplicaciones

San Lorenzo, Paraguay

ifernandez@facen.una.py

<https://orcid.org/0000-0002-1771-8508>

Pedro Arthuro Santa Cruz Peralta

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Departamento de Biotecnología

San Lorenzo, Paraguay

psantacruz@facen.una.py

<https://orcid.org/0009-0008-9689-8359>

Samuel María Gabaglio Velázquez

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Departamento de Biotecnología

San Lorenzo, Paraguay

samuel.gabaglio@facenuna.edu.py

<https://orcid.org/0000-0003-1272-6645>

Resumen

Introducción: En este artículo presentamos importantes desafíos que enfrenta la educación científica paraguaya, enmarcados por desigualdades territoriales y socioeconómicas. Según datos del Ministerio de Educación y Ciencias en el año 2025, la mayor proporción de estudiantes se concentra en la Educación Escolar Básica, con una presencia significativa en zonas rurales, donde las oportunidades educativas y científicas son más limitadas. **Objetivo:** Analizar el escenario educativo paraguayo en relación con la enseñanza de la biotecnología, destacando su relevancia como herramienta para el desarrollo social y económico, así como la necesidad de fortalecer estrategias educativas. **Desarrollo:** La biotecnología se proyecta como un campo estratégico con alto potencial para abordar problemáticas sociales, económicas y ambientales. En Paraguay, existe un limitado acceso a plataformas educativas integrales y escasas experiencias prácticas que dificultan el desarrollo de competencias científicas en los estudiantes. **Conclusión:** La integración de la biotecnología en la educación requiere un enfoque multidimensional que considere tanto aspectos pedagógicos como sociales. La alfabetización científica es esencial no solo para la formación académica, sino también para la participación crítica de la ciudadanía en temas relacionados con el desarrollo sostenible.

Palabras claves: Biotecnología; Ciencia, tecnología y sociedad; Enseñanza de las ciencias; Formación de docentes

Abstract

Introduction: Science education in Paraguay faces significant challenges shaped by territorial and socioeconomic inequalities. According to data from the Ministry of Education and Sciences (2025), most students are enrolled in primary and secondary education (grades 1 to 9), with a substantial proportion attending schools in rural areas, where access to educational and scientific opportunities remains limited. **Objective:** To examine the Paraguayan educational landscape in relation to biotechnology education, emphasizing its potential contribution to social and economic development and the need for strengthened educational strategies. **Discussion:** Biotechnology has emerged as a strategic field with considerable potential to address social, economic, and environmental challenges. However, in Paraguay, access to comprehensive educational resources remains limited, and opportunities for hands-on learning are scarce. These constraints hinder the development of scientific skills and competencies among students, reducing their ability to engage with contemporary scientific and technological issues. **Conclusion:** Integrating biotechnology into the educational system requires a multidimensional approach that addresses both pedagogical and social factors. Strengthening scientific literacy is essential not only for academic development but also for fostering informed and critical citizen participation in decision-making processes related to sustainable development.

Keywords: Biotechnology; Science technology and society Science education; Teacher training

Resumo

Introdução: Neste artigo apresentamos importantes desafios que enfrenta a educação científica paraguaia, enquadrados por desigualdades territoriais e socioeconômicas. De acordo com dados do Ministério da Educação e Ciências no ano de 2025, a maior proporção de estudantes concentra-se na Educação Escolar Básica, com presença significativa em áreas rurais, onde as oportunidades educacionais e científicas são mais limitadas. **Objetivo:** Analisar o cenário educacional paraguaio em relação ao ensino da biotecnologia, destacando sua relevância como ferramenta para o desenvolvimento social e econômico, assim como a necessidade de fortalecer estratégias educacionais. **Desenvolvimento:** A biotecnologia projeta-se como um campo estratégico com alto potencial para abordar problemas sociais, econômicos e ambientais. No Paraguai, existe acesso limitado a plataformas educacionais abrangentes e escassez de experiências práticas, o que dificulta o desenvolvimento de competências científicas nos estudantes. **Conclusão:** A integração da biotecnologia na educação requer uma abordagem multidimensional que considere tanto aspectos pedagógicos quanto sociais. A alfabetização científica é essencial não apenas para a formação acadêmica, mas também para a participação crítica da cidadania em questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável.

Palavras-chaves: Biotecnologia; Ciência, tecnologia e sociedade; Ensino das ciências; Formação de docentes

Introducción

Según los datos estadísticos del Ministerio de Educación y Ciencias de la República del Paraguay (MEC), de 1.557.933 estudiantes matriculados en el año 2025 en los niveles no universitarios de todo el país, la Educación Escolar Básica (EEB) absorbe el 66% de la matrícula, mientras que la Educación Media (EM) representa el 16%. Si se diferencia por zonas, el 32% corresponde a zonas rurales (casi medio millón de alumnos), de los cuales 354.786 están inscriptos en la EEB y 65.917 en la EM. De este número en la EM, casi el 19% de los estudiantes optó por especialidades vinculadas a las ciencias exactas, naturales y sus aplicaciones: esto incluye al Bachillerato Científico con énfasis en Ciencias Básicas y sus Tecnologías, y a los Bachilleratos Técnico Agropecuario, Técnico en Salud, en Ciencias Ambientales, y en Química Industrial. Por sí solo, la especialidad en Agropecuario abarca la mitad de todas las matriculaciones rurales en Bachilleratos Técnicos (MEC, 2025). Estos datos son muy relevantes si se tienen en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las metas trazadas en el Plan Nacional de Desarrollo Paraguay 2030, que propugna una transformación hacia la economía del conocimiento mediante el uso sostenible de recursos naturales y tecnología de punta (Procuraduría General de la República, 2014). A pesar de que estas cifras de matriculación sugieren una base estudiantil significativa en áreas técnicas, el sistema se enfrenta a barreras estructurales de desigualdad que comprometen el alcance de las metas del PND 2030. La alta matrícula en el Bachillerato Técnico Agropecuario podría representar una oportunidad no bien aprovechada si no se cuenta con plataformas educativas integrales respecto a la Biotecnología.

Durante los últimos años, el trabajo conjunto de organismos nacionales e internacionales ha impulsado diversas iniciativas orientadas a mejorar la enseñanza y ampliar el acceso al conocimiento científico entre distintos sectores de la sociedad paraguaya, con particular atención a la población infantojuvenil. Estas iniciativas integran desde recursos didácticos para la primera infancia, recursos bilingües de iniciación científica y espacios de experimentación, hasta tecnologías disruptivas como la robótica, buscando democratizar el acceso al conocimiento (Centro Cultural Melodía, s.f.; CONACYT, s.f.; Ciencias del Sur, 2022; Innovations for Poverty Action

[IPA], 2018; Reeducar, s.f.). Sin embargo, en un país donde la desigualdad social continúa siendo uno de los obstáculos más profundos desde una perspectiva educativa, resulta imprescindible considerar la multiplicidad de factores que confluyen en esta problemática. Históricamente, el ámbito rural paraguayo ha sido el epicentro de procesos de exclusión y disparidad que aún hoy pueden determinar el éxito escolar de los jóvenes. Las disparidades educativas en Paraguay trascienden las métricas de egreso; se manifiestan, fundamentalmente, en la disparidad cualitativa de las prácticas pedagógicas en el aula, obstaculizando cualquier proyección hacia el desarrollo científico-tecnológico, la productividad económica y la consolidación democrática.

A este respecto, Delvalle et al. (2018) advierten que incrementar la inversión en capital humano no constituye por sí solo una garantía de desarrollo económico. Lo que marca la diferencia, según los autores, es una apuesta integral que combine mejoras en infraestructura con una formación docente robusta y sostenida, condiciones que podrían sentar las bases de una economía fundada en el conocimiento y la innovación. No obstante, esta perspectiva exige realismo, por lo cual resulta imperativo que el sistema educativo paraguayo fortalezca y diversifique sus estrategias pedagógicas para responder a la heterogeneidad de contextos y realidades que coexisten en el país. La ausencia de igualdad educativa se traduce, en última instancia, en barreras tempranas que restringen las posibilidades de vida de las personas y erosionan las condiciones necesarias para la inclusión y la movilidad social.

Pero, aun con las iniciativas implementadas, la brecha de oportunidades entre el sector rural y urbano aún es importante. La mayor parte de las oportunidades disponibles de manera abierta, y hasta gratuita, para el desarrollo de experiencias científicas dirigidas a niños y jóvenes, se concentran fuertemente en las principales ciudades del país, y son aprovechadas sobre todo por los estudiantes provenientes de sectores socioeconómicos más favorecidos. En este contexto, se debe buscar no solo proveer de recursos didácticos a los centros educativos de comunidades vulnerables, sino también identificar las fortalezas propias de la comunidad

educativa a partir de las cuales pueda enfocarse la educación científica, de modo a acercar la ciencia a su realidad y contexto sociocultural, con la visión de que los individuos puedan conocer y comprender su importancia para la solución de problemas, y del impacto que ya tiene en la vida cotidiana.

Biotecnología y Sociedad

Considerando este escenario, el potencial transformador de la Biotecnología para resolver demandas sociales está íntimamente ligado a la percepción y comprensión pública de la ciencia, lo cual conlleva a que la alfabetización científica no sea solo un objetivo académico, sino un requisito para que la ciudadanía pueda adoptar e integrar estas innovaciones de manera crítica en su vida cotidiana. “Se entiende por biotecnología a toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para crear o modificar productos o procesos para usos específicos” (Naciones Unidas, 1992). Las implicancias de esta definición, establecida por la ONU, obligan a que las personas deban estar realmente informadas sobre las oportunidades de las nuevas ideas científicas que pueden resolver sus actuales retos sociales, económicos y medioambientales. Por tanto, es necesario educar con el respaldo de la ciencia, para mejorar la comprensión de la biotecnología. A nivel regional latinoamericano existen programas y plataformas dedicados a esta labor educativa en biotecnología, que constituyen las herramientas para operacionalizar dicha alfabetización (Gaetan, 2021), por lo cual se vuelve imperante que el Paraguay cuente con recursos similares que colaboren para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Plan Nacional 2030, de modo a aumentar su competitividad acorde a la visión de orientar el país hacia una economía del conocimiento.

La naturaleza evolutiva de la biotecnología ha propiciado una expansión de su complejidad teórica, desafiando las visiones convencionales de la actividad científica (Roa-Acosta et al., 2008). Es por esta razón que, dado el crecimiento científico y el valor que adquiere en las economías de los países, la biotecnología fue incorporada en los currículos de ciencias. El estudio de la biotecnología resulta de vital importancia ya que constituye la base de muchos desarrollos

tecnocientíficos actuales, como el mejoramiento de los cultivos, la conservación y la producción de nuevos alimentos, el cuidado medioambiental, entre otros (Verma, 2011; Bhatia, 2018). Es importante mencionar que la biotecnología abarca aspectos de las ciencias naturales, la biología y las ciencias sociales. En la última década, el término “biotecnología” ha permeado diversos estratos sociales y mediáticos, reflejando su rol esencial en la vida cotidiana y su capacidad de generar soluciones ante desafíos globales.

Acevedo et al. (2002) proponen una taxonomía de actitudes científicas dividida en cuatro dimensiones: imagen social, aspectos sociales, enseñanza y características de la ciencia. Estas actitudes son determinantes críticos de la motivación estudiantil y guían la conducta hacia la elección de carreras científicas. Las actitudes afectan cuestiones tan importantes como la calidad de la alfabetización científica en la escuela, la elección de materias de ciencias o de carrera cuando llega el momento de elegir, o la adecuada comprensión pública de la ciencia y la tecnología a lo largo de la vida de las personas. Bajo esta taxonomía, se puede concluir que las actitudes de los estudiantes sobre la ciencia y las asignaturas científicas, pese a que se forjan sin un contacto fuerte por parte de la estructura escolar (ausencia de laboratorios, problemas de internet), no excluyen una valoración favorable hacia la ciencia, la tecnología y la matemática. Tal valoración demanda la promoción de nuevas formas de aprendizaje, tanto aquellas basadas en las prácticas científicas, la experimentación, la utilización de internet y de software para el aprendizaje, así como las articuladas a la vida social, al desarrollo de una conciencia crítica sobre el papel de la ciencia en la sociedad y el medio ambiente. De continuar la actual situación de desigualdad de oportunidades, es posible que se lleguen a afectar las actitudes favorables hacia las asignaturas científicas y hacia la ciencia en general, además de la elección de la carrera a seguir, lo que contribuiría con una futura desmotivación hacia el conocimiento y hacia las posibilidades que se construyen con él.

Enseñar Biotecnología

Los contenidos sobre biotecnología forman parte de los planes curriculares de los sistemas educativos nacionales desde hace años. Según plantea Roa-Acosta (2017), la incorporación de la biotecnología en los currículos escolares ha respondido, en buena medida, al propósito de evitar que la ciudadanía desarrolle desconfianza hacia las aplicaciones del conocimiento científico en áreas como la producción de alimentos o el desarrollo de medicamentos. Por su parte, Taguenca (2008) sostiene que las biotecnologías emergentes despiertan grandes expectativas para la humanidad, aunque la percepción social hacia ellas dista de ser unívoca: conviven simultáneamente una visión esperanzadora y otra teñida de temor, como si los beneficios y los riesgos que entrañan fueran inseparables. En este sentido, el acceso a mayor información científica no se traduce necesariamente en una actitud más favorable, dado que las convicciones profundas de las personas y los marcos normativos que orientan sus juicios desempeñan un papel determinante en la aceptación o el rechazo de estas tecnologías.

Por tanto, y en concordancia con lo mencionado por Delvalle y colaboradores (2018), el sistema educativo necesita fortalecerse en sus estrategias pedagógicas y adecuarlas a la diversidad de situaciones existentes si desea que los individuos adquieran capacidades críticas coherentes respecto a las innovaciones científicas. Existe multitud de trabajos relacionados a estas nuevas estrategias pedagógicas, y a la integración de la biotecnología en el entorno social y educativo (Universidad de Zaragoza, 2021; Abdelnour et al., 2020; Montenegro Escudero et al., 2016; Ocelli, 2013; Arroyo-Cruzado, 2011; Jara Landolffi et al., 2022). Esta integración es relevante al considerar que la biotecnología plantea controversias socio-científicas que requieren que el ciudadano no solo conozca principios biológicos, sino que valore beneficios y riesgos éticos y legales. Además, aunque hoy se asocia a la ingeniería genética (biotecnología moderna), sus raíces se remontan a prácticas milenarias de domesticación y fermentación, lo cual puede ayudar a desmitificar el temor del público hacia lo artificial. Sin embargo, el Paraguay aún carece de una plataforma educativa orientada a la biotecnología de manera integral, al contrario

de lo que ocurre en otros países vecinos y de la región (Gaetan, 2021), y los escasos portales paraguayos existentes están enfocados directamente al sector agrícola. Esto puede resultar contraproducente si se considera que nuestro país se ubica entre los de mayor aceptación de la biotecnología como herramienta de desarrollo y producción (ISAAA, 2019), y sobre todo al tener en cuenta las metas ODS y del Plan Nacional de Desarrollo. Aunque, en este punto, es importante destacar que la aceptación en el sector productivo (vinculado a grupos empresariales o comerciales) no necesariamente puede reflejar aceptación en el sector educativo o social.

Una estrategia reconocida para la enseñanza de la biotecnología consiste en la articulación multi y transdisciplinar entre la biotecnología, la didáctica y los recursos tecnológicos, con el fin de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje (Puebla et al., 2012). El trabajo con aprendizaje basado en problemas, el trabajo colaborativo y las múltiples posibilidades que brindan las TICs y las nuevas tecnologías de fabricación han permitido implementar proyectos exitosos para la enseñanza de la biotecnología. La educación en ciencias es más efectiva cuando provee experiencias auténticas que aborden situaciones relevantes para las vidas de los estudiantes y sus comunidades, y dichas experiencias pueden ser fortalecidas con la fabricación digital, que consiste en el proceso de diseñar objetos con el propósito de fabricarlos con equipos tales como impresoras 3D. Históricamente, este tipo de herramientas ha sido excepcionalmente costoso y de difícil acceso, pero los recientes avances en diseño tecnológico ha sido acompañados por una disminución de los precios, haciendo que la impresión 3D se vuelva más avanzada, accesible y ampliamente disponible (Anselmi et al., 2018).

Biotechnología en los ODS

Si bien la importancia de la educación para lograr el desarrollo sostenible ha sido reconocida en el marco global de los ODS (ODS 4: Educación de calidad), las metas educativas pueden encontrarse en muchos de los otros objetivos globales, incluyendo: la buena salud y el bienestar (ODS 3.7), la igualdad de género (ODS 5.6), el trabajo decente y el crecimiento económico (ODS 8.6), el consumo y la

producción responsables (ODS 12.8) y la acción climática (ODS 13.3). La biotecnología puede contribuir significativamente al logro de todos ellos. La educación de calidad se reconoce cada vez más no sólo como un objetivo individual, sino también como un medio para alcanzar los otros objetivos globales; por lo tanto, la educación debe considerarse como un elemento esencial en las estrategias para alcanzar los otros 16 objetivos (Boeren, 2019).

La UNESCO ha establecido tres perspectivas políticas diferentes sobre el desarrollo sostenible que influyen en los compromisos internacionales (Odell et al, 2019; UNESCO, 2016). Ser capaz de reflexionar sobre el conocimiento actual y cuestionar los marcos en los que operan la educación y el desarrollo sostenible se ajusta en gran medida a los elementos del aprendizaje transformador. El concepto de aprendizaje transformador fue acuñado en 1978 por Jack Mezirow (2018), para desafiar a los estudiantes (y a los profesores) a ser más críticos con sus propias suposiciones y creencias que dan forma a sus marcos de referencia o visión del mundo y actuar sobre nuevas perspectivas transformadas. Mezirow sostiene que, debido a nuestras ideas preconcebidas, de las que podemos ser o no conscientes, tendemos a rechazar las ideas que no se ajustan a nuestro marco de referencia actual.

Involucrar a los jóvenes en el desarrollo de innovaciones es ahora más crítico que nunca, y existe una ventaja potencial en la comunicación de la biotecnología a la sociedad. Las personas deben estar realmente informadas sobre las oportunidades de las nuevas ideas científicas que pueden resolver sus actuales retos sociales, económicos y medioambientales. Es necesario educar con fundamentos en la ciencia, la ética y la perspectiva social para mejorar la comprensión de la biotecnología (Woźniak et al., 2021).

Conclusiones

El fortalecimiento de la educación científica en Paraguay, particularmente a través de la enseñanza de la biotecnología, constituye un pilar estratégico ineludible para

alcanzar las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Es necesario trascender del aprendizaje mecánico hacia una alfabetización científica auténtica que permita a la ciudadanía participar críticamente en la economía del conocimiento. La biotecnología, al ser un campo interdisciplinar que permea la vida cotidiana desde la salud hasta la seguridad alimentaria, ofrece el escenario ideal para abordar controversias socio-científicas y desmitificar percepciones ambivalentes sobre el progreso tecnológico, fomentando una base social capaz de validar innovaciones desde el rigor científico y la ética.

Para revertir las brechas de desigualdad detectadas, especialmente en el ámbito rural y en los bachilleratos técnicos, es imperativo que el sistema educativo implemente plataformas integrales y metodologías activas como el aprendizaje basado en problemas y el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). La integración de recursos innovadores, tales como cápsulas educativas, el uso de laboratorios virtuales y herramientas de fabricación digital como la impresión 3D, ha demostrado ser eficaz para incrementar la motivación y el desarrollo de habilidades cognitivas superiores en los estudiantes. En última instancia, la transición efectiva hacia una sociedad del conocimiento en Paraguay dependerá de una inversión sostenida en la formación docente y en la provisión de materiales didácticos de calidad que preparen a los jóvenes para liderar los desafíos productivos y los dilemas éticos del siglo XXI.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en marco del proyecto “La Biotecnología va al cole: Ciencia y Tecnología para el interior del país” (PINV01-608), cofinanciado por el CONACYT a través de PROCIENCIA, con apoyo del FEEI.

Referencias

- Abdelnour, A., Gatica, A., & Solano, F. (2020). Biotecnología para todos: Proyecto de extensión genera libro de texto para educación secundaria. *Investiga-TEC*, (37). https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/4996
- Acevedo, J. A., Vázquez, A., & Manassero, M. A. (2002). Evaluación de actitudes y creencias CTS: Diferencias entre alumnos y profesores. *Revista de Educación*, 328, 355-382. <https://www.educacionfpydeportes.gob.es/dam/jcr:e7a03583-0d09-4775-ad7f-d15c26d4bda1/re3281910861-pdf.pdf>
- Anselmi, F., Grier, Z., Soddu, M. F., Kenyatta, N., Odame, S. A., Sanders, J. I., & Gregory, G. G. (2018). A low-cost do-it-yourself microscope kit for hands-on science education. En G. G. Gregory (Ed.), *Optics Education and Outreach V*. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2320655>
- Arroyo-Cruzado, G. (2011). La enseñanza y capacitación en biotecnología desde la perspectiva de la educación general. *Revista Umbral*, 66–78. <https://revistas.upr.edu/index.php/umbral/article/view/8447>
- Bhatia, S. (2018). History, scope and development of biotechnology. En *Introduction to Pharmaceutical Biotechnology*, Volume 1 (pp. 1-1). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-1299-8ch1>
- Boeren, E. (2019). Understanding Sustainable Development Goal (SDG) 4 on “quality education” from micro, meso and macro perspectives. *International Review of Education*, 65(2), 277-294. <https://doi.org/10.1007/s11159-019-09772-7>
- Centro Cultural Melodía. (s.f.). Educación que transforma. <https://ccmelodia.org/pf/educacion-que-transforma/>
- Ciencias del Sur. (2022, 16 de septiembre). Inauguran un nuevo espacio para la ciencia en Asunción: El Maker Lab in a Can.

<https://cienciasdelsur.com/2022/09/16/inauguran-un-nuevo-espacio-para-la-ciencia-en-asuncion-el-maker-lab-in-a-can/>

CONACYT. (s.f.). CONACYT premió proyectos sobre experiencias educativas con enfoque CTS. <https://www.conacyt.gov.py/CONACYT-premio-proyectos-sobre-experiencias-educativas-con-enfoque-CTS>

Delvalle, A. T., Nirich, M. E., Esquivel, G. N., & Maidana, A. P. (2018). Revisión bibliográfica sobre desigualdad social en la educación paraguaya. Investigación Jurídica, 4(1). <https://www.unae.edu.py/ojs/index.php/invjuridica/article/view/91>

Gaetan, R. A. (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. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/34704>

Innovations for Poverty Action. (2018). Tikichuela: Matemáticas en mi Escuela [Resumen de educación]. https://www.poverty-action.org/sites/default/files/publications/Tikichuela-Paraguay-Edu-Brief_DRAFT_06.04.18.pdf

ISAAA. (2019). Global status of commercialized biotech/GM crops in 2019: Biotech crops drive socio economic development and sustainable environment in the new frontier (ISAAA Brief No. 55). <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp>

Jara Landolffi, N. C., Ortiz Verdún, E. N., Leiva Cabral, M. Y., Álvarez Dagogliano, S. R., Martínez Insfran, J. L., & Giménez Cantero, J. E. (2022). Cápsulas educativas y juegos de razonamiento en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas y las ciencias. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(3), 402-428. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2236

- Mezirow, J. (2018). Transformative learning theory. En K. Illeris (Ed.), *Contemporary theories of learning* (2.a ed., pp. 114-128). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315147277-8/transformative-learning-theory-jack-mezirow>
- Ministerio de Educación y Ciencias. (2025). Datos de matrícula del sistema educativo. https://estadistica.mec.gov.py/estadistica_educativa/principal/articulo?cat=1&ref=65
- Montenegro Escudero, P. M., et al. (2016). *Biotecnología, sociedad y educación*. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/19294>
- Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. ONU. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Occelli, M. (2013). Enseñar biotecnología en la escuela: Aportes y reflexiones didácticas. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1862798>
- Odell, V., Molthan-Hill, P., Martin, S., & Sterling, S. (2019). Transformative education to address all sustainable development goals. En W. Leal Filho, A. M. Azul, L. Brandli, P. G. Özuyar, & T. Wall (Eds.), *Quality Education* (pp. 1-12). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69902-8_106-1
- Paraguay. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo Paraguay 2030*. Procuraduría General de la República. <https://www.pgr.gov.py/rendicion-de-cuentas/pnd-2030.pdf>
- Puebla, M., Yrazola, M. J., & Mercadal, R. (2012). Enseñar a enseñar biotecnología: Una mirada desde la química, la didáctica y las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTIC's). *Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología*, 3(1), 75-93.

<https://exactas.unca.edu.ar/riecyt/VOL%203%20NUM%201/Archivos%20Digitales/RieCyT%20V3%20N1%20May%202012%20Doc%20-4-.pdf>

Reeduca. (s.f.). Robótica educativa en Paraguay. <https://www.robotica.com.py/>

Roa Acosta, R. (2017). Acercamiento a la historia de la instalación de la biotecnología en la educación. *Revista Bio-grafía Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, (Extraordinario), 320. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/4005>

Roa-Acosta, R., García-Sandoval, Y., & Chavarro-Amaya, C. Y. (2008). Formación de profesores de biología a través de la biotecnología. *Educación y Educadores*, 11(2), 69-88. <https://www.redalyc.org/pdf/834/83411206.pdf>

Taguenca, J. (2008). La opinión de los españoles ante las nuevas biotecnologías. *Papers*, 88, 31-44. <https://papers.uab.cat/article/view/v88-taguenca/pdf-es>

UNESCO. (2016). Educación 2030: Declaración de Incheon y Marco de Acción para la realización del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656_spa

Universidad de Zaragoza. (2021). Aproximación de la biotecnología al aula a través de contextos reales: ¡copia, corta y pega genes! Una propuesta para la enseñanza de la biotecnología en 2.º de bachillerato. Repositorio Institucional de Documentos. <https://zaguan.unizar.es/record/109984>

Verma, A., Rastogi, S., Agrahari, S., & Singh, A. (2011). Biotechnology in the realm of history. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 3(3), 321. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.84430>

Woźniak, E., Tyczewska, A., & Twardowski, T. (2021). A shift towards biotechnology: Social opinion in the EU. *Trends in Biotechnology*, 39(3), 214-218. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.08.001>

Contribución de los Autores

Edgar Bernabé Cardozo Ruíz Díaz: Escritura – Revisión-Edición, Primer borrador; Gestión – Supervisión, Administración; Recursos – Fondos; Investigación – Conceptualización, Metodología, Conducción.

Ivana Preciosa Fernández Jara: Escritura – Revisión-Edición, Primer Borrador; Gestión – Supervisión; Investigación – Conceptualización, Conducción, Curación

Pedro Arturo Santa Cruz Peralta: Escritura – Revisión-Edición, Primer Borrador; Recursos; Investigación - Curación.

Samuel María Gabaglio Velázquez: Escritura – Revisión-Edición, Primer Borrador; Recursos; Investigación - Curación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Declaración de disponibilidad de los datos de la investigación

Los datos de investigación están incluidos en el propio manuscrito

Declaración de uso de la Inteligencia Artificial

Se declara el uso de NotebookLM y Claude para correcciones ortográficas y gramaticales, así como para verificación de referencias.

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.