

El poder transformador de la biotecnología en América Latina: avances, desafíos y perspectivas

Marina Muñoz^{*,**}

DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v26n2.118015

La biotecnología ha emergido en las últimas décadas como una de las ciencias con mayor capacidad para transformar sectores clave en América Latina, incluyendo la salud, la agricultura y la industria. En un contexto marcado por grandes desafíos globales —desde la salud pública hasta la seguridad alimentaria—, la biotecnología ofrece soluciones innovadoras adaptadas a las necesidades específicas de la región. Sin embargo, su desarrollo también plantea desafíos únicos en múltiples ejes. En esta editorial, se abordan los principales avances, desafíos y perspectivas de esta disciplina en América Latina, destacando su potencial para generar un impacto académico, económico y social con enfoque sostenible en la región.

En el ámbito de la salud, destacan los avances en biología molecular y biomedicina, que han permitido la generación de innovaciones en herramientas diagnósticas y tratamientos de enfermedades infecciosas y crónicas prevalentes en la región, como Dengue, Zika y ciertas formas de cáncer. La pandemia por COVID-19, sin embargo, evidenció y exacerbó la brecha existente en infraestructura y acceso a tecnologías avanzadas de salud en muchos países de América Latina, lo cual impulsó a la comunidad científica regional a acelerar el desarrollo de soluciones biotecnológicas locales. Durante y después de la pandemia, se han logrado avances significativos en biotecnología en salud y bioinformática, incluyendo el desarrollo, validación y aplicación de métodos de diagnóstico rápido y a gran escala, lo cual ha mejorado la capacidad de respuesta ante otras enfermedades endémicas, así como la consolidación de iniciativas para la producción de vacunas, en respuesta a la dependencia de vacunas importadas y la necesidad de infraestructura local para futuras emergencias sanitarias.

La biotecnología en salud también ha avanzado, articulada con la bioinformática, en la implementación de herramientas de secuenciación de última generación, que permite el monitoreo y la caracterización de variantes de patógenos, facilitando la vigilancia epidemiológica, con miras a su realización en tiempo real, apoyando la toma de decisiones en salud pública. Estos desarrollos en infraestructura y capacidades técnicas han potenciado la creación de centros de investigación y redes colaborativas en la región, promoviendo un enfoque integrado para el estudio de enfermedades infecciosas y crónicas. A su vez, la pandemia impulsó la telemedicina y el uso de plataformas digitales para monitorear y gestionar la salud de los pacientes, creando nuevas oportunidades para la biotecnología aplicada en medicina de precisión y terapias dirigidas, particularmente en el tratamiento de enfermedades crónicas. Estos avances reflejan el compromiso de la región con el fortalecimiento de su soberanía en salud y con la creación de sistemas resilientes y preparados para responder a futuros eventos de importancia epidemiológica.

* Profesora Área de Biotecnología en Salud, Instituto de Biotecnología-UN (IBUN), Universidad Nacional de Colombia, cmmunozd@unal.edu.co

** Directora Nacional - Colombia, Centro Latinoamericano de Biotecnología (CABBIO). <https://orcid.org/0000-0002-4216-6928>.

El sector agrícola en América Latina también se ha visto beneficiado por los avances significativos de la biotecnología que incluyen el desarrollo de biofertilizantes y biopesticidas basados en microorganismos autóctonos que mejoran la productividad y reducen la dependencia de agroquímicos. Estos bioinsumos, formulados con bacterias y hongos nativos, optimizan la absorción de nutrientes y fortalecen las defensas de los cultivos, promoviendo suelos saludables y preservando la biodiversidad. Además, se han creado variedades de cultivos resistentes a condiciones climáticas adversas, como sequías y altas temperaturas, lo cual permite a los agricultores adaptarse mejor al cambio climático, beneficiando especialmente a los pequeños productores en su búsqueda de estabilidad productiva.

A nivel agrícola también se han potenciado prácticas agroecológicas y la transferencia de tecnologías a agricultores latinoamericanos mediante colaboraciones entre instituciones públicas y privadas. El uso de biosensores y herramientas moleculares para monitorear y diagnosticar plagas y enfermedades de forma temprana que buscan reducir el uso de pesticidas, promoviendo una gestión de cultivos más eficiente y sostenible. Estos avances consolidan el rol de la biotecnología en la construcción de una agricultura más productiva y resiliente en la región, impulsando un desarrollo económico que respeta el medio ambiente y la biodiversidad.

El área de biotecnología industrial también ha tenido un impacto considerable en América Latina mediante la implementación de tecnologías de biorremediación que contribuyen a la recuperación de suelos y aguas contaminadas. Estas tecnologías emplean microorganismos y enzimas que degradan o neutralizan contaminantes como metales pesados, pesticidas y derivados del petróleo, ayudando a restaurar ecosistemas degradados y a reducir los riesgos ambientales asociados con actividades industriales. Estos avances no solo mejoran la calidad del ambiente, sino que también ofrecen una alternativa sostenible y rentable en la gestión de residuos industriales, dado que disminuyen la necesidad de tratamientos químicos y físicos que suelen ser más costosos y menos ecológicos. La biorremediación es especialmente relevante en países de América Latina, donde los sectores minero y agrícola generan residuos contaminantes en ausencia de regulaciones y donde la protección de la biodiversidad es una prioridad.

La biotecnología industrial además ha promovido el desarrollo de bioenergías, aprovechando los residuos agrícolas y otros desechos orgánicos para generar energía limpia. Este enfoque permite convertir subproductos de cultivos como caña de azúcar, maíz y residuos de la industria alimentaria en biocombustibles y biogás, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. La bioenergía contribuye a una economía circular en la que los residuos se transforman en recursos, generando beneficios ambientales y económicos, especialmente en áreas rurales donde el acceso a fuentes de energía es limitado. Estas innovaciones biotecnológicas permiten que América Latina avance hacia un modelo de desarrollo industrial más sostenible, en el que la conservación de los recursos naturales y la reducción de la huella ecológica son aspectos fundamentales.

Estos son solo algunos ejemplos de avances que no solo subrayan el potencial de la región para liderar en innovación biotecnológica, sino que también resaltan el papel de la colaboración entre universidades, centros de investigación y el sector privado en la generación de soluciones sostenibles. A pesar de estos avances en biotecnología, América Latina enfrenta desafíos importantes en términos de inversión, formación de talento humano, colaboración intersectorial y consideraciones éticas que limitan su capacidad para explotar plenamente el potencial de esta disciplina. La inversión en investigación y desarrollo en biotecnología sigue siendo insuficiente en la región, lo que afecta la infraestructura y los recursos disponibles para proyectos de largo plazo y para la creación de innovaciones autóctonas. Además, la formación de talento humano especializado es clave para mantener y expandir las capacidades biotecnológicas, pero la región aún carece de programas de educación y capacitación que aborden las necesidades específicas de la biotecnología en sectores como la salud, la agricultura y el medio ambiente de la región. Esta falta de personal altamente calificado limita el avance y la adopción de tecnologías y crea una dependencia de conocimientos e insumos importados, lo cual encarece los costos y retrasa la aplicación de soluciones.

En este contexto, la colaboración intersectorial es fundamental para impulsar la biotecnología en la región, pues permite que universidades, centros de investigación, empresas y entidades gubernamentales trabajen articuladamente para transformar innovaciones científicas en productos y servicios accesibles. Un ejemplo destacado de esquemas de colaboración regional es el Centro Latinoamericano de Biotecnología (CABBIO), que ha contribuido a la formación de talento humano en la región mediante cursos especializados y la ejecución de proyectos en alianza entre países de América Latina. Estas iniciativas no solo contribuyen al desarrollo de capacidades técnicas locales, sino que también fomentan redes de cooperación científica y profesional que fortalecen la integración de la biotecnología en los sectores académicos, productivos y sociales. Sin embargo, persisten barreras que dificultan esta cooperación, como la falta de incentivos y políticas que promuevan la vinculación efectiva entre el sector público y privado. A su vez, los rápidos avances en biotecnología plantean desafíos éticos, especialmente en temas de edición genética, privacidad de datos genéticos y bioseguridad. Es necesario establecer marcos regulatorios y políticas éticas que guíen el desarrollo responsable de la biotecnología, asegurando que sus beneficios sean compartidos de manera justa y que se minimicen los riesgos potenciales para la sociedad y el medio ambiente. Estos desafíos reflejan la necesidad de una estrategia integral para fortalecer la biotecnología en América Latina y aprovechar su capacidad transformadora de manera sostenible.

A pesar de los múltiples desafíos, las perspectivas para la biotecnología en América Latina son prometedoras, con un potencial para consolidarse como un motor de desarrollo sostenible y de transformación económica en múltiples sectores. La región cuenta con una rica biodiversidad, un recurso invaluable para el desarrollo de innovaciones. A medida que se incrementa la conciencia sobre la importancia de preservar el medio ambiente y adaptar las economías al cambio climático, la biotecnología puede desempeñar un papel crucial en la creación de soluciones adaptadas a las condiciones locales. Esto incluye el avance en terapias médicas específicas para enfermedades endémicas, el desarrollo de cultivos resistentes a múltiples condiciones y la generación de bioenergías. A su vez, el fortalecimiento de infraestructuras de investigación, apoyado por inversiones estratégicas, facilitaría la creación de productos y servicios biotecnológicos con un alto valor agregado, promoviendo una economía que fomente el conocimiento y la innovación.

Para alcanzar este potencial, es fundamental que América Latina continúe construyendo un ecosistema que favorezca la inversión en biotecnología y que promueva la cooperación intersectorial y regional. Esta colaboración debe incluir alianzas sólidas entre instituciones académicas, organismos gubernamentales y el sector privado, que aseguren una transferencia efectiva de tecnología y conocimientos. Además, la región necesita avanzar en la regulación ética de la biotecnología, con el fin de garantizar que los desarrollos científicos respeten tanto el entorno como los derechos de las comunidades.

Con una biodiversidad única y una comunidad científica en crecimiento, América Latina tiene en sus manos la posibilidad de liderar innovaciones biotecnológicas que transformen no solo los sectores productivos, sino el bienestar de las poblaciones. Sin embargo, este potencial requiere de un compromiso claro: inversiones en infraestructura e investigación, una formación sólida de talento humano, y una colaboración que trascienda barreras entre el sector público, la academia y la industria. América Latina tiene el conocimiento, los recursos y la visión necesarios; es momento de fortalecer el camino hacia una biotecnología que respalde un futuro justo, equitativo y sostenible para todos.

The Transformative Power of Biotechnology in Latin America: Advances, Challenges, and Prospects

Marina Muñoz^{*,**}

DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v26n2.118015

B iotechnology has emerged in recent decades as one of the most transformative sciences for crucial sectors in Latin America, including health, agriculture, and industry. Biotechnology offers innovative solutions tailored to the region's specific needs in a context marked by global challenges—ranging from public health crises to food security. However, its development also presents unique challenges across multiple dimensions. This editorial addresses the main advances, challenges, and prospects of this discipline in Latin America, highlighting its potential for generating sustainable academic, economic, and social impact across the region.

Advances in Health Biotechnology

Significant progress in molecular biology and biomedicine has driven innovations in diagnostic tools and treatments for infectious and chronic diseases prevalent in the region, such as dengue, Zika, and certain cancers. The COVID-19 pandemic exposed and exacerbated gaps in health infrastructure and access to advanced technologies in many Latin American countries. However, it also accelerated the development of local biotechnological solutions. During and after the pandemic, the region achieved advances in health biotechnology and bioinformatics, including developing and validating rapid, large-scale diagnostic methods. These breakthroughs enhanced the response to endemic diseases and supported establishing vaccine production initiatives, reducing import dependency and strengthening infrastructure for future public health emergencies.

Integration with bioinformatics has also enabled the implementation of next-generation sequencing tools for monitoring and characterizing pathogen variants. These technologies facilitate real-time epidemiological surveillance, supporting public health decision-making. In addition, the pandemic spurred telemedicine and digital platforms for patient monitoring and care, creating opportunities for biotechnology in precision medicine and targeted therapies, particularly for chronic diseases. These achievements reflect the region's commitment to enhancing health sovereignty and building resilient systems prepared for future epidemiological challenges.

* Professor, Health Biotechnology Area, Institute of Biotechnology-UN (IBUN), National University of Colombia, cmmunozd@unal.edu.co

** National Director - Colombia, Latin American Biotechnology Center (CABBIO), <https://orcid.org/0000-0002-4216-6928>

Advances in Agricultural Biotechnology

Agriculture in Latin America has benefited significantly from biotechnological innovations, such as biofertilizers and biopesticides based on native microorganisms. These bioinputs, formulated with indigenous bacteria and fungi, improve nutrient absorption, strengthen crop defenses, and promote soil health while preserving biodiversity. Additionally, new crop varieties resistant to adverse climatic conditions, such as drought and high temperatures, allow farmers to better adapt to climate change, particularly aiding small-scale producers in achieving productivity stability.

Agroecological practices and technology transfer initiatives have also been bolstered through public and private institutions collaborations. Using biosensors and molecular tools for early pest and disease detection reduces pesticide reliance, fostering more efficient and sustainable crop management. These advancements reinforce biotechnology's role in building a more productive and resilient agricultural sector, driving economic development while respecting environmental and biodiversity preservation goals.

Advances in Industrial Biotechnology

Industrial biotechnology has had a notable impact in Latin America, particularly in bioremediation technologies that help recover contaminated soils and waters. These technologies utilize microorganisms and enzymes to degrade or neutralize pollutants such as heavy metals, pesticides, and petroleum derivatives. They restore degraded ecosystems and mitigate environmental risks from industrial activities. This approach provides a cost-effective, sustainable alternative to traditional chemical and physical treatments.

Biotechnology has also advanced bioenergy development, converting agricultural residues and organic waste into clean energy. Subproducts of sugarcane, corn, and food industry residues are transformed into biofuels and biogas, reducing fossil fuel dependency and greenhouse gas emissions. This circular economy model generates environmental and economic benefits, particularly in rural areas with limited energy access. These innovations underscore Latin America's potential for transitioning to a sustainable industrial model that prioritizes resource conservation and reduces ecological footprints.

Challenges in Biotechnology Development

Despite these successes, Latin America faces significant challenges in terms of investment, workforce development, intersectoral collaboration, and ethical considerations that limit its ability to leverage biotechnology's potential fully. Insufficient investment in biotechnology research and development hampers infrastructure and resources for long-term projects and locally developed innovations. Additionally, specialized workforce development remains crucial for expanding biotechnological capacities, yet the region lacks tailored education and training programs for the health, agriculture, and environmental sectors. This shortage of highly skilled professionals delays technological adoption and fosters dependency on imported expertise and inputs, raising costs and slowing solution implementation.

Intersectoral collaboration is vital to advancing biotechnology in the region, enabling universities, research centers, businesses, and government entities to work together in transforming scientific innovations into accessible products and services. A notable example is the Latin American Biotechnology Center (CABBIO), which has contributed to regional talent development through specialized courses and projects implemented via intercountry alliances. These initiatives strengthen technical capacities while fostering scientific and professional networks integrating biotechnology into academic, productive, and social sectors.

Ethical and Regulatory Considerations

Rapid advancements in biotechnology also pose ethical challenges, particularly regarding gene editing, genetic data privacy, and biosafety. Establishing regulatory frameworks and ethical policies is essential for guiding biotechnology's responsible development, ensuring its benefits are equitably shared while minimiz-

ing societal and environmental risks. Addressing these challenges requires a comprehensive strategy to strengthen biotechnology in Latin America and sustainably harness its transformative capacity.

A Promising Outlook for Biotechnology

Latin America's prospects for biotechnology are promising, with the potential to drive sustainable development and economic transformation across sectors. The region's rich biodiversity is a valuable resource for innovation. As awareness of environmental preservation and climate change adaptation grows, biotechnology is positioned to play a pivotal role in creating locally tailored solutions. These include developing medical therapies for endemic diseases, climate-resilient crops, and bioenergy production.

Strategic investments in research infrastructure and fostering intersectoral and regional cooperation will be critical for realizing this potential. Strong alliances between academic institutions, governments, and the private sector are necessary to ensure effective technology and knowledge transfer. Ethical regulation is essential to ensure that scientific advancements respect environmental and community rights.

With its unique biodiversity and growing scientific community, Latin America is well-positioned to lead biotechnological innovations that benefit productive sectors and population well-being. However, this potential requires a clear commitment: investment in infrastructure and research, robust talent development, and collaboration that transcends barriers between public, academic, and industrial sectors. With the knowledge, resources, and vision in place, Latin America stands poised to build a biotechnological future that ensures justice, equity, and sustainability for all.