



Biotecnología y seguridad: Análisis geopolítico del potencial uso dual en América del Sur

Mayor (EJC) Cárdenas León Jhonathan René

Artículo para optar al título profesional:
Magister en Estrategia y Geopolítica

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"
Bogotá D.C., Colombia
2024

DATOS GENERALES	
Nombre del estudiante	: Cárdenas León Jhonathan René
Identificación	:
Programa académico	: Maestría en Estrategia y Geopolítica
Tutor metodológico	:
Tutor temático	:
Fecha de entrega	:
Extensión	: 8.681 palabras

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

El autor declara que este artículo fue escrito de acuerdo con la normatividad de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” (ESDEG) y no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con este. Las posturas y aseveraciones presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representan la posición oficial ni institucional de la ESDEG, las Fuerzas Militares de Colombia o el Ministerio de Defensa Nacional.

Este artículo es enteramente mi propio trabajo y no ha sido presentado para la obtención de un título en esta u otra Institución de Educación Superior. Se han referenciado todos los trabajos y puntos de vista de otros autores, así como los datos de otras fuentes utilizadas. No se emplearon herramientas de generación de contenido por Inteligencia Artificial para su elaboración.

El autor acepta ceder los derechos de publicación en favor de la ESDEG y su Sello Editorial de acuerdo con los términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

El autor **autoriza** que este artículo sea publicado por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de acceso abierto.

Biotecnología y seguridad: Análisis geopolítico del potencial uso dual en América del Sur

Biotechnology and security: Geopolitical analysis of potential dual use in South America

Cárdenas León Jhonathan René ¹

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Resumen: El avance de la biotecnología en América del Sur ha suscitado importantes consideraciones de seguridad regional. Esta investigación analizó las implicaciones geopolíticas del desarrollo de biotecnologías de uso dual en América del Sur. Mediante un análisis documental y la triangulación de fuentes, se identificaron las principales capacidades biotecnológicas desarrolladas, se examinaron los flujos de cooperación y transferencia tecnológica, y se estableció su impacto en las estrategias de seguridad y defensa. Los resultados revelan un enfoque diversificado en la investigación biotecnológica, una tendencia hacia mayor colaboración regional e internacional, y un fortalecimiento de las capacidades de biodefensa. Sin embargo, también se evidencia un riesgo potencial de carrera armamentista biotecnológica. Se concluye que el desarrollo de estas tecnologías presenta oportunidades para la cooperación regional, pero requiere marcos regulatorios sólidos y políticas de transparencia para garantizar su uso pacífico y mitigar riesgos de seguridad.

Palabras clave: América del Sur; Biotecnología; Geopolítica; Seguridad regional; Uso dual.

Abstract: The advance of biotechnology in South America has raised important regional security considerations. This research analyzed the geopolitical implications of the development of dual-use biotechnologies in South America. Through documentary analysis and triangulation of sources, the main biotechnological capabilities developed were identified, cooperation and technology transfer flows were examined, and their impact on security and defense strategies was established. The results reveal a diversified approach to biotechnology research, a trend towards greater regional and international collaboration, and a strengthening of biodefense capabilities. However, a potential risk of a biotechnology arms race is also evident. It is concluded that the development of these technologies presents opportunities for regional cooperation but requires solid regulatory frameworks and transparency policies to guarantee their peaceful use and mitigate security risks.

Keywords: Biotechnology; Dual use; Geopolitics; Regional security; South America.

¹ Mayor del Ejército Nacional de Colombia. Candidato a magíster en estrategia y geopolítica, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Profesional en Ciencias Militares, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2004-7466> - Contacto: XXX@esdeg.edu.co

[T1] Introducción

A lo largo del siglo XX el avance biológico tuvo una relación cada vez más estrecha relación con las estrategias de poder en busca de tecnologías disruptivas (Rodríguez, 2020). A partir de 1970, la manipulación de agentes patógenos recombinados genéticamente fue un avance de alta tecnología que superó radicalmente superó la biología tradicional y reforzó las relaciones bélicas de la ciencia (Castro, 2022). La revolución biotecnológica comenzó con nuevas perspectivas en el ámbito político y militar de la ciencia, así pues, desde este punto del desarrollo biotecnológico un nuevo paradigma para la guerra, así como para las ciencias de la vida, y se crearon nuevos retos para la salud internacional en el siglo XXI (Belén, 2020).

En las últimas décadas, la biotecnología ha tenido innovaciones disruptivas como la edición genética a través de instrumentos como el CRISPR que por siglas en inglés corresponde a Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas (herramienta clave en la edición genética, permitiendo cortar y modificar secuencias de ADN de manera precisa), la nanotecnología aplicada a la biomedicina, y los biosensores basados en anticuerpos. Tecnologías con un enorme potencial para mejorar la salud humana, la producción de alimentos y la sustentabilidad energética. Sin embargo, los mismos avances pueden tener aplicaciones para propósitos militares (Bilański, 2022). Por ejemplo, la edición genética podría utilizarse para crear patógenos resistentes como armas biológicas o para mejorar las capacidades físicas de los soldados. Los nanobots administrados al torrente sanguíneo con fines médicos podrían modificarse para liberar toxinas de forma encubierta. Los biosensores para detección de agentes patógenos pueden emplearse para identificar amenazas biológicas en escenarios bélicos (Benítez Pérez et al., 2018).

Es así como una misma tecnología biotecnológica puede tener usos benéficos para la humanidad, pero también aplicaciones para obtener ventajas militares. Esta dualidad en el uso de tecnologías avanzadas impone desafíos de gobernanza global y regional, para evitar una proliferación descontrolada con fines bélicos que desestabilice el equilibrio geopolítico.

En América del Sur, países como Brasil, Argentina y Chile han realizado fuertes inversiones en biotecnología, desarrollando capacidades en áreas de frontera como bioinformática, nanotecnología y neurotecnología. Preocupa así la posibilidad de que dichas capacidades se apliquen en propósitos bélicos y alteren el equilibrio geopolítico regional (Avalos et al., 2020).

Brasil se presenta como un líder regional en biotecnología, con centros de investigación de clase mundial como la Universidad de São Paulo invirtiendo en áreas de punta. Por ejemplo, en neurotecnología buscan crear interfaces cerebro-máquina con aplicaciones médicas, pero que podrían usarse para potenciar las habilidades cognitivas de los soldados (da Silva Florêncio et al., 2020). Argentina ha desarrollado fuertes capacidades en bioinformática y edición genética, invirtiendo en firmas como Bioceres que aplican CRISPR a semillas para resistencia climática; esta ingeniería genética podría recalibrarse para generar cultivos resistentes a herbicidas de uso bélico (Stubrin, 2022). Chile ha despuntado en nanobiotecnología a través de centros como el de Excelencia en Nanotecnología CEN. Sus desarrollos de nanopartículas para transporte de fármacos podrían reorientarse para encapsular toxinas químicas (Troncoso Palominos, 2019).

El crecimiento de estas capacidades duales en ausencia de salvaguardas globales resulta preocupante, pues su aplicación militar por cualquier país alteraría el equilibrio

suramericano, por lo cual se presenta la necesidad de un análisis geopolítico para anticipar riesgos y proponer gobernanza regional de tecnologías estratégicas.

Es de destacar que la dualidad de la biotecnología plantea implicaciones geopolíticas significativas, especialmente en regiones como América del Sur, donde la investigación y el desarrollo biotecnológico han cobrado un gran impulso. En consecuencia, resulta imperativo analizar el panorama regional para comprender las implicaciones geopolíticas del desarrollo de biotecnologías de uso dual en esta parte del mundo. Por tanto, la pregunta que guía esta investigación es: ¿Cuáles son las implicaciones geopolíticas del desarrollo de biotecnologías de uso dual en América del Sur?

Así las cosas, se llevó a cabo el presente estudio con el fin de analizar las implicaciones geopolíticas del desarrollo de biotecnologías de uso dual en América del Sur. Para dar alcance a este objetivo, se desarrollaron los objetivos específicos enfocados a: 1) identificar las principales capacidades biotecnológicas de uso dual desarrolladas en América del Sur en los últimos 5 años, 2) determinar los flujos de cooperación y transferencia tecnológica intraregionales y extraregionales que inciden en la difusión de tecnologías de uso dual en Suramérica, y 3) establecer cómo la incorporación de biotecnología de uso dual impacta las estrategias de seguridad y defensa de los países suramericanos.

[T1] Metodología

[T2] Tipo y enfoque de investigación

De acuerdo con las pretensiones de la investigación, se optó por una investigación de tipo descriptivo con enfoque cualitativo, lo que permite tener un acercamiento más certero

del problema y abordar alternativas de solución acordes con lo planteado para los objetivos del estudio. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), la investigación descriptiva "busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice" (p.92). En tal sentido, este tipo de investigación se considera apropiada dado que su propósito es describir y detallar el fenómeno de la difusión de biotecnología de uso dual en América del Sur y sus implicaciones geopolíticas.

Además, Yin (2018) sostiene que la investigación descriptiva es adecuada cuando el objetivo es ofrecer un análisis detallado de un fenómeno específico, facilitando la comprensión de "los patrones y relaciones dentro de los datos para captar la esencia de los problemas en estudio" (p. 85). Por tanto, este enfoque es idóneo para explorar la expansión de capacidades biotecnológicas en la región.

En cuanto al enfoque, Hernández-Sampieri et al. (2014) afirman que "la investigación cualitativa se enfoca en comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con su contexto" (p.358). Este enfoque es adecuado para la presente investigación, porque busca analizar en profundidad el tema de estudio en su contexto geopolítico, a través de la revisión de fuentes documentales relevantes. De igual forma, Spencer et al. (2014) señalan que "el enfoque cualitativo es especialmente útil para investigar fenómenos complejos dentro de su entorno real, permitiendo una interpretación más rica y contextualizada" (p. 49).

De esta manera, la combinación de un tipo descriptivo con un enfoque cualitativo, sustentados en Sampieri, permitió abordar apropiadamente el objetivo de describir y detallar

las capacidades biotecnológicas de uso dual en América del Sur y sus implicancias geopolíticas regionales.

[T2] Recolección de datos y análisis de información

Para la recolección de datos, se emplearon principalmente técnicas de revisión documental en medios digitales, a partir de artículos científicos e investigaciones de trabajo de grado. Esta revisión incluyó la priorización de los documentos de mayor afinidad con los objetivos de la investigación. Los instrumentos utilizados fueron búsquedas con palabras clave en diversos recursos bibliográficos, así como la lectura crítica de las investigaciones más afines al estudio.

Se empleó una selección cuidadosa de fuentes documentales, priorizando aquellas que fueran pertinentes, actuales y de alta calidad (fuentes revisadas y publicadas por instituciones académicas o científicas reconocidas, con validez metodológica y rigor investigativo). Los criterios de selección incluyeron la relevancia temática en el contexto de la biotecnología de uso dual y su impacto geopolítico en América del Sur, así como la actualidad de las publicaciones, restringiéndose principalmente a los últimos cinco años. Además, se priorizaron fuentes indexadas en bases de datos reconocidas, como Scopus, Web of Science y SciELO, asegurando así la calidad y fiabilidad del contenido. Si bien no se incluyeron revisiones por pares como parte del análisis, el uso de fuentes indexadas garantizó que la información utilizada cumpliera con estándares académicos rigurosos, lo que contribuye a la solidez y credibilidad del estudio.

En cuanto a los sistemas de análisis de la recolección de datos, se llevó a cabo una priorización inicial de las investigaciones de acuerdo con las palabras clave y los resúmenes. Para el análisis de los documentos seleccionados, se realizó una lectura exhaustiva con el propósito de identificar y categorizar la información relevante en matrices de análisis, siguiendo un enfoque de análisis de contenido temático.

Para asegurar la objetividad y la rigurosidad de los resultados sobre el impacto de la incorporación de biotecnología de uso dual en las estrategias de seguridad y defensa de los países suramericanos, se aplicó una triangulación de fuentes que incluyó datos provenientes de publicaciones académicas, con el objetivo de garantizar la objetividad y coherencia en los resultados. La triangulación consistió en la comparación sistemática de datos obtenidos de diversas fuentes documentales indexadas, incluyendo informes de organizaciones internacionales, artículos académicos y documentos oficiales.

Para reducir posibles sesgos, se confrontaron diferentes perspectivas sobre el desarrollo y uso dual de la biotecnología en América del Sur, asegurando que cada afirmación estuviera respaldada por al menos dos fuentes independientes. Además, se evaluó la calidad y relevancia de las fuentes mediante un control de la actualidad, fiabilidad y validez de la información. Este proceso permitió identificar puntos de convergencia y divergencia entre los datos, garantizando un análisis más equilibrado. La coherencia se aseguró al revisar continuamente la alineación de los datos con los objetivos del estudio, evitando interpretaciones subjetivas y priorizando la consistencia metodológica.

Adicionalmente, se realizaron comparaciones entre las capacidades actuales y las tendencias emergentes, utilizando tablas comparativas y un análisis estructurado de

categorías y subcategorías, lo que permitió proyectar posibles desarrollos y capacidades hacia el año 2030.

Si bien la metodología utilizada permitió un análisis profundo y detallado del tema, es importante señalar algunas limitaciones. Al basarse en fuentes documentales secundarias, el estudio dependió de la información disponible públicamente, lo que pudo restringir el acceso a ciertos datos más recientes o confidenciales. Sin embargo, se priorizaron fuentes indexadas de alta calidad, lo que minimizó este impacto. Además, al tratarse de un análisis cualitativo descriptivo, el enfoque se centró en la comprensión del fenómeno en su contexto geopolítico específico, lo que limita la generalización de los resultados a otros escenarios fuera de América del Sur. No obstante, estas limitaciones no afectan de manera significativa la validez del estudio, ya que se abordaron mediante un riguroso proceso de selección de fuentes y triangulación de información, garantizando así la solidez de los hallazgos.

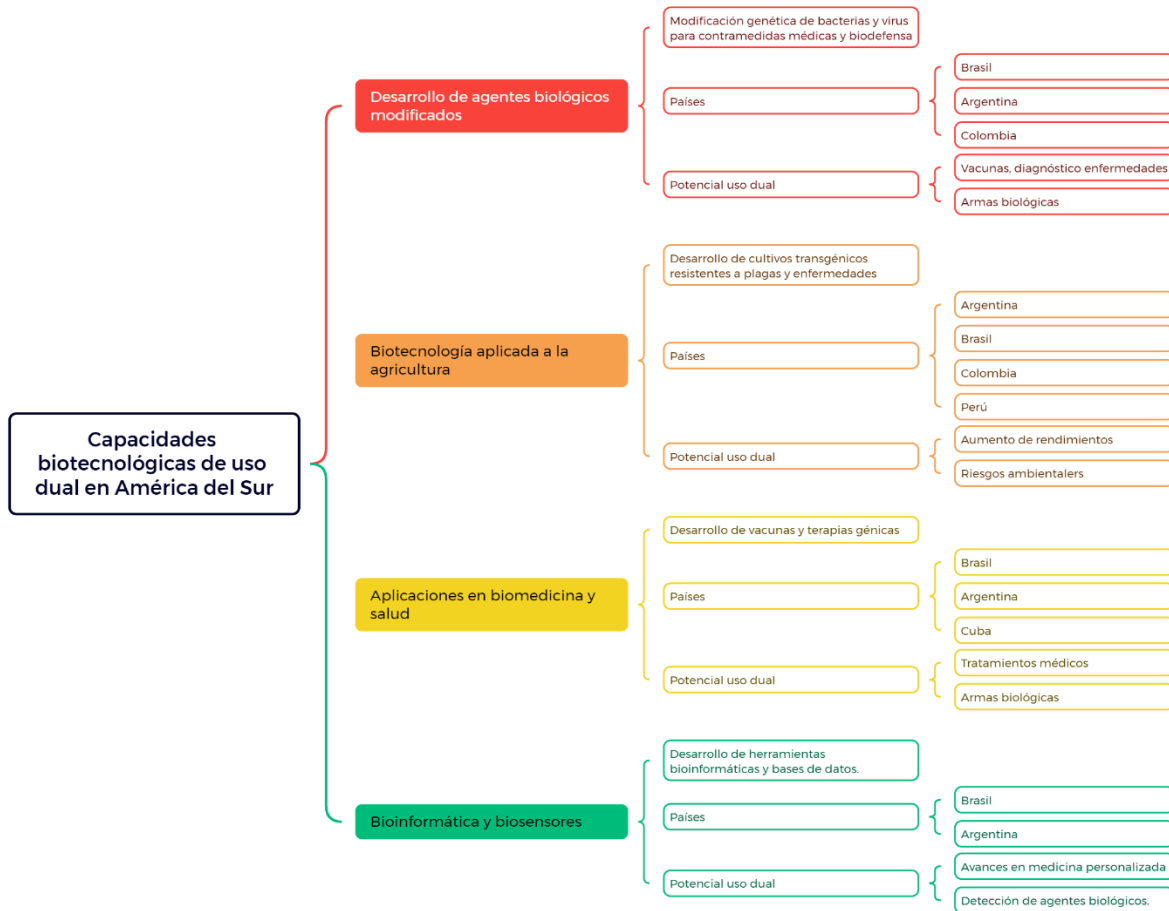
[T1] Capacidades biotecnológicas de uso dual desarrolladas en América del Sur

El avance de la biotecnología en América del Sur en el último quinquenio ha sido significativo, dando lugar al desarrollo de diversas capacidades con potencial uso dual, es decir, aplicaciones que pueden ser utilizadas tanto con fines pacíficos como con propósitos hostiles o militares. Estas capacidades abarcan múltiples áreas, tales como la biodefensa, la agricultura, la biomedicina y la bioinformática, entre otras.

En esta sección, se identifican y describen algunas de las principales capacidades biotecnológicas de uso dual que han surgido en la región suramericana entre 2018 y 2023,

las cuales podrían tener implicaciones geopolíticas relevantes, de acuerdo con lo presentado en la Figura 1:

Figura 1. Capacidades biotécnicas de uso dual en América del Sur (2018 – 2023)



Fuente: elaboración propia, 2024

[T2] Desarrollo de agentes biológicos modificados

En los últimos años, investigadores en países como Brasil, Argentina y Colombia han realizado importantes avances en la modificación genética de bacterias y virus con el objetivo de desarrollar contramedidas médicas y herramientas de biodefensa. Por ejemplo, el Instituto Butantan en Brasil ha trabajado en la ingeniería de virus atenuados como potenciales vacunas

contra enfermedades como el dengue y la fiebre amarilla (Vilchis-Peluyera et al., 2018). A su vez, científicos argentinos han logrado modificar genéticamente la bacteria *Brucella abortus* para eliminar su capacidad patógena, convirtiéndola en un vector para la entrega de antígenos y el desarrollo de nuevas vacunas (Brenner & Sly, 2023).

Estos desarrollos no solo tienen implicaciones positivas en el ámbito de la salud pública, sino que también podrían tener aplicaciones en la preparación y respuesta ante posibles amenazas biológicas. De acuerdo con Guevara-Martínez et al. (2023) la capacidad de manipular genéticamente agentes patógenos podría conducir a la creación de sistemas de detección y diagnóstico más precisos, así como al diseño de tratamientos y vacunas más efectivas contra enfermedades infecciosas.

Sin embargo, desde la perspectiva de la teoría de la carrera armamentista, este avance en capacidades biotecnológicas de uso dual podría desencadenar una dinámica de competencia entre los estados suramericanos. Según Glaser (2000), la percepción de una amenaza potencial derivada de estos avances biotecnológicos podría llevar a otros países de la región a desarrollar o adquirir capacidades similares, generando una espiral de acción-reacción que incrementaría la inseguridad regional. Este escenario plantea el riesgo de una carrera armamentista biotecnológica en América del Sur, con sus consiguientes implicaciones para la estabilidad y las relaciones interestatales.

Otra área de desarrollo biotecnológico de uso dual en América del Sur es la ingeniería de toxinas y venenos de origen biológico. En países como Brasil, Chile y Perú, investigadores han estado estudiando los compuestos bioactivos presentes en el veneno de serpientes, arañas y otros organismos, con el objetivo de desarrollar nuevos fármacos y herramientas terapéuticas (Dewey, 2024). Por ejemplo, el Instituto Clodomiro Picado en Costa Rica ha

logrado aislar y caracterizar varias toxinas del veneno de serpientes, algunas de las cuales han demostrado tener propiedades anticoagulantes, analgésicas y antiinflamatorias (Sasa Marín, 2021).

Si bien estos avances tienen un enorme potencial en el campo biomédico, también existe el riesgo de que estas toxinas puedan ser utilizadas con fines hostiles o como armas biológicas. Esta dualidad refleja precisamente lo que la teoría de la biotecnología plantea sobre el impacto transformador y disruptivo de los avances en la manipulación de organismos vivos. Como señala (Nair, 2008), la biotecnología está abriendo nuevas posibilidades tanto para usos beneficiosos como potencialmente dañinos.

En el contexto suramericano, la capacidad de manipular toxinas y venenos de origen biológico representa un claro ejemplo de cómo la biotecnología está reconfigurando paradigmas en medicina y defensa, planteando simultáneamente oportunidades terapéuticas y desafíos de seguridad que requieren una cuidadosa evaluación ética y estratégica.

[T2] Biotecnología aplicada a la agricultura

En América del Sur, varios países han realizado avances significativos en el desarrollo de cultivos y semillas transgénicas resistentes a plagas y enfermedades. Argentina y Brasil se encuentran a la vanguardia en esta área, siendo los principales productores de cultivos transgénicos en la región (Triana et al., 2023). Por ejemplo, la empresa argentina Bioceres desarrolló una variedad de trigo transgénico tolerante a la sequía y resistente a determinados insectos, con el potencial de aumentar los rendimientos y reducir el uso de pesticidas (Gómez, 2022).

Este tipo de desarrollos biotecnológicos en el sector agrícola visto desde la perspectiva de Barry Buzan evidencia cómo los avances tecnológicos, incluso en ámbitos aparentemente civiles como la agricultura, pueden tener implicaciones significativas para la seguridad y las relaciones internacionales (Franco, 1998). En este caso, la capacidad de producir cultivos transgénicos no solo tiene implicaciones económicas y de seguridad alimentaria, también podría alterar el equilibrio de poder regional, influyendo en las dinámicas de seguridad y en las relaciones entre los estados suramericanos.

En Brasil, investigadores de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) han logrado crear variedades transgénicas de frijol, algodón y caña de azúcar resistentes a plagas y enfermedades (Moreira Guimarães et al., 2022). Estos cultivos genéticamente modificados pueden contribuir a mejorar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola en la región, al tiempo que plantean posibles riesgos ambientales y de bioseguridad que deben ser abordados adecuadamente.

Además de los cultivos transgénicos, en América del Sur se han realizado importantes avances en el desarrollo de biocontroladores biológicos y biofertilizantes. En Colombia, por ejemplo, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha trabajado en la identificación y producción de hongos y bacterias benéficos que pueden ser utilizados como alternativas a los pesticidas químicos y fertilizantes sintéticos (Blanco Carrero & Castro Molina, 2021).

Por su parte, en Perú, investigadores de la Universidad Nacional Agraria La Molina han desarrollado biofertilizantes a base de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo, con el objetivo de promover una agricultura más sostenible y amigable con el medio ambiente (Alarcón Camacho et al., 2019). Estos biocontroladores y biofertilizantes

pueden contribuir a reducir el impacto ambiental de las prácticas agrícolas convencionales y mejorar la calidad de los suelos.

Si bien estas tecnologías tienen un enorme potencial para mejorar la productividad agrícola y la seguridad alimentaria en la región, también existen preocupaciones sobre los posibles riesgos asociados a su liberación en el medio ambiente y el impacto en la biodiversidad local. Por lo tanto, es fundamental contar con marcos regulatorios sólidos y medidas de bioseguridad adecuadas para garantizar un desarrollo responsable y sostenible de estas biotecnologías.

[T2] Aplicaciones en biomedicina y salud

En la región suramericana, investigadores de varios países han realizado progresos importantes en el desarrollo de vacunas y terapias génicas. Por ejemplo, en Brasil, el Instituto Butantan ha estado trabajando en una vacuna contra el virus del Zika basada en la tecnología de ADN recombinante, la cual ha mostrado resultados prometedores en ensayos preclínicos. A su vez, científicos argentinos han desarrollado una terapia génica para tratar la fibrosis quística, utilizando vectores virales para introducir el gen funcional en las células pulmonares (Farneda, 2021).

En Cuba, el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología ha logrado avances significativos en el campo de las vacunas terapéuticas contra el cáncer. Su vacuna Vaxira, basada en una proteína recombinante, ha demostrado resultados alentadores en ensayos clínicos para el tratamiento del cáncer de pulmón de células no pequeñas (Lugo Valdés et al., 2021).

Otra área de desarrollo biotecnológico en América del Sur es la ingeniería de tejidos y órganos bioartificiales. En Brasil, investigadores de la Universidad de São Paulo han logrado cultivar piel artificial a partir de células madre, con potenciales aplicaciones en el tratamiento de quemaduras graves y úlceras crónicas (Córdova Molina et al., 2019). Además, en Argentina, científicos han desarrollado un prototipo de riñón bioartificial utilizando células renales humanas sobre un andamio tridimensional impreso en 3D (Cusumano & Diez, 2020).

Estos avances en ingeniería de tejidos y órganos bioartificiales podrían revolucionar el campo de los trasplantes y la medicina regenerativa, permitiendo la creación de órganos y tejidos personalizados a partir de las propias células de los pacientes, evitando así problemas de rechazo.

Ahora bien, en el ámbito de la nanobiotecnología, investigadores en países como Brasil, Argentina y México han estado explorando el uso de nanopartículas y nanosistemas para la administración dirigida de fármacos y el diagnóstico preciso de enfermedades. Por ejemplo, científicos brasileños han desarrollado nanopartículas poliméricas capaces de transportar y liberar de forma controlada medicamentos antitumorales, reduciendo así los efectos secundarios (Da Silva, 2019).

En Argentina, investigadores del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) han diseñado nanosensores fluorescentes para la detección temprana del cáncer de mama, aprovechando las propiedades ópticas de nanomateriales como los puntos cuánticos de carbono (Boudreau & Bracamonte, 2019). Estas aplicaciones de la nanobiotecnología podrían mejorar significativamente la eficacia y la seguridad de los

tratamientos médicos, además de permitir un diagnóstico más preciso y oportuno de diversas enfermedades.

[T2] Bioinformática y biosensores

En la región suramericana, diversos grupos de investigación han estado trabajando en el desarrollo de herramientas bioinformáticas y bases de datos para el análisis de información biológica. Por ejemplo, en Brasil, el Instituto de Matemática y Estadística de la Universidad de São Paulo ha desarrollado el software BioRica, una plataforma computacional diseñada para analizar datos de secuenciación de nueva generación y facilitar la identificación de variantes genéticas asociadas con enfermedades (Souza Blech & Cogo, 2021).

En Argentina, investigadores del Instituto Leloir han creado la base de datos ARNmild, que recopila información sobre las interacciones entre ARN no codificantes y proteínas, lo que puede contribuir a una mejor comprensión de los procesos de regulación génica y el desarrollo de nuevas terapias (Ruggieri & Arberas, 2022).

Estas herramientas bioinformáticas son fundamentales para el manejo y análisis de la creciente cantidad de datos biológicos generados por técnicas como la secuenciación de ADN y la genómica, permitiendo descubrir patrones y realizar predicciones que pueden impulsar avances en campos como la medicina personalizada y la biotecnología. Sin embargo, desde la perspectiva de la teoría de la carrera armamentista, particularmente en su dimensión tecnológica, estos avances en bioinformática podrían desencadenar una competencia regional por la supremacía en el dominio de la información biológica.

Como sugiere Scharre (2021), las innovaciones tecnológicas pueden ser percibidas como una amenaza por otros estados, llevando a una espiral de desarrollo y adquisición de

capacidades similares. En el contexto suramericano, esto podría manifestarse como una carrera por desarrollar las herramientas bioinformáticas más avanzadas, no solo con fines civiles sino también con potenciales aplicaciones en biodefensa y seguridad nacional.

Otro campo de desarrollo biotecnológico en América del Sur es el diseño de biosensores para la detección de agentes biológicos y sustancias tóxicas. En Colombia, investigadores de la Universidad de Santander han desarrollado un biosensor basado en nanopartículas de oro capaz para la detección de *Escherichia coli* en matrices acuosas (Glavis, 2020). Por su parte, en Chile, científicos de la Universidad de Chile han creado un biosensor electroquímico que utiliza enzimas inmovilizadas para detectar la presencia de pesticidas organofosforados en muestras ambientales y alimentos (Gutiérrez, 2021).

Estos biosensores tienen un amplio rango de aplicaciones, desde la detección de agentes de guerra biológica y toxinas en contextos de seguridad y defensa, hasta el monitoreo de contaminantes en el medio ambiente y la industria alimentaria. Su alta sensibilidad y especificidad los convierten en herramientas valiosas para la detección temprana de amenazas biológicas y químicas.

En síntesis, el panorama biotecnológico en América del Sur durante en los últimos 5 años ha sido prometedor, con avances significativos en diversas áreas con potencial uso dual. Brasil se ha posicionado como un líder regional en el desarrollo de agentes biológicos modificados, vacunas y terapias génicas, nanobiotecnología, así como en herramientas bioinformáticas. Argentina también ha destacado en la modificación genética de microorganismos, la ingeniería de tejidos y el diseño de nanosensores.

Por su parte, países como Colombia, Chile y Cuba han realizado aportes relevantes en áreas como los biocontroladores agrícolas, la ingeniería de órganos bioartificiales y las

vacunas terapéuticas contra el cáncer, respectivamente. Si bien estos desarrollos biotecnológicos ofrecen importantes beneficios para la salud, la agricultura y la industria, también plantean desafíos en términos de bioseguridad, regulación y posibles implicaciones geopolíticas relacionadas con su potencial uso dual.

Las proyecciones hacia el año 2030 en cuanto al desarrollo de biotecnologías de uso dual en América del Sur se basan en el análisis de las tendencias emergentes identificadas en la literatura científica y en estudios previos sobre evolución tecnológica en la región. Este enfoque prospectivo se apoya en modelos de análisis de tendencias tecnológicas, como los desarrollados por autores como Porter et al. (2004), quienes sugieren que la identificación de patrones históricos y la observación de innovaciones emergentes permiten realizar proyecciones informadas sobre el desarrollo futuro. Además, estudios como los de Rotolo et al. (2015) sobre la dinámica del cambio tecnológico fueron utilizados para justificar las proyecciones, ya que ayudan a entender cómo la acumulación de capacidades en el presente puede acelerar el progreso en áreas clave como la biotecnología aplicada a la seguridad y defensa. Este enfoque prospectivo se enriqueció al comparar capacidades actuales con iniciativas de cooperación tecnológica y financiamiento internacional, lo que refuerza la validez de las proyecciones hacia el 2030 en la región suramericana.

[T1] Flujos de cooperación y transferencia tecnológica

En el contexto de la rápida evolución biotecnológica, América del Sur enfrenta desafíos y oportunidades derivados del uso dual de estas tecnologías. La cooperación y transferencia tecnológica son clave para el desarrollo y difusión de innovaciones biotecnológicas con

impacto civil y militar. A continuación, se analizan los flujos de cooperación intra y extrarregionales que moldean el panorama biotecnológico en América del Sur, evaluando sus implicaciones geopolíticas.

[T2] Flujos intrarregionales

La cooperación intrarregional en biotecnología en América del Sur se ha fortalecido mediante acuerdos bilaterales y multilaterales que fomentan la investigación conjunta y la innovación. Reconociendo su importancia para el desarrollo económico y la seguridad nacional, los países han establecido iniciativas para compartir conocimientos y recursos. Esta sección examina los principales acuerdos, proyectos y programas que facilitan la transferencia tecnológica en la región.

[T3] *Acuerdos Bilaterales y Multilaterales*

Los países sudamericanos han reforzado su cooperación biotecnológica mediante acuerdos bilaterales y multilaterales. El Mercado Común del Sur (MERCOSUR) ha sido fundamental en este aspecto, estableciendo en 2019 el Programa de Cooperación intraregional. Este programa fomenta la investigación conjunta, el desarrollo tecnológico y la formación de recursos humanos, facilitando consorcios de investigación y proyectos en biomedicina, agricultura biotecnológica y bioseguridad, ejemplificando una efectiva integración regional en biotecnología (MERCOSUR, 2022).

La Alianza del Pacífico, conformada por Chile, Colombia, México y Perú, también ha desempeñado un papel crucial en la cooperación biotecnológica en América del Sur. En 2021, se lanzó la Plataforma de Innovación de la Alianza del Pacífico, que incluye un componente significativo de biotecnología (Agudelo Pardo, 2023).

Este esfuerzo ha permitido a los países miembros compartir conocimientos, acceder a nuevas tecnologías y desarrollar capacidades locales en biotecnología. Por ejemplo, la cooperación en biotecnología agrícola ha resultado en el intercambio de técnicas avanzadas de cultivo y control biológico, beneficiando la productividad y sostenibilidad agrícola en estos países. Además, la Alianza del Pacífico ha promovido la movilidad académica y la formación de investigadores en biotecnología a través de becas y programas de intercambio(Reinoso et al., 2023).

La Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR), aunque ha enfrentado desafíos políticos en los últimos años, también ha contribuido al desarrollo de capacidades biotecnológicas en la región. A través de su Consejo Suramericano de Ciencia, Tecnología e Innovación, ha promovido la cooperación en áreas críticas de la biotecnología, como la salud pública y la seguridad alimentaria. Proyectos emblemáticos incluyen la creación de redes de vigilancia epidemiológica que utilizan herramientas biotecnológicas avanzadas para monitorear enfermedades infecciosas (Mercado & Vessuri, 2023).

En Colombia, el Instituto Nacional de Salud (INS) ha liderado iniciativas clave en este ámbito, como el desarrollo de la Red de Vigilancia Genómica de SARS-CoV-2, que ha permitido el monitoreo y la secuenciación de variantes del virus en tiempo real (Gómez-Grosso et al., 2021).

Estos esfuerzos han permitido a Colombia y otros países sudamericanos responder de manera más efectiva a emergencias de salud pública, como la pandemia de COVID-19, mediante el uso compartido de datos y recursos biotecnológicos. Además, la cooperación entre el INS y universidades colombianas ha fortalecido la capacidad de respuesta a brotes

epidemiológicos, demostrando la importancia de la colaboración regional en la biotecnología para la salud pública.

[T3] Movilidad de Científicos y Capacitación

La movilidad de científicos y técnicos en biotecnología ha sido clave para el desarrollo de capacidades en América del Sur. El Programa de Movilidad Académica de la Alianza del Pacífico ha facilitado el intercambio entre Chile, Colombia, México y Perú, permitiendo la transferencia de conocimientos en áreas críticas. En los últimos cinco años, este programa ha apoyado a más de 500 científicos, fomentando la colaboración en investigación y desarrollo biotecnológico (Corthorn Navarro, 2023).

Además, iniciativas como el Programa de Intercambio de Investigadores del MERCOSUR han fomentado la movilidad de expertos entre Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, impulsando la innovación y la formación de redes de investigación colaborativas en biotecnología agrícola, biomedicina y bioinformática (Velo & Perrotta, 2020).

Los programas de capacitación y formación continua también han jugado un papel esencial en la mejora de las competencias biotecnológicas en la región. Estos programas abordan temas como la edición genética, la biotecnología industrial y la bioseguridad, y han sido fundamentales para mantener a los profesionales actualizados con los últimos avances tecnológicos (Domínguez Gómez et al., 2024). Además, organizaciones internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) han apoyado programas de formación continua, proporcionando financiamiento y recursos para la creación de centros de excelencia en biotecnología (Velo & Perrotta, 2020).

[T2] Flujos extrarregionales

La colaboración biotecnológica de América del Sur con actores extrarregionales ha sido fundamental para el avance y la adopción de tecnologías de uso dual. Mediante acuerdos internacionales, inversiones multinacionales y programas de asistencia técnica, los países sudamericanos han accedido a tecnologías avanzadas y fortalecido sus capacidades. Esta sección examina los principales flujos de cooperación y transferencia tecnológica extrarregionales, enfocándose en las relaciones con Estados Unidos, Europa, Asia y organismos internacionales, y su impacto en la seguridad y el desarrollo regional.

[T3] Acuerdos y Tratados Internacionales

América del Sur ha establecido cooperaciones biotecnológicas con Estados Unidos, Europa y Asia, cruciales para el desarrollo tecnológico. La colaboración con la Unión Europea, mediante el programa Horizonte 2020, ha permitido a países sudamericanos acceder a financiamiento y conocimientos avanzados en proyectos biotecnológicos (Villa Ariza, 2024).

Según Glaser (2000), la percepción de una amenaza potencial derivada de estos avances biotecnológicos podría llevar a otros países de la región a buscar acuerdos similares o desarrollar capacidades equivalentes, generando una dinámica de competencia. Este escenario plantea el riesgo de una carrera tecnológica en el ámbito biotecnológico en América del Sur, con sus consiguientes implicaciones para la estabilidad regional y las relaciones interestatales.

La cooperación biotecnológica con Asia también ha sido significativa, especialmente con países como China y Japón. Por ejemplo, el Memorando de Entendimiento entre

Argentina y China en biotecnología agrícola ha permitido la transferencia de tecnologías avanzadas de modificación genética y biocontroladores biológicos (González González, 2022). Este acuerdo ha resultado en la implementación de cultivos transgénicos más resistentes y productivos en Argentina, beneficiando tanto a la agricultura local como a la seguridad alimentaria.

Japón, por su parte, ha colaborado con varios países sudamericanos a través del su grupo de cooperación técnica de la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional, más conocida por el acrónimo de JICA, a través del cual ha financiado proyectos de biotecnología en salud y agricultura, y ha proporcionado capacitación especializada a científicos sudamericanos (Borrell, 2022).

Los programas financiados por organismos internacionales también han jugado un papel importante en la cooperación biotecnológica extrarregional. El Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) han sido actores clave en el financiamiento de proyectos de biotecnología en América del Sur. Por ejemplo, el BID ha apoyado la creación del Centro de Biotecnología y Genómica en Chile, un centro de excelencia que se dedica a la investigación y desarrollo de tecnologías biotecnológicas avanzadas (Domínguez Gómez et al., 2024).

Este centro ha facilitado la transferencia de tecnología desde Europa y Estados Unidos, y ha impulsado la innovación en biotecnología agrícola y biomedicina. A su vez, el Banco Mundial ha financiado proyectos de biotecnología en Brasil y Perú, centrados en el desarrollo sostenible y la mejora de la seguridad alimentaria, proporcionando recursos cruciales para la investigación y la implementación de tecnologías biotecnológicas (Domínguez Gómez et al., 2024).

[T3] Inversiones y Alianzas con Empresas Multinacionales

Las inversiones de empresas biotecnológicas extranjeras en América del Sur han sido un motor importante para el desarrollo y la innovación en el sector biotecnológico de la región (Agudelo Pardo, 2023). Compañías multinacionales como Monsanto (ahora parte de Bayer), Syngenta y Novartis han establecido operaciones significativas en países como Argentina, Brasil y Chile, invirtiendo en infraestructura de investigación y desarrollo, así como en la producción de biotecnología agrícola (Reinoso et al., 2023).

Este fenómeno se alinea con la teoría de la biotecnología propuesta por académicos como Francis Fukuyama, que examina el impacto transformador de los rápidos avances en la manipulación y modificación de organismos vivos. Como señala Nair (2008), la biotecnología está reconfigurando paradigmas en campos como la agricultura, abriendo nuevas posibilidades, pero también planteando desafíos éticos y de seguridad. En el contexto sudamericano, estas inversiones extranjeras no solo impulsan la innovación, también suscitan debates sobre la soberanía tecnológica y la dependencia de actores externos en un sector estratégico como la biotecnología.

Por ejemplo, Bayer ha invertido considerablemente en Brasil para desarrollar y comercializar semillas transgénicas y productos de protección de cultivos, lo que ha permitido a los agricultores locales mejorar la productividad y la resistencia a las plagas. Estas inversiones no solo han impulsado la economía local, sino que también han facilitado la transferencia de tecnologías avanzadas y prácticas de investigación de vanguardia a la región (Lachman et al., 2022).

Las *joint ventures* y alianzas estratégicas con empresas multinacionales también han desempeñado un papel crucial en la expansión de las capacidades biotecnológicas en

América del Sur (Borrell, 2022). Un caso destacado es la alianza estratégica entre la empresa brasileña Embrapa (Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria) y Syngenta, que ha resultado en el desarrollo de nuevas variedades de cultivos transgénicos y la implementación de técnicas avanzadas de biotecnología agrícola (Gelape & Tadeu, 2022).

Esta colaboración ha permitido compartir conocimientos técnicos y recursos, acelerando el desarrollo de tecnologías innovadoras en biotecnología agrícola. Asimismo, en el ámbito de la biomedicina, la alianza entre el Instituto Butantan de Brasil y la farmacéutica británica AstraZeneca para la producción local de la vacuna contra el COVID-19 ha sido un ejemplo exitoso de cómo las alianzas estratégicas pueden mejorar la capacidad de respuesta ante emergencias sanitarias y fortalecer las infraestructuras de salud pública en la región.

[T3] Programas de Asistencia y Transferencia de Tecnología

Los programas de ayuda y transferencia tecnológica de países desarrollados han fortalecido las capacidades biotecnológicas de América del Sur. La cooperación entre Brasil y Alemania ha facilitado la transferencia en biotecnología agrícola y biomedicina, permitiendo a científicos brasileños acceder a tecnologías avanzadas de modificación genética y técnicas de laboratorio, impulsando la innovación biotecnológica (Borrell, 2022). De igual forma la cooperación técnica entre Japón y Perú, ha apoyado proyectos de biotecnología en salud y agricultura, proporcionando equipos modernos y capacitación especializada a investigadores peruanos (Domínguez Gómez et al., 2024).

A su vez, las iniciativas de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otras organizaciones globales también han desempeñado un papel crucial en la asistencia y transferencia de tecnología biotecnológica

hacia América del Sur. La OMS, el cual ha trabajado estrechamente con países como Brasil y Argentina para establecer capacidades locales de producción de vacunas (Lachman et al., 2022).

Este programa ha sido vital durante la pandemia de COVID-19, permitiendo la producción local de vacunas y reduciendo la dependencia de importaciones. Además, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) ha implementado programas que han apoyado a países sudamericanos en la adopción de tecnologías biotecnológicas sostenibles, fomentando el desarrollo económico y la protección ambiental (Borrell, 2022).

[T1] Impacto de la incorporación de biotecnología de uso dual en estrategias de seguridad y defensa de los países suramericanos

En el análisis del impacto de la incorporación de biotecnología de uso dual en las estrategias de seguridad y defensa de los países suramericanos, es fundamental comprender cómo las capacidades biotecnológicas emergentes están siendo integradas en los planes y políticas nacionales de defensa.

A continuación, se analiza cómo el desarrollo y la aplicación de tecnologías biotecnológicas con potencial dual están influyendo en las dinámicas de seguridad regional. La revisión se centra en tres aspectos clave: el fortalecimiento de capacidades de defensa y biodefensa, el impulso a la cooperación y alianzas estratégicas, y el riesgo de escalamiento hacia una carrera armamentista biotecnológica. A través de un análisis de la información

recopilada y una triangulación de fuentes documentales, se establecieron las implicaciones geopolíticas y estratégicas de estos desarrollos para los países de América del Sur.

[T2] Fortalecimiento de Capacidades de Defensa y Biodefensa

El desarrollo de biotecnologías de uso dual en América del Sur ha fortalecido significativamente las capacidades de defensa y biodefensa de varios países de la región (Chicaiza Ortiz et al., 2023). En particular, Brasil ha invertido sustancialmente en la investigación y desarrollo de vacunas y bioseguridad como parte de su estrategia nacional de defensa (Rocha, 2024).

Cabe mencionar que el Instituto de Biología del Ejército (IBEx) y el Instituto Butantan han desarrollado capacidades avanzadas en la producción de vacunas y antídotos contra agentes biológicos, tanto para uso civil como militar (de Oliveira Mendonça & Mafra, 2023). Iniciativas que han mejorado la capacidad del país para responder a amenazas biológicas naturales y artificiales, y a su vez han servido para desarrollar infraestructuras críticas y formar personal especializado en biodefensa, fortaleciendo así la resiliencia nacional frente a posibles ataques bioterroristas.

En Argentina, las capacidades de biotecnología también han sido integradas en la planificación de seguridad y defensa del país (Brenner & Sly, 2022). La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y el Instituto Malbrán han trabajado en colaboración para desarrollar tecnologías de detección y respuesta rápida a patógenos potencialmente peligrosos (Verre et al., 2023). Además, Argentina ha priorizado el uso de biotecnología para mejorar la salud pública y la defensa biológica, como lo demuestran sus inversiones en investigación de técnicas de diagnóstico molecular y terapias innovadoras. De acuerdo

Cuevas Mercado & Chávez Elorza (2021) el desarrollo de estos conocimientos ha permitido al país avanzar en la creación de sistemas de vigilancia biológica más efectivos, lo cual es crucial para detectar y mitigar de manera oportuna cualquier incidente biológico, accidental o intencionado, que pueda comprometer la seguridad nacional.

Colombia, por su parte, ha implementado estrategias de fortalecimiento de capacidades de defensa biotecnológica estableciendo acuerdos de cooperación con universidades e institutos de investigación internacionales para el desarrollo de biotecnologías que pueden ser utilizadas en la defensa y la seguridad nacional (Realpe & Cano, 2020). De manera paralela se ha desarrollado un Sistema Nacional de Bioseguridad, que incluye la creación de Autoridades Nacionales Competentes y Comités Técnicos Nacionales de Bioseguridad como el Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología – CIISB, para supervisar el uso de biotecnología en sectores como la agricultura y la salud (Minambiente, 2024). Este enfoque busca proteger los recursos naturales y fortalecer la capacidad del país para responder a amenazas biológicas y asegurar la sostenibilidad de sus recursos genéticos.

Estos desarrollos en capacidades de defensa y biodefensa, basados en la biotecnología de uso dual, tienen implicaciones directas en las estrategias de seguridad y defensa de los países suramericanos. Al fortalecer las capacidades para detectar, responder y mitigar amenazas biológicas, los países de la región se encuentran en capacidad de mejorar su preparación ante emergencias sanitarias y biológicas, y de manera paralela incrementan su disuasión contra posibles agresores.

Este fortalecimiento, sin embargo, también conlleva desafíos, como el riesgo de una carrera armamentista en biotecnología y la necesidad de una regulación adecuada para evitar

el uso indebido de estas tecnologías con fines ofensivos. La implementación de políticas de defensa que integren estas capacidades biotecnológicas se vuelve esencial para asegurar la estabilidad y la paz regional, promoviendo al mismo tiempo la colaboración internacional para el control de la proliferación de armas biológicas.

Lo anterior considerando lo expuesto por Brañez & Rey (2001), que señala que las preocupaciones por el desarrollo de la biotecnología moderna incluyen la posibilidad de que estas tecnologías sean utilizadas con fines ofensivos, lo que subraya la necesidad de un marco regulatorio robusto que impida su uso indebido, aún persiste la necesidad de fortalecer los marcos jurídicos en América Latina. A medida que avanza la biotecnología, se hace necesario que los países de la región implementen regulaciones más efectivas y colaborativas para mitigar los riesgos asociados y asegurar que estas tecnologías se utilicen de manera responsable y ética.

Ahora bien, el desarrollo de biotecnologías de uso dual en América del Sur no solo debe ser considerado desde una perspectiva tecnológica y geopolítica, también dentro del marco de las normativas internacionales que regulan su uso. Uno de los principales tratados internacionales aplicables es el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología adoptada en el 2000, que regula los movimientos transfronterizos de organismos vivos modificados (OVM) resultantes de la biotecnología moderna. Este protocolo es particularmente relevante para los países suramericanos, ya que establece medidas de bioseguridad destinadas a prevenir posibles riesgos para la biodiversidad y la salud humana derivados de la liberación y transporte de Organismos Vivos Modificados (OVM). A nivel regional, países como Brasil, Argentina y Colombia han adoptado leyes y políticas alineadas con el Protocolo de Cartagena para supervisar la aplicación y el comercio de tecnologías

biotecnológicas, lo que impacta sus relaciones geopolíticas al promover la cooperación y la transparencia en la gestión de estas tecnologías.

Además del Protocolo de Cartagena, la Convención sobre Armas Biológicas (CAB) de 1975 es un marco clave que regula el uso de biotecnologías en contextos militares y de defensa. Esta convención, ratificada por la mayoría de los países de América del Sur, prohíbe el desarrollo, la producción y el almacenamiento de armas biológicas y toxinas, abarcando indirectamente el uso dual de las tecnologías biotecnológicas. La adherencia a la CAB es esencial para asegurar que los avances en biotecnología con aplicaciones en biodefensa no se desvíen hacia fines ofensivos, un riesgo que puede exacerbarse en contextos de tensiones regionales. En este sentido, la regulación internacional proporciona un marco normativo que, si se fortalece y se aplica de manera efectiva, puede mitigar el riesgo de una carrera armamentista biotecnológica en la región, al tiempo que promueve el uso pacífico y responsable de estas tecnologías.

[T2] Impulso a la Cooperación y Alianzas Estratégicas

La incorporación de biotecnologías de uso dual en las estrategias de seguridad y defensa en América del Sur ha generado un notable impulso en la cooperación y las alianzas estratégicas entre los países de la región (Salas, 2022). Brasil y Argentina, por ejemplo, han intensificado su colaboración en la investigación y el desarrollo biotecnológico a través de iniciativas bilaterales y multilaterales (Brenner & Sly, 2022).

Un ejemplo destacado de esta cooperación es el trabajo conjunto en proyectos de investigación bajo el Mercosur, donde ambos países han participado activamente en el desarrollo de capacidades para la detección temprana de patógenos y la producción de

vacunas (Velo & Perrotta, 2020). Estos esfuerzos han fomentado una mayor integración regional en temas de seguridad y defensa, promoviendo la construcción de un frente común ante amenazas biológicas, lo que fortalece la seguridad colectiva en la región.

En el ámbito de alianzas estratégicas más amplias, los países suramericanos han buscado fortalecer la cooperación internacional para aprovechar el conocimiento y la tecnología de naciones con capacidades avanzadas en biotecnología (Salas, 2022). Por ejemplo, Colombia ha establecido varios acuerdos de cooperación internacional en biotecnología, destacando su participación en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, que busca asegurar la manipulación y transporte de organismos vivos modificados, considerando tanto los efectos sobre la biodiversidad como los riesgos para la salud humana (CEPAL, 2020). Colombia se adhirió a este protocolo mediante la Ley 740 de 2002, que entró en vigor el 11 de septiembre de 2003 mediante la cual se resalta la necesidad de un marco regulatorio que garantice la protección del medio ambiente y la diversidad biológica en el contexto de la biotecnología (Ley 740, 2002).

Además, el país es parte del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), que promueve la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de sus componentes. Este convenio, ratificado por Colombia en 1994, también incluye mecanismos para la cooperación internacional en biotecnología y biodiversidad (Minambiente, 1994).

Colombia también ha participado en foros y grupos de trabajo relacionados con la biotecnología y la biodiversidad, tales como el Protocolo de Nagoya, foros de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) o la Alianza del Pacífico buscando fortalecer su capacidad en investigación y desarrollo en este campo, así como fomentar la colaboración con otros países de la región (Orozco-Ugarriza, 2019).

Estos acuerdos han permitido a Colombia mejorar sus capacidades internas en biotecnología de uso dual, e integrarse más estrechamente con las políticas de seguridad y defensa de estos países, aumentando así su capacidad para responder de manera efectiva a posibles amenazas biológicas. Además, estas alianzas estratégicas han facilitado el acceso a tecnologías emergentes y a programas de capacitación para el personal militar y civil en el manejo de situaciones de emergencia biológica (Rocha, 2024).

A nivel multilateral, la Organización de Estados Americanos (OEA) ha desempeñado un papel clave en fomentar la cooperación regional en materia de seguridad biológica (Rincón & Venegas, 2023). A través de su Comité Interamericano contra el Terrorismo (CICTE), la OEA ha promovido la colaboración en la formación de capacidades para la prevención y respuesta a incidentes bioterroristas, así como el intercambio de información sobre el uso dual de la biotecnología.

Los países miembros, incluyendo Brasil, Argentina, Colombia, y Chile, han participado en talleres y ejercicios conjuntos para mejorar sus capacidades de detección, respuesta y contención de amenazas biológicas (Rincón & Venegas, 2023). Esta cooperación ha fortalecido las redes de comunicación y coordinación entre las naciones de la región, facilitando respuestas rápidas y coordinadas frente a potenciales emergencias biológicas.

Estas iniciativas han sido clave para evitar la proliferación de armas biológicas y promover el uso pacífico de la biotecnología en la región. Al trabajar conjuntamente en el desarrollo de regulaciones y protocolos de seguridad, los países suramericanos no solo fortalecen su defensa colectiva, sino que también aseguran un entorno más estable y seguro para el desarrollo de innovaciones tecnológicas en el ámbito de la biotecnología.

[T2] Riesgo de Escalamiento y Carrera Armamentista Biotecnológica

La creciente inversión en biotecnología de uso dual por parte de varios países suramericanos ha generado preocupaciones sobre el riesgo de escalamiento hacia una carrera armamentista biotecnológica en la región (Belén, 2020). En particular, Brasil y Argentina, que lideran el desarrollo biotecnológico en América del Sur, han ampliado significativamente sus capacidades en biotecnología con aplicaciones potenciales en biodefensa y bioseguridad (Vilchis-Peluyera et al., 2018).

Este desarrollo, aunque orientado hacia fines defensivos y de salud pública, puede ser percibido por otras naciones como un intento de obtener una ventaja estratégica en biotecnología, lo cual podría desencadenar una respuesta similar en otros países de la región.

Además, el desarrollo de biotecnologías avanzadas con fines de defensa en países como Colombia y Perú también podría contribuir al riesgo de escalamiento. Los dos países han mostrado interés en fortalecer sus capacidades biotecnológicas para protegerse contra posibles amenazas biológicas, incluidas las armas biológicas. Sin embargo, esta intensificación en el desarrollo biotecnológico puede ser vista con suspicacia por parte de otros estados que no poseen capacidades similares, lo que podría llevar a una carrera armamentista biotecnológica en la región (Borón, 2021).

El estudio de Mendoza-Suárez (2020), en ausencia de mecanismos claros de transparencia y confianza mutua, la percepción de una amenaza puede llevar a un ciclo de acción-reacción, en el cual los países buscan igualar o superar las capacidades tecnológicas de sus vecinos, incrementando así el riesgo de una escalada biotecnológica.

Por tanto, la falta de un marco regulatorio robusto a nivel regional que controle el desarrollo y la aplicación de biotecnologías de uso dual también exacerba el riesgo de una

carrera armamentista biotecnológica en América del Sur. Actualmente, no existe un tratado específico en la región que regule el desarrollo y el uso de biotecnología con aplicaciones militares, a diferencia del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, que se centra más en la biodiversidad y la bioseguridad ambiental.

Esta ausencia de regulación específica para el ámbito militar permite a los países avanzar en sus programas biotecnológicos con poca supervisión internacional, lo cual puede llevar a una carrera encubierta por alcanzar superioridad en biodefensa. Autores como Calderón et al. (2021) han advertido que, sin acuerdos de control adecuados, los avances en biotecnología de uso dual podrían derivar en el desarrollo de capacidades ofensivas, poniendo en riesgo la estabilidad regional.

Finalmente, la potencial carrera armamentista biotecnológica en América del Sur no solo representa una amenaza a la estabilidad regional, sino que también podría tener consecuencias globales. La creciente capacidad de manipulación genética y de creación de organismos sintéticos presenta un riesgo significativo si estas tecnologías se desarrollan con fines ofensivos.

A modo de síntesis, es posible decir que, la incorporación de biotecnología de uso dual ha tenido un impacto significativo en las estrategias de seguridad y defensa de los países suramericanos, generando tanto oportunidades como desafíos. Por un lado, ha fortalecido las capacidades de defensa y biodefensa, mejorando la producción de vacunas, antídotos y sistemas de detección de amenazas biológicas, lo que aumenta la resiliencia nacional frente a posibles ataques bioterroristas y emergencias sanitarias. Además, ha impulsado la cooperación regional e internacional, fomentando alianzas estratégicas y el intercambio de conocimientos en biotecnología.

Sin embargo, este desarrollo también ha suscitado preocupaciones sobre una potencial carrera armamentista biotecnológica en la región, debido a la percepción de amenazas y la falta de un marco regulatorio robusto a nivel regional. Esto ha llevado a los países a reconsiderar sus estrategias de seguridad, enfatizando la necesidad de equilibrar el desarrollo tecnológico con medidas de transparencia y confianza mutua para mitigar riesgos y promover un uso pacífico de estas tecnologías.

[T1] Conclusiones

El desarrollo de biotecnologías de uso dual en América del Sur ha generado implicaciones geopolíticas significativas para la región, especialmente en el ámbito de la seguridad y la defensa. A lo largo de la última década, la expansión de capacidades biotecnológicas avanzadas en países como Brasil, Argentina, Colombia y Perú ha resaltado tanto oportunidades como desafíos en términos de seguridad regional. Este desarrollo ha fortalecido las capacidades nacionales en biodefensa y promovido la cooperación internacional, pero también ha aumentado los riesgos de una potencial carrera armamentista biotecnológica. Así, las implicaciones geopolíticas del desarrollo de biotecnologías de uso dual en la región no solo afectan la estabilidad y seguridad locales, sino que también tienen el potencial de repercutir a nivel global, subrayando la necesidad de marcos regulatorios sólidos y políticas de transparencia que promuevan un uso pacífico de estas tecnologías.

El análisis de las capacidades biotecnológicas desarrolladas en América del Sur durante los últimos cinco años permitió evidenciar un enfoque diversificado en la investigación y aplicación de biotecnologías de uso dual. Países como Brasil y Argentina han

liderado el desarrollo en áreas como la modificación genética para la creación de vacunas, biocontroladores agrícolas y biomedicina avanzada, mientras que otros países, como Colombia y Perú, han comenzado a establecer sus propias capacidades en bioseguridad y defensa biológica. Este enfoque diversificado no solo contribuye a mejorar la seguridad alimentaria y la salud pública, sino que también incrementa las capacidades de respuesta ante posibles amenazas biológicas. Sin embargo, la dualidad de estas tecnologías plantea preocupaciones sobre su posible utilización con fines ofensivos, lo que subraya la importancia de un monitoreo continuo y una regulación adecuada.

En relación con los flujos de cooperación y transferencia tecnológica, los resultados indican una tendencia hacia una mayor colaboración tanto intrarregional como extrarregional en el ámbito biotecnológico. Iniciativas de cooperación en América del Sur, como las alianzas estratégicas entre Brasil y Argentina en proyectos de investigación genética y bioinformática, así como acuerdos bilaterales con potencias tecnológicas extranjeras, han facilitado el intercambio de conocimientos y el acceso a tecnologías avanzadas. Sin embargo, esta cooperación no está exenta de desafíos, ya que la falta de un marco regulatorio regional homogéneo puede dar lugar a desigualdades en el acceso y uso de estas tecnologías. La cooperación es, por tanto, un factor clave para mitigar los riesgos asociados con la biotecnología de uso dual y promover su desarrollo con fines pacíficos.

El análisis de cómo la incorporación de biotecnología de uso dual impacta las estrategias de seguridad y defensa de los países suramericanos revela un fortalecimiento de las capacidades de biodefensa y una creciente preocupación por el riesgo de una carrera armamentista biotecnológica. Si bien las capacidades mejoradas en biotecnología han permitido a los países estar mejor preparados ante amenazas biológicas, también han

generado tensiones potenciales entre los Estados que pueden percibir estas capacidades como una amenaza estratégica. Así mismo, el desarrollo de biotecnologías avanzadas ha impulsado la cooperación regional, pero también ha subrayado la necesidad de establecer mecanismos claros de transparencia y confianza para evitar el escalamiento de tensiones y promover un uso responsable de estas tecnologías.

Para futuros investigadores interesados en explorar las implicaciones geopolíticas del desarrollo de biotecnologías de uso dual en América del Sur, se recomienda realizar estudios comparativos entre diferentes regiones del mundo para identificar patrones comunes y divergentes en la adopción y regulación de estas tecnologías. Además, sería beneficioso profundizar en el análisis de las percepciones de seguridad de los distintos actores estatales y no estatales en la región, con el fin de entender mejor cómo estas percepciones influyen en la formulación de políticas y en las dinámicas de cooperación y conflicto. La integración de enfoques interdisciplinarios que combinen perspectivas de estudios de seguridad, biotecnología, derecho internacional y políticas públicas podría ofrecer una visión más comprensiva y matizada de este complejo tema.

[T1] Referencias

Agudelo Pardo, L. N. (2023). *Transferencia de conocimiento y su relación actual con el desarrollo de la innovación en Colombia*.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/55727/2024lauraagudelo.pdf?sequence=1>

- Alarcon Camacho, J., Recharte Pineda, D. C., Yanqui Díaz, F., Moreno LLacza, M., Montes Yarasca, I. M., & Buendía Molina, M. A. (2019). Elaboración de un biofertilizante a partir de microorganismos eficientes autóctonos en Perú. *Anales Científicos*, 80(2), 515–522. <https://doi.org/10.21704/ac.v80i2.1484>
- Avalos, M. L., Ocola, D., & Aponte, H. (2020). Tendencias en biotecnología algal en América Latina: Un análisis del VI Congreso Latinoamericano de Biotecnología Algal. *Arnaldoa*, 27(1), 257–266.
- Belén, E. (2020). La biotecnología de uso dual en la tendencia hacia las fronteras microfísicas. *Visión Conjunta*, 12(22), 35–43.
- Benítez Pérez, M. O., Artilles Jiménez, E., Victores Moya, J. A., Reyes Roque, A. C., Gómez Pacheco, R., & Calderón Medina, N. (2018). La guerra biológica: un desafío para la humanidad. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 22(5), 803–828.
- Bilański, G. (2022). *Entre las promesas de desarrollo y las prácticas con edición genética: la innovación biotecnológica en la periferia Tesis para obtener el título de Doctora en Sociología.*
- Blanco Carrero, E. L., & Castro Molina, Y. (2021). Antagonismo de rizobacterias sobre hongos fitopatógenos, y su actividad microbiana con potencial biofertilizante, bioestimulante y biocontrolador. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(1), 6–16. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n1.84808>
- Borón, A. A. (2021). América Latina y el Caribe en el tablero de la geopolítica mundial. *Cuadernos de Nuestra América*, 00, 1–11.

Borrell, J. (2022). América Latina debe ocupar un lugar más importante en nuestra agenda.

Pensamiento Iberoamericano, 12, 102–107.

Boudreau, D., & Bracamonte, G. (2019). Fluorescencia Incrementada por el Metal y Plasmónica exaltada en base a nanopartículas de dimensiones menores a las longitudes de onda del espectro electromagnético. *Bitacora Digital*, 1–36.

Brañez, R., & Rey, O. (2001). *Política, derecho y administración de la seguridad de la biotecnología en América Latina y el Caribe*.

Brenner, L. Z., & Sly, M. J. H. (2022). La brecha tecnológica regional y el caso de la producción de vacunas en Argentina y Brasil. *Revista Tempo Do Mundo*, 30, 253–287.

Brenner, L. Z., & Sly, M. J. H. (2023). La Brecha tecnológica regional y el caso de la producción de vacunas en Argentina y Brasil. *Revista Tempo Do Mundo (RTM)*, 30, 253–287. <https://doi.org/10.38116/rtm30art9>

Calderón, C. E. Á., Pedraza, Y. R., & Murillo, D. B. (2021). A multidimensional security approach to Colombia’s biodefense against future pandemics. *Revista Científica General Jose Maria Cordova*, 19(36), 943–977. <https://doi.org/10.21830/19006586.841>

Castro, J. (2022). Los programas de guerra biológica en la era de la biotecnología. *Cuadernos de Estrategia*, 85–117.

CEPAL. (2020). *Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre Diversidad Biológica*. <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratado/protocolo-cartagena-seguridad-la-biotecnologia-convenio-diversidad-biologica>

Chicaiza Ortiz, C. D., Rivadeneira Arias, V. D., & Herrera-Feijoo, R. J. (2023).

Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias. (Primera edición). Editorial Grupo AEA,.

Córdova Molina, C. J., Moreno Flores, Á. P., Maruri Orbea, P. R., & Criollo Guillen, M. J.

(2019). Las bioimpresora al servicio de los pacientes con quemaduras. *RECIAMUC*, 3(3), 107–121. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/3.\(3\).julio.2019.107-121](https://doi.org/10.26820/reciamuc/3.(3).julio.2019.107-121)

Corthorn Navarro, D. (2023). La Alianza del Pacífico en su dimensión económica y

comercial. *Universitat de Barcelona*, 1–86. https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/202292/1/TFM_Corthorn_Navarro_Diego.pdf

Cuevas Mercado, N. A., & Chávez Elorza, M. G. (2021). Desarrollo de vacunas

biotecnológicas en Cuba y Argentina. *Ciencia, Tecnología y Política*, 4(7), 1–12.

Cusumano, A., & Diez, G. (2020). Apuntes para la historia de la diálisis en el mundo y en la

argentina. primera parte: los inicios de la hemodiálisis en el mundo. *Rev Nefrol Dial Traspl*, 40(02), 150–160.

Da Silva, D. (2019). *Desenvolvimento e caracterização de nanopartículas poliméricas*

inaláveis para vetorização de macrófagos e tratamento da tuberculose.

da Silva Florêncio, M. N., de Souza Abud, A. K., Costa, B. M. G., & Junior, A. M. O. (2020).

Análise da produção e colaboração da biotecnologia no Brasil. *Research, Society and Development*, 1–27.

de Oliveira Mendonça, A., & Mafra, C. (2023). Política e requisitos regulatórios para biossegurança e bioproteção laboratorial no Brasil. *Revista Brasileira de Inteligência*, 18, 13–31.

Dewey, K. (2024). Pinochet’s poisons: examining Chile’s historical interest in chemical and biological weapons. *Intelligence and National Security*, 39(1), 140–160.
<https://doi.org/10.1080/02684527.2023.2258693>

Domínguez Gómez, D., Fuentes-Campos, E., Ubieta, T., Fernández-Navarro, M., Brenes Porras, C., Jiménez Rodríguez, M. G., & Valero, J. (2024). Panorama del Bioemprendimiento basado en la bioeconomía sobre América Latina y el Caribe. *Informe de Situación y Perspectivas de La Bioeconomía En América Latina y El Caribe*, 1, 1–40.

Farneda, M. (2021). Desarrollo de nanopartículas para el tratamiento de enfermedades genéticas recibe una importante inversión. *UNCiencia*, 1–7.

Franco, J. (1998). Barry Buzan. Introducción a los estudios estratégicos: tecnología militar y relaciones internacionales. *Cuadernos de Estrategia* 99., 1, 155–166.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=53961>

Gelape, F., & Tadeu, T. (2022). Melhoramento genético das pitaias na Embrapa e parceiros. In *III Encontro Nacional dos produtores de Pitaia*.
<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>

Glaser, C. L. (2000). The causes and consequences of arms races. *Annual Review of Political Science*, 3(1), 251–276.

- Glavis, Y. (2020). *Modificación de electrodos impresos con nanopartículas de oro y péptidos PEPTIR para la detección de Escherichia coli en matrices acuosas.*
- Gómez, S. (2022). Cultivos transgénicos y acumulación por desposesión en Argentina (1991 - 2021). *Clivajes. Revista de Ciencias Sociales*, 9(17), 102–133.
- Gómez-Grosso, L. A., Mercado, M., & Ospina, M. L. (2021). En las entrañas del SARS-CoV-2: liderazgo científico del Instituto Nacional de Salud. *Biomédica*, 41(2), 195–200.
- González González, M. C. (2022). Rol socio-económico de China en América Latina y las futuras vías de cooperación. *Interacción Sino-Iberoamericana / Sino-Iberoamerican Interaction*, 2(1), 66–84. <https://doi.org/10.1515/sai-2022-0003>
- Guevara-Martínez, S., Hernández-Trejo, M., & Escutia-Gutiérrez, R. (2023). Aplicación de la microscopia electrónica en la bioseguridad. *Revista de Divulgación Científica IBIO*, 5(2), 18–22.
- Gutiérrez, V. (2021). *Desarrollo de un biosensor electroquímico basado en mos2 (molibdenita) para la detección de pesticidas.*
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Interamericana Editores S.A, Ed.; Sexta). Mc Graw Hill Education. https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Lachman, J., Braude, H., Monzón, J., López, S., & Gómez-Roca, S. (2022). ¿Cómo puede Argentina transformarse en líder del nuevo paradigma tecnoproductivo? *Cuyonomics. Investigaciones En Economía Regional*, 6(10), 55–86.

Ley 740. (2002). *Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica – Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) – Tratado internacional – Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo – Principio de Precaución – Biotecnología – Organismos Vivos Modificados (OVM) resultantes de la biotecnología – Tecnología – Diversidad Biológica (Biodiversidad) – Utilización sostenible de la diversidad biológica – Salud Humana – Movimientos transfronterizos*. <https://www.anla.gov.co/eureka/normatividad/leyes/3431-ley-740-de-2002-protocolo-de-cartagena-sobre-seguridad-de-la-biotecnologia-del-convenio-sobre-la-diversidad-biologica-convenio-sobre-la-diversidad-biologica-cdb-tratado-internacional-declaracion-de-rio-sobre-el-medio-ambiente-y-el-desarrollo-principio-de-precaucion-biotecnologia-organismos-vivos-modificados-ovm-resultantes-de-la-biotecnologia-tecnologia-diversidad-biologica-biodiversidad-utilizaci#:~:text=La%20Ley%20740%20de%202002,Convenio%20sobre%20la%20Diversidad%20Biol%C3%B3gica%E2%80%9D>.

Lugo Valdés, M., Gamboa Díaz, Y., & Domínguez Arencibia, B. (2021). Retos y desafíos de la Biotecnología cubana en el enfrentamiento a la COVID-19. *Fármaco Salud Artemisa* 2021, 1–19.

Mendoza-Suárez, A. J. (2020). Impresión tridimensional de armas y Bioética: implicaciones para la humanidad. *Revista Arbitrada Venezolana Del Núcleo de La Costa Oriental Del Lago*, 15(1), 1–16.

Mercado, A., & Vessuri, H. (2023). El conocimiento científico y tecnológico en la estrategia de aprovechamiento de los recursos naturales para el desarrollo integral de UNASUR.

Ologia *Industrialization,* 69–121.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34768283/2014_Young_Foro_UNASUR_Ciencia-libre.pdf?1410966000=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DConservacion_de_la_biodiversidad_freno_o.pdf&Expires=1720547087&Signature=TkaIRDJ~38fPvbm7fL4NENDs~6pmoWU39~RM-nZMOBr2qANzxYWFbgNLjr-YdyygVHAc5f~uPntVFRQae~l9xgz-I8ZJc9jKs0fF0QuNkVldvIFI37dTzUtyOEvYoe4GX7Rv-4q94pl1V~v7utDspZ1SWxrJ2p5PC4i2Nir4M8FVwn9upc-wggb-U61SYgSRRBB3h7DPYzK66NrCk~pCLkdwkWMexip16xB4jBVeU~fW7jPeQZtSo2-10lqe4djZH01VPo9T6tAN4-XghTUZ33pZrNyQUt-xeO1eetjkpJNTcIrXdVxBrmsQicstUiDGjMIBY0GUH9G2k66iadXMYg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=70

MERCOSUR. (2022). *Cooperación internacional del MERCOSUR*. Mercosur.
<https://www.mercosur.int/cooperacion-internacional-del-mercotur/>

Minambiente. (1994). *Convenio sobre Diversidad Biológica*.
<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-internacionales/convenios-sobre-biodiversidad/#:~:text=El%20Convenio%20de%20Diversidad%20Biol%C3%B3gica,del%20uso%20de%20la%20biodiversidad.>

Minambiente. (2024). *Organismos Genéticamente Modificados*.
<https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/organismos-geneticamente-modificados/>

- Moreira Guimarães, L. J., Machado Durães, F. O., Pastina, M. M., Noda, R. W., Netto Parentoni, S., Oliveira Guimarães, P. E., Dos Santos Trindade, R., & Zambrano, J. L. (2022). Hitos tecnológicos que cambiaron el rol de Brasil en la producción de maíz: 30 años de crecimiento para convertirse en importante actor del escenario mundial, una revisión. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, *14*(1), 1–20. <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605>
- Nair, A. J. (2008). Principles of biotechnology. *Laxmi Publications*.
- Orozco-Ugarriza, M. E. (2019). Reflexiones sobre la Biotecnología en Colombia. *RIADS: Revistas de Investigación Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, *4*(1), 7–8.
- Realpe, M. E., & Cano, J. (2020). Amenazas Cibernéticas a la Seguridad y Defensa Nacional. Reflexiones y perspectivas en Colombia. In *Seguridad Informática. X Congreso Iberoamericano, CIBSI 2020*. Universidad del Rosario. <https://doi.org/10.12804/si9789587844337.10>
- Reinoso, A. F., Torres, J. M., & Zegarra, T. K. P. (2023). Impacto de las cláusulas de transferencia tecnológica e innovación en los acuerdos comerciales regionales. *Economía Aplicada*, *27*(1), 111–132. <https://doi.org/10.11606/1980-5330/ea188330>
- Rincón, L. A. C., & Venegas, Y. R. (2023). Seguridad en los contextos de amenaza biológica. *Ciencia y Poder Aéreo*, *18*(1), 73–85.
- Rocha, P. (2024). Negocios de la bioeconomía a partir de aplicaciones biotecnológicas (bioinsumos, transgénicos, entre otras). In *Estado y perspectiva de los desarrollo*

tecnológicos y productivos de la bioeconomía en América Latina y el Caribe. (Vol. 1, pp. 107–114).

Rodríguez, L. (2020). La Disrupción de las Gigantes Tecnológicas - Emergencia Digital. *Universidad Central de Venezuela*, 1–24.

Ruggieri, V., & Arberas, C. (2022). Mecanismos epigenéticos involucrados en la génesis del autismo. *Epigenética y Autismo*, 23(1), 48–53.

Salas, G. R. (2022). Biotecnología en los procesos de integración sudamericanos. *Universidad Nacional de Córdoba y Universidad Blas Pascal*, 1–22.

Sasa Marín, M. (2021). Instituto Clodomiro Picado: cincuenta años de contribuciones científicas. *Yulök Revista de Innovación Académica*, 4(2), 10–28.
<https://doi.org/10.47633/yulk.v4i2.316>

Scharre, P. (2021). Debunking the AI arms race theory. *Texas National Security Review*.

Souza Blech, C., & Cogo, P. (2021). *Desenvolvimento de um processo biotecnológico com bactérias lácticas para produção de iogurte com alergenidade de reduzida.*
www.up.edu.br

Spencer, R., Pryce, J. M., & Walsh, J. (2014). Philosophical approaches to qualitative research. *The Oxford handbook of qualitative research*, 81-98.

Stubrin, L. (2022). Un análisis del crecimiento de la actividad biotecnológica en la Argentina en clave sistémica . *Desarrollo Económico*, 62(236), 50–78.

Triana, S., Cobos, F., Gómez, J., & Pérez, I. (2023). Perspectivas de los cultivos transgénicos y su aporte en la agricultura. *Journal of Science and Research*, 9(1), 65–79.

Troncoso Palominos, P. S. (2019). *El rol de la industria biotecnológica en la sofisticación y diversificación de la matriz productiva chilena-dificultades y propuestas para su desarrollo.*

Velo, A. B., & Perrotta, D. V. (2020). La cooperación científica y tecnológica entre el MERCOSUR y la Unión Europea. *Rev. Secr. Trib. Perm. Revis.*, 8(16), 117–144.
<https://doi.org/10.16890/rstpr.a8.n16.p117>

Verre, V., Milesi, D., & Petelski, N. (2023). Relación con la industria y beneficios intelectuales para la ciencia: La investigación conjunta y el servicio de investigación en Argentina. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, 18(54), 67–91.

Vilchis-Peluyera, A., Alba-Lois, L., Cancino-Rodezno, A., Escobar-Sánchez, V., Segal-Kischinevzky, C., & Valdés-López, V. (2018). El desarrollo de la biología molecular en América Latina: Los casos de Argentina, Brasil, Cuba y México. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 101–111.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.147>

Villa Ariza, D. (2024). *Estrategias para fortalecer el intercambio comercial de Colombia con América Latina y el Caribe.*
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/53538/2024danielavilla.pdf?sequence=1>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications.