Año 2025, Vol. 22, Nº 1, pp. 49 - 70.
DOI: https://doi.org/10.35628/resup.v16i2.157

Del laboratorio al campo de batalla: la Biotecnología como arma estratégica contra el Bioterrorismo en Perú

From the laboratory to the battlefield: Biotechnology as a strategic weapon against Bioterrorism in Peru

Recibido: 22 de febrero del 2025 | Aceptado: 26 de mayo del 2025

Joshelyn M. Paredes Zavala
https://orcid.org/0009-0004-0310-6561

Ingeniera Biotecnóloga, Máster en Gestión Ambiental por la Universidad de New South Wales (Australia), con más de 15 años de experiencia en investigación y docencia universitaria. Ha trabajado en más de 30 países, liderando proyectos de conservación y remediación, incluyendo su participación en expediciones científicas en la Antártida y la implementación de la primera planta biológica de tratamiento de aguas residuales en Perú. Fundadora de iniciativas como Plastic War y Sumajg Warmi, preside el Comité Científico de la Marina de Guerra del Perú. Destacada estudiante del CEDEYAC, Promoción 44

Email: jparedesz@ucsp.edu.pe

Resumen: Las amenazas emergentes como el bioterrorismo, representan uno de los mayores desafíos para la seguridad nacional en el siglo XXI. En un contexto donde patógenos peligrosos pueden ser liberados intencionalmente, el impacto de un ataque bioterrorista podría ser devastador para la salud pública, la economía y la estabilidad nacional. En el Perú, la preparación ante estas amenazas resulta crucial. Con un país que enfrenta riesgos de brotes naturales, así como potenciales conflictos a futuro que incluyan posibles amenazas biológicas, es vital fortalecer la defensa ante estas nuevas formas de agresión, en especial en un país como Perú, con recursos económicos limitados y una infraestructura de salud pública que aún enfrenta importantes desafíos.

La biotecnología juega un rol esencial en la detección e identificación de amenazas biológicas. Gracias a los avances en técnicas moleculares y de secuenciación

Escuela Superior de Guerra Naval - 2025
Articulo licenciado con la Licencia Internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 .
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

genética, es posible detectar patógenos con alta precisión y rapidez, permitiendo que los sistemas de bioseguridad actúen con inmediatez. La capacidad para identificar agentes bioterroristas es el primer paso en la contención de estos riesgos y el desarrollo de respuestas estratégicas que incluyan sistemas de diagnóstico rápido para proteger a la población. Además de la detección, la biotecnología es fundamental para la contención y la implementación de contramedidas ante amenazas biológicas. Enfrentar un posible ataque bioterrorista requiere de una respuesta integral, donde se desarrollen terapias, vacunas y métodos de inmunización específicos para agentes patógenos identificados. Estas contramedidas permiten no solo contener la propagación, sino también neutralizar posibles ataques con una respuesta de salud pública coordinada y precisa, reduciendo así el impacto en la población y el sistema de salud.

A nivel global, instituciones como el 'National Biodefense Analysis and Countermeasures Center' (NBACC) de Estados Unidos, y la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) con su programa 'Science for Peace and Security' lideran los esfuerzos para enfrentar el bioterrorismo. La NBACC investiga agentes de bioterrorismo y contribuye en el desarrollo de capacidades forenses, mientras que la OTAN y la Organización Mundial de la Salud (OMS) trabajan en la planificación de respuestas internacionales, apoyando a los países en el manejo de crisis biológicas. Asimismo, INTERPOL colabora en la capacitación de fuerzas de seguridad y en la gestión de incidentes bioterroristas, fortaleciendo la respuesta global ante estas amenazas.

Para Perú, el desarrollo de capacidades biotecnológicas y de investigación en bioseguridad es esencial para una defensa nacional moderna y efectiva. La creación de un Centro Nacional de Biotecnología en Perú, que investigue tanto los riesgos como las aplicaciones de la biotecnología para la seguridad y defensa nacional, podría ser un paso estratégico. Invertir en laboratorios de alta seguridad, capacitar a especialistas y establecer protocolos de respuesta, permitiría fortalecer la protección del país frente a posibles ataques bioterroristas y otros riesgos biológicos. Este enfoque proactivo no solo fortalecería la seguridad, sino que también posicionaría a Perú como referente en bioseguridad en la región.

Como Ingeniera Biotecnóloga, mi contribución a la Defensa Nacional en este contexto es realmente significativa. Este artículo será pionero a nivel nacional en abordar la biotecnología como estrategia contra el bioterrorismo. En un entorno de creciente sofisticación tecnológica y amenazas complejas, mi trabajo aspira a fortalecer la capacidad del país para mitigar los riesgos de bioterrorismo y proteger tanto la salud pública como la seguridad nacional. Es así que este artículo marcará

un hito en la integración de la ciencia en la defensa, estableciendo un modelo de referencia que podría guiar futuras políticas y fortalecer la seguridad del Perú frente a amenazas biológicas.

Palabras clave: Bioterrorismo, biotecnología, Defensa Nacional, bioseguridad, Perú.

Abstract: *Emerging threats such as bioterrorism, represent one of the greatest challenges to national security in the 21st century. In a context where dangerous pathogens can be intentionally released, the impact of a bioterrorist attack could be devastating to public health, the economy, and national stability. In Peru, preparation for these threats is crucial. With a country facing risks of natural outbreaks, as well as potential future conflicts that could include possible biological threats, it is vital to strengthen defense against these new forms of aggression, especially in a country like Peru, with limited economic resources and a public health infrastructure that still faces significant challenges.*

Biotechnology plays an essential role in the detection and identification of biological threats. Thanks to advances in molecular and genetic sequencing techniques, it is possible to detect pathogens with high precision and speed, allowing biosecurity systems to act immediately. The ability to identify bioterrorist agents is the first step in containing these risks and developing strategic responses that include rapid diagnostic systems to protect the population. In addition to detection, biotechnology is essential for the containment and implementation of countermeasures against biological threats. Facing a possible bioterrorist attack requires a comprehensive response, where therapies, vaccines and specific immunization methods are developed for identified pathogens. These countermeasures allow not only to contain the spread, but also to neutralize possible attacks with a coordinated and precise public health response, thus reducing the impact on the population and the health system.

At a global level, institutions such as the United States' National Biodefense Analysis and Countermeasures Center (NBACC) and the North Atlantic Treaty Organization (NATO) with its Science for Peace and Security program lead efforts to confront bioterrorism. The NBACC investigates bioterrorism agents and contributes to the development of forensic capabilities, while NATO and the World Health Organization (WHO) work on planning international responses, supporting countries in managing biological crises. INTERPOL also collaborates

in the training of security forces and in the management of bioterrorist incidents, strengthening the global response to these threats.
For Peru, the development of biotechnology and biosecurity research capabilities is essential for a modern and effective national defense. The creation of a National Biotechnology Center in Peru, which could investigate both the risks and applications of biotechnology for national security and defense, could be a strategic step. Investing in high-security laboratories, training specialists and establishing response protocols would allow strengthening the country's protection against possible bioterrorist attacks and other biological risks. This proactive approach would not only strengthen security but would also position Peru as a benchmark in biosecurity in the region.
As a Biotechnology Engineer, my contribution to National Defense in this context is truly significant. This article will be a pioneer at the national level in addressing biotechnology as a strategy against bioterrorism. In an environment of increasing technological sophistication and complex threats, my work aims to strengthen the country's capacity to mitigate bioterrorism risks and protect both public health and national security. This article will thus mark a milestone in the integration of science into defense, establishing a reference model that could guide future policies and strengthen Peru's security against biological threats.

Keywords: *Bioterrorism, biotechnology, National Defense, biosecurity, Peru.*

1. INTRODUCCIÓN

Imagine un ataque silencioso y devastador, donde el enemigo no porta armas visibles, sino microorganismos capaces de generar pandemias masivas. Este es el rostro del bioterrorismo en el siglo XXI. Desde el ataque con ántrax en Estados Unidos en 2001, que infectó a 22 personas y causó 5 muertes (Kosal, 2019), hasta el creciente acceso a tecnologías de edición genética como CRISPR, las amenazas biológicas se han convertido en una preocupación global, donde el mundo de hoy se enfrenta al riesgo inminente de que agentes biológicos sean utilizados como armas de destrucción en masa. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), más de 30 agentes biológicos, entre ellos Bacillus anthracis y la toxina botulínica, son considerados prioritarios para su posible uso en bioterrorismo. En un mundo globalizado, donde una enfermedad puede propagarse en cuestión de horas, estas amenazas representan un riesgo tangible para la seguridad nacional e internacional.

En el caso del Perú, los desafíos son aún mayores. La región enfrenta limitaciones significativas en términos de infraestructura de bioseguridad y protocolos de respuesta ante emergencias biológicas. Estudios recientes destacan que América Latina, incluido Perú, carece de sistemas robustos para enfrentar un posible ataque bioterrorista (Latorre et al., 2022). Con un sistema de salud pública frágil y recursos limitados, las consecuencias de un ataque podrían ser catastróficas, afectando la salud pública, la economía y la estabilidad social. Además, la falta de capacitación especializada y de laboratorios de nivel de bioseguridad 3 o 4 limita la capacidad de respuesta ante agentes altamente patogénicos. En este contexto, abordar el bioterrorismo desde la perspectiva de la defensa nacional no es solo una necesidad, sino una obligación estratégica.

Este artículo representa un esfuerzo pionero: es el primer trabajo que analiza la biotecnología como un arma estratégica en la defensa nacional frente al bioterrorismo en Perú. Su relevancia radica no solo en destacar las amenazas actuales, sino en proponer soluciones concretas para fortalecer la soberanía nacional a través de la integración de ciencia, tecnología y estrategias de seguridad. Con ello, se busca sentar las bases para futuras políticas, investigaciones y alianzas que permitan al Perú enfrentar este desafío global con solidez y resiliencia.

2. ANÁLISIS

2.1 Bioterrorismo: Amenazas y Desafíos Globales

El bioterrorismo, definido como el uso intencional de microorganismos patógenos o toxinas para causar daño masivo a la población, la economía o las instituciones, representa una de las formas más complejas y silenciosas de agresión en el siglo XXI. Según Franz et al. (1997), este tipo de amenaza combina la letalidad de las armas de destrucción masiva con el factor sorpresa de los ataques encubiertos, generando un impacto que puede superar el de las guerras convencionales.

A lo largo de la historia, se han documentado eventos que revelan la devastación causada por el uso deliberado de agentes biológicos como armas. Desde su uso en conflictos medievales hasta los riesgos actuales asociados a la biología sintética, el bioterrorismo sigue siendo una amenaza latente y multifacética.

A lo largo de la historia, el uso de agentes biológicos como herramientas de guerra ha dejado huellas profundas. Uno de los primeros ejemplos históricos data del siglo XIV, durante el asedio de Caffa en la península de Crimea. El ejército mongol, afectado por la peste bubónica, catapultó los cadáveres de sus soldados infectados sobre las murallas de la ciudad defendida por los genoveses. Este acto

no solo diezmó a los defensores, sino que también contribuyó, según algunos historiadores, a la propagación de la Muerte Negra que arrasó con más del 30% de la población europea en aquel siglo (Wheelis, 2002).

En 1763, durante la rebelión de Pontiac en Norteamérica, oficiales británicos ofrecieron mantas infectadas con viruela a las tribus nativas americanas como estrategia para debilitar su resistencia. Este evento, documentado en correspondencias históricas, es uno de los primeros casos registrados de guerra biológica deliberada en el continente americano (Fenn, 2000).

Otro ejemplo destacado ocurrió durante la Primera Guerra Mundial, cuando Alemania desarrolló un programa de sabotaje biológico. Agentes alemanes utilizaron Bacillus anthracis y Burkholderia mallei para infectar caballos y mulas destinados a los ejércitos aliados. Aunque este programa tuvo un impacto limitado, marcó uno de los primeros intentos de usar agentes biológicos en un conflicto moderno (Wheelis, 1999).

Otro caso impactante fue el de la Unidad 731 del Ejército Imperial Japonés durante la Segunda Guerra Mundial. En esta instalación secreta, ubicada en Manchuria, se realizaron experimentos atroces con prisioneros, incluyendo la liberación deliberada de patógenos como la peste bubónica, el ántrax y el cólera en poblaciones civiles. Estas pruebas biológicas llevaron a la muerte de decenas de miles de personas y demostraron el potencial devastador de los agentes biológicos cuando se utilizan como armas (Harris, 2002).

Asimismo, el incidente de 1984 en Oregón, donde el grupo religioso Rajneeshee contaminó alimentos con Salmonella typhimurium, infectó a más de 750 personas, destacando cómo actores no estatales también pueden emplear estas tácticas con facilidad (Torok et al., 1997).

En la era contemporánea, la biología sintética ha añadido una nueva dimensión a las amenazas biológicas. En el 2018, un equipo de científicos recreó en laboratorio el virus de la viruela equina utilizando técnicas de síntesis genética. Aunque la investigación tenía fines médicos, como el desarrollo de vacunas, demostró que es posible recrear virus extintos o diseñar agentes patógenos con características específicas utilizando tecnología accesible (Kupferschmidt, 2018). Este avance generó debates éticos y preocupaciones sobre la posibilidad de que actores malintencionados usen la biología sintética para crear armas biológicas más letales y resistentes a tratamientos existentes.

Estos ejemplos, tanto históricos como contemporáneos, señalan la persistente amenaza del bioterrorismo y la evolución de las tecnologías que podrían amplificar su impacto. La capacidad de crear o modificar organismos patógenos plantea

desafíos significativos para la seguridad global y exige una respuesta integral que combine avances científicos con políticas sólidas de bioseguridad.

Entre los agentes biológicos con mayor potencial para ser usados en bioterrorismo se encuentran *Bacillus anthracis* (ántrax), *Yersinia pestis* (peste), el virus de la viruela y la toxina botulínica. La OMS clasifica estos agentes como de "alto riesgo" debido a su facilidad de producción, alta mortalidad y capacidad de propagación (OMS, 2022). En un contexto de creciente acceso a tecnologías como CRISPR, que permite la manipulación genética de microorganismos, el riesgo de que estos agentes sean modificados para aumentar su letalidad o resistencia se ha convertido en una preocupación global (Koblentz, 2015).

Las consecuencias de un ataque bioterrorista son devastadoras y multifacéticas. Desde el colapso de los sistemas de salud pública hasta la disrupción de la economía y el pánico social, el impacto trasciende la mortalidad inmediata. Durante el brote de ántrax en el 2001, las instituciones de salud pública fueron sobrecargadas y la economía sufrió pérdidas significativas debido a la interrupción de actividades clave y al alto costo de las contramedidas (Franz et al., 1997). En países en desarrollo, como Perú, estas consecuencias serían aún más pronunciadas debido a la falta de infraestructura y recursos para enfrentar emergencias biológicas de esta magnitud.

Es por ello que para el Perú los desafíos son significativos. Según un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2021), el país carece de laboratorios de bioseguridad de nivel 3 o 4, necesarios para manejar patógenos altamente peligrosos. Además, los protocolos nacionales de respuesta ante emergencias biológicas aún están en etapas iniciales de desarrollo, y la capacitación en bioseguridad para el personal médico y científico es limitada. Estas brechas convierten al país en un objetivo vulnerable frente a posibles ataques bioterroristas, donde la falta de una respuesta inmediata podría magnificar el impacto en términos de mortalidad, desestabilización económica y desconfianza social.

Enfrentar el bioterrorismo no solo implica entender sus riesgos, sino también invertir en capacidades científicas, infraestructura y cooperación internacional para fortalecer la bioseguridad. En este sentido, la biotecnología emerge como un aliado estratégico, capaz de transformar el panorama actual y ofrecer herramientas para detectar, contener y mitigar estas amenazas.

2.2 El Rol Estratégico de la Biotecnología en la Defensa Contra el Bioterrorismo

En un mundo donde las amenazas biológicas continúan evolucionando, la biotecnología se ha convertido en una herramienta clave para la defensa contra

el bioterrorismo. Su capacidad para innovar en la detección, respuesta y análisis forense frente a agentes biológicos no solo fortalece la seguridad nacional, sino que también posiciona a los países en la vanguardia de la preparación ante emergencias biológicas.

Este apartado explora tres pilares fundamentales en los que la biotecnología desempeña un rol estratégico: 1) su papel en la detección y diagnóstico de amenazas biológicas mediante tecnologías avanzadas como la secuenciación genética y CRISPR; 2) su contribución en la respuesta, contención y desarrollo de contramedidas, destacando los avances en terapias, vacunas y plataformas innovadoras como el ARN mensajero; y 3) su aplicación en el análisis forense biológico, esencial para atribuir la fuente de un ataque y garantizar la justicia.

Cada uno de estos tópicos refleja cómo la integración de la biotecnología en los sistemas de defensa puede transformar nuestra capacidad de enfrentar las amenazas del futuro con rapidez, precisión y resiliencia.

2.3 La Biotecnología en la Detección y Diagnóstico de Amenazas Biológicas

En el campo de la defensa contra el bioterrorismo, la detección y el diagnóstico temprano de agentes biológicos son componentes críticos. La biotecnología ha revolucionado estas áreas al proporcionar herramientas avanzadas que permiten identificar patógenos de manera rápida, precisa y eficiente, marcando la diferencia entre contener una amenaza biológica o enfrentar una crisis masiva de salud pública.

Herramientas biotecnológicas: secuenciación genética, CRISPR y bioinformática

La secuenciación genética de nueva generación (NGS, por sus siglas en inglés) se ha convertido en una herramienta indispensable en la detección de patógenos. Esta tecnología permite descifrar el material genético de microorganismos en cuestión de horas, lo que resulta clave en emergencias biológicas. Durante el brote de Ébola en África Occidental (2014-2016), NGS se utilizó para rastrear mutaciones del virus en tiempo real, lo que ayudó a las autoridades sanitarias a implementar estrategias de contención efectivas (Gire et al., 2014).

El sistema CRISPR, conocido por su capacidad para editar genes, también se ha adaptado como una herramienta diagnóstica rápida. Plataformas como SHERLOCK (Specific High-sensitivity Enzymatic Reporter Unlocking) utilizan CRISPR para detectar secuencias genéticas específicas de patógenos con alta sensibilidad y especificidad. Por ejemplo, esta tecnología permitió identificar rápidamente el virus SARS-CoV-2 durante la pandemia de COVID-19,

demostrando su utilidad para responder a amenazas emergentes (Joung et al., 2020).

La bioinformática complementa estas tecnologías al analizar grandes volúmenes de datos genómicos. Los algoritmos de aprendizaje automático pueden predecir la evolución de patógenos y su resistencia a medicamentos, ayudando a diseñar estrategias proactivas para mitigar su impacto. En este sentido, el desarrollo de bases de datos genómicas globales, como GISAID, permite el intercambio rápido de información genética de patógenos, un recurso invaluable para la detección temprana y la cooperación internacional (Shu & McCauley, 2017).

Ejemplos de identificación rápida en crisis anteriores

La biotecnología ha demostrado su eficacia en varias crisis recientes. En el 2001, durante el ataque bioterrorista con ántrax en Estados Unidos, las técnicas de PCR (reacción en cadena de la polimerasa) permitieron identificar las esporas de *Bacillus anthracis* en cuestión de horas. Esta respuesta rápida fue esencial para iniciar tratamientos y prevenir la propagación de la infección (Jernigan et al., 2002).

Otro caso significativo ocurrió en el 2018, cuando un brote de fiebre hemorrágica por el virus de Marburgo en Uganda fue identificado mediante una combinación de secuenciación genética y sistemas portátiles de diagnóstico. Este enfoque permitió aislar a los infectados y contener el brote en menos de un mes, evitando una catástrofe mayor (Amman et al., 2020).

Importancia del diagnóstico temprano

El diagnóstico temprano es la piedra angular para contener la propagación de patógenos en ataques bioterroristas. Identificar rápidamente al agente biológico permite no solo aplicar contramedidas médicas, sino también proteger a las comunidades mediante el aislamiento de casos y la implementación de medidas de bioseguridad. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la detección temprana puede reducir hasta en un 70% el impacto de una emergencia biológica en términos de mortalidad y costos asociados (WHO, 2021).

En el Perú, la implementación de estas tecnologías aún es limitada, lo que representa un desafío para la defensa nacional. Sin embargo, el desarrollo de laboratorios especializados y la capacitación de personal en técnicas

biotecnológicas pueden transformar la capacidad del país para responder a amenazas biológicas de manera efectiva. La integración de herramientas como CRISPR y bioinformática en los sistemas de vigilancia epidemiológica nacional sería un paso estratégico hacia la seguridad biológica.

2.4 La Biotecnología en la Respuesta, Contención y Contramedidas

Ante un ataque bioterrorista, la rapidez y eficacia en la respuesta pueden marcar la diferencia entre contener un brote o enfrentar una crisis de proporciones catastróficas. La biotecnología desempeña un papel fundamental en esta fase, proporcionando herramientas avanzadas para desarrollar vacunas, terapias y otros métodos de inmunización que permitan proteger a la población, contener la propagación y neutralizar amenazas biológicas específicas.

Desarrollo de vacunas, terapias y métodos de inmunización específicos

En el pasado, el desarrollo de vacunas era un proceso que podía tardar décadas. Sin embargo, los avances biotecnológicos han revolucionado esta dinámica, permitiendo la creación de vacunas específicas en tiempo récord. Durante la pandemia de COVID-19, las plataformas de ARN mensajero (ARNm) demostraron su potencial al producir vacunas en menos de un año, un logro sin precedentes en la historia de la medicina (Jackson et al., 2020). Este enfoque también es aplicable en escenarios de bioterrorismo, ya que permite diseñar vacunas dirigidas a agentes biológicos específicos con alta eficiencia.

En paralelo, la ingeniería de anticuerpos monoclonales ha sido una herramienta clave para desarrollar terapias dirigidas. Ejemplos recientes incluyen tratamientos para el Ébola, como el REGN-EB3, que combina tres anticuerpos específicos para neutralizar el virus de manera efectiva (Mulangu et al., 2019). Este tipo de tecnología podría adaptarse para enfrentar amenazas biológicas emergentes o diseñadas deliberadamente por bioterroristas.

Producción rápida de contramedidas mediante plataformas de ARN mensajero

Las plataformas de ARNm no solo son rápidas en el diseño de vacunas, sino también extremadamente flexibles. Permiten codificar en el ARN las instrucciones necesarias para que las células humanas produzcan antígenos específicos de un patógeno, estimulando una respuesta inmune robusta. En un escenario de bioterrorismo, estas plataformas podrían utilizarse para desarrollar vacunas contramedidas en cuestión de semanas, proporcionando una ventaja crucial en términos de tiempo (Pardi et al., 2018).

Además, la biotecnología permite la producción a gran escala mediante bioreactores y sistemas automatizados, asegurando que estas contramedidas estén

disponibles rápidamente para la población afectada. Las tecnologías emergentes, como los bioprintings de vacunas, también podrían jugar un papel estratégico en el futuro, ofreciendo soluciones descentralizadas en caso de ataques a gran escala.

El rol de los bancos de datos genéticos y la bioingeniería

Los bancos de datos genéticos globales, como GenBank y GISAID, son herramientas críticas en la respuesta biotecnológica. Estos repositorios contienen secuencias genómicas de miles de patógenos conocidos, lo que permite a los científicos comparar rápidamente muestras sospechosas y diseñar contramedidas específicas. Por ejemplo, durante el brote de Zika en el 2016, el acceso a datos genéticos permitió rastrear la evolución del virus y diseñar estrategias de contención más efectivas (Faria et al., 2016).

La bioingeniería amplía estas capacidades al permitir la modificación y optimización de compuestos biológicos para aumentar su eficacia y estabilidad. Los biosensores genéticos, diseñados para activarse en presencia de agentes biológicos específicos, son un ejemplo de cómo la biotecnología puede integrarse en sistemas de defensa avanzada, actuando como una alerta temprana y facilitando una respuesta coordinada.

Un enfoque integrado para enfrentar amenazas biológicas

La combinación de estas tecnologías crea un enfoque integral que no solo permite la neutralización de agentes biológicos, sino que también protege la salud pública y mitiga los impactos sociales y económicos. En el Perú, el desarrollo de capacidades locales en biotecnología y el establecimiento de alianzas internacionales serían pasos clave para implementar estas soluciones. La integración de plataformas de ARNm, bancos de datos genéticos y bioingeniería en los planes de defensa nacional podría posicionar al país como un referente en bioseguridad en la región.

2.5 La Biotecnología en el Análisis Forense Biológico

El análisis forense biológico es un componente crucial en la defensa contra el bioterrorismo, ya que permite atribuir de manera precisa la fuente de un ataque biológico, facilitando la respuesta adecuada y la justicia. La biotecnología juega un papel esencial en este campo, proporcionando las herramientas necesarias para identificar los agentes patógenos involucrados y rastrear su origen. Gracias a los avances en secuenciación genética, bioinformática y otros métodos innovadores, la biotecnología ha transformado la capacidad de realizar investigaciones forenses precisas y rápidas, lo que resulta fundamental en el contexto de un ataque bioterrorista.

Investigación para atribuir la fuente de los ataques

En un ataque bioterrorista, la capacidad de identificar el agente biológico responsable y rastrear su origen es crucial no solo para contener la propagación, sino también para asegurar que los responsables sean llevados ante la justicia. Los métodos tradicionales de investigación forense, como la identificación visual o la identificación de patógenos mediante cultivos, pueden ser lentos y poco efectivos en un escenario donde el tiempo es esencial. Aquí es donde la biotecnología, y específicamente las técnicas de secuenciación genética, tienen un impacto profundo.

La secuenciación del ADN permite obtener información precisa sobre las características genéticas de los agentes biológicos, lo que facilita la identificación del patógeno incluso cuando se encuentra en concentraciones bajas. Un ejemplo clave de cómo esta tecnología puede ser utilizada, es el análisis de cepas bacterianas de *Bacillus anthracis*, el agente causante del *ántrax*, utilizado en el ataque bioterrorista del 2001 en los Estados Unidos. Mediante la secuenciación genética, los investigadores pudieron rastrear la cepa específica utilizada en los ataques y vincularla con un laboratorio militar, lo que fue esencial para resolver el caso (Fischer et al., 2002).

La secuenciación genética y su rol en el análisis forense

La secuenciación de nueva generación (NGS, por sus siglas en inglés) ha revolucionado el análisis forense, permitiendo secuenciar miles de millones de fragmentos de ADN en pocas horas. Esta tecnología no solo acelera la identificación de patógenos, sino que también ofrece información detallada sobre su variabilidad genética. A través de NGS, se puede identificar rápidamente si un patógeno ha sido alterado genéticamente, lo que puede ser crucial para determinar si un agente biológico ha sido manipulado con fines terroristas (Gardy et al., 2011).

La secuenciación también es utilizada para comparar muestras de agentes biológicos con bases de datos globales de secuencias genéticas, como GenBank o GISAID, facilitando la rápida identificación de las cepas involucradas en un ataque bioterrorista. En casos de emergencias, como los brotes de enfermedades emergentes o ataques deliberados, esta capacidad de identificar rápidamente el agente causante es vital para una respuesta efectiva.

Bioinformática y herramientas de análisis avanzado

La bioinformática ha hecho posible el análisis de grandes volúmenes de datos genéticos generados a partir de muestras biológicas. Herramientas informáticas especializadas pueden analizar las secuencias de ADN de un patógeno y compararlas con secuencias previamente almacenadas en bases de datos, identificando rápidamente su origen y características genéticas. Además, la bioinformática también permite modelar la propagación de un patógeno y prever cómo podría evolucionar, lo que es crucial para diseñar estrategias de contención.

El análisis de mutaciones genéticas específicas mediante bioinformática también facilita la detección de bioterrorismo. Las modificaciones en la secuencia genética de un patógeno pueden ser una señal clara de que se ha alterado intencionalmente en un laboratorio, lo que permite a los investigadores rastrear el origen del ataque y comprender las motivaciones detrás de la acción terrorista.

Casos recientes y el potencial de la biotecnología en el análisis forense

Un ejemplo reciente del poder de la biotecnología en el análisis forense fue la identificación del brote de Salmonella en los Estados Unidos en el 2015, donde se utilizaron tecnologías de secuenciación para determinar que la cepa de Salmonella enterica involucrada en el brote era de origen alimentario, descartando la hipótesis de un ataque bioterrorista. Sin embargo, en el caso de ataques bioterroristas, herramientas como la secuenciación genética pueden ser clave para descubrir cómo un agente biológico ha sido liberado y, en su caso, para identificar las fuentes de la amenaza.

La capacidad de realizar análisis forenses con precisión y rapidez es esencial para la respuesta ante el bioterrorismo. Los avances en biotecnología proporcionan a las autoridades herramientas avanzadas para enfrentar estos desafíos y tomar decisiones informadas sobre las acciones a seguir. En el contexto de la defensa nacional, fortalecer la infraestructura de bioseguridad y forense con estas tecnologías podría significar la diferencia entre una respuesta efectiva y un caos social y económico.

2.6 Experiencias y Avances Internacionales

El bioterrorismo es una amenaza global, y diversos países han implementado estrategias robustas para enfrentarlo. A nivel mundial, se han desarrollado enfoques integrales para mejorar la preparación, la respuesta y la prevención ante ataques biológicos, involucrando a diversas instituciones internacionales y nacionales. A través de programas de investigación, coordinación y contramedidas, las experiencias globales pueden servir como modelo para fortalecer la seguridad y

bioseguridad en el Perú, dada la creciente amenaza de los agentes biológicos en la región.

NBACC en Estados Unidos: Investigación y Contramedidas

El National Biodefense Analysis and Countermeasures Center (NBACC) en Estados Unidos es una de las instituciones más avanzadas en la lucha contra el bioterrorismo. Creado en el 2003, el NBACC tiene como misión desarrollar y evaluar contramedidas contra agentes biológicos y otros riesgos de defensa biológica. A través de la investigación de patógenos y el análisis de vulnerabilidades de infraestructuras críticas, el centro ha sido fundamental para generar herramientas de diagnóstico rápido y desarrollar tratamientos antivirales, vacunas y medidas de protección para la población civil en caso de un ataque.

Un ejemplo destacado de su trabajo es la creación de simulaciones detalladas para evaluar el impacto de agentes bioterroristas, como Anthrax (Bacillus anthracis) y Plague (Yersinia pestis), con el fin de determinar la eficacia de diferentes contramedidas. Estas simulaciones permiten a los responsables de la seguridad pública y las autoridades de salud pública anticiparse a posibles amenazas, asegurando una respuesta rápida y eficaz (Fischer et al., 2002). La experiencia del NBACC es un referente mundial para la investigación de bioterrorismo y la creación de contramedidas.

OTAN: Programas de Seguridad Biológica como "Science for Peace and Security"

La Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) también ha reconocido la importancia de la seguridad biológica en el marco de la defensa colectiva. A través de su programa Science for Peace and Security (SPS), la OTAN ha promovido la colaboración internacional en la investigación y el desarrollo de capacidades frente a amenazas biológicas. Este programa tiene como objetivo mejorar la preparación ante emergencias biológicas mediante la creación de plataformas de colaboración científica, la capacitación de personal y el fortalecimiento de capacidades nacionales para manejar crisis biológicas.

Uno de los logros clave de la OTAN es su Biological Threat Reduction Program, que trabaja en estrecha colaboración con países aliados y no aliados para fortalecer sus capacidades de detección, diagnóstico y respuesta ante amenazas biológicas. A través de este programa, la OTAN ha apoyado a países en el establecimiento de laboratorios de alta seguridad, mejorando sus capacidades para identificar y

contener agentes biológicos (Aksamentov et al., 2010). La integración de la OTAN en la lucha contra el bioterrorismo refuerza la idea de que la defensa biológica debe ser un esfuerzo colaborativo y multidimensional.

OMS e INTERPOL: Coordinación Global en Respuesta a Emergencias Biológicas

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la INTERPOL son dos actores clave en la respuesta global a emergencias biológicas y bioterrorismo. La OMS, con su mandato en la salud global, coordina la respuesta internacional a brotes de enfermedades y ataques biológicos, brindando asistencia técnica y logística a los países afectados. Además, trabaja estrechamente con las autoridades de salud pública y las fuerzas de seguridad en la implementación de estrategias de control, tratamiento y prevención.

La INTERPOL, por su parte, juega un papel fundamental en la cooperación internacional para la gestión de incidentes bioterroristas. Su Bioterrorism Unit ha diseñado protocolos de respuesta ante amenazas biológicas y facilita la cooperación entre las fuerzas policiales de diferentes países, asegurando una comunicación fluida y el intercambio de información crítica durante emergencias. La INTERPOL también apoya el entrenamiento de personal para reconocer las señales de un ataque bioterrorista y coordinar los esfuerzos internacionales de respuesta (INTERPOL, 2019). La colaboración entre estas dos organizaciones ha demostrado ser fundamental para coordinar las acciones ante emergencias globales, como el brote de Ébola en el 2014 o la pandemia de COVID-19.

2.7 Lecciones Aprendidas y Su Aplicabilidad al Contexto Peruano

Las experiencias internacionales en la lucha contra el bioterrorismo ofrecen lecciones valiosas que pueden ser aplicadas al contexto peruano. En primer lugar, la creación de infraestructuras robustas para la investigación y respuesta ante amenazas biológicas, como los centros de investigación avanzada y laboratorios de alta seguridad, es esencial para enfrentar posibles ataques bioterroristas. A través de la cooperación internacional, Perú podría beneficiarse del intercambio de conocimiento y recursos de instituciones como el NBACC o el programa Science for Peace and Security de la OTAN.

La implementación de sistemas de monitoreo y diagnóstico rápido, como los utilizados en Estados Unidos, permitiría al Perú identificar y contener rápidamente cualquier amenaza biológica, minimizando el impacto en la salud pública y la seguridad nacional. La experiencia de la OMS e INTERPOL en la coordinación

global en tiempos de crisis también sería crucial para el establecimiento de un protocolo nacional que garantice una respuesta efectiva a emergencias biológicas.

En términos de fortalecimiento institucional, es fundamental que el Perú invierta en la capacitación y el desarrollo de capacidades nacionales en biotecnología y bioseguridad, siguiendo los ejemplos internacionales de colaboración y desarrollo conjunto. El reciente informe del Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN) titulado "Amenaza de bioterrorismo con patógenos modificados" (2023) destaca la creciente vulnerabilidad del país frente a este tipo de amenazas y la necesidad urgente de fortalecer el sistema de bioseguridad a través de medidas proactivas, inversiones sostenidas y un enfoque intersectorial. Esta evidencia respalda la importancia de integrar la biotecnología como herramienta estratégica en la defensa nacional.

A través de un enfoque integrado y colaborativo, Perú no solo podría mejorar su preparación y respuesta ante amenazas biológicas, sino también posicionarse como un referente regional en defensa biológica y bioseguridad, asegurando una protección más efectiva para su población y su soberanía frente a los desafíos emergentes del siglo XXI.

2.8 Brechas y Oportunidades para el Perú: La Urgencia de Fortalecer las Capacidades Biotecnológicas en Perú

En el contexto actual de creciente incertidumbre global, el Perú se enfrenta a desafíos significativos en términos de su capacidad para responder a amenazas bioterroristas. La globalización, los cambios climáticos y las tensiones internacionales elevan el riesgo de que agentes biológicos puedan ser utilizados con fines destructivos. Sin embargo, la infraestructura biotecnológica y de bioseguridad en el país aún presenta debilidades, lo que plantea una vulnerabilidad frente a potenciales ataques bioterroristas. Es imperativo que Perú se prepare para enfrentar estos riesgos fortaleciendo sus capacidades biotecnológicas, que no solo son cruciales para la defensa nacional, sino también para la mejora de la salud pública y la seguridad alimentaria en el futuro.

2.9 Situación Actual del País en Términos de Capacidades Biotecnológicas y Bioseguridad

A pesar de contar con un creciente sector biotecnológico en áreas como la agricultura, la minería y la medicina, el Perú aún se enfrenta a limitaciones significativas en cuanto a las capacidades tecnológicas y de investigación para abordar las amenazas biológicas. La falta de infraestructuras avanzadas de

investigación en bioseguridad y de equipos de respuesta rápida para la detección de patógenos representa un riesgo potencial. Además, la infraestructura sanitaria del país, aunque ha mejorado en las últimas décadas, aún carece de los recursos y la preparación necesarios para enfrentar un ataque bioterrorista de gran escala.

Según el informe de la Global Bioterrorism Preparedness Index (GBPI), el Perú se encuentra en una posición media en términos de preparación ante emergencias biológicas, con brechas evidentes en la capacidad de diagnóstico rápido, la producción de contramedidas y la protección de infraestructuras críticas (World Bank, 2020). Esta situación demanda la implementación de medidas urgentes que fortalezcan las capacidades nacionales en biotecnología y bioseguridad.

2.10 Propuestas Específicas para Fortalecer las Capacidades Biotecnológicas en Perú

Creación de un Centro Nacional de Biotecnología

La creación de un Centro Nacional de Biotecnología dedicado a la investigación y el desarrollo de tecnologías de defensa biológica es esencial para fortalecer las capacidades nacionales en biotecnología. Este centro debe ser un referente para la investigación en diagnóstico, contramedidas, y bioseguridad, y debería colaborar estrechamente con universidades, organismos internacionales y el sector privado. Este espacio permitirá además coordinar esfuerzos interinstitucionales para enfrentar las amenazas biológicas y garantizar una respuesta más ágil y eficaz.

Ejemplo de este tipo de centros de investigación es el National Biodefense Analysis and Countermeasures Center (NBACC) en Estados Unidos, que ha sido fundamental para el desarrollo de contramedidas biológicas en ese país. La creación de un centro similar en el Perú sería un paso estratégico hacia la autarquía en términos de defensa biológica y desarrollo tecnológico (Fischer et al., 2002).

Inversión en Infraestructura de Laboratorios de Nivel de Bioseguridad

La infraestructura en bioseguridad debe ser uno de los pilares fundamentales de la respuesta del país ante amenazas biológicas. Invertir en la creación y modernización de laboratorios con niveles adecuados de bioseguridad (BSL-3 y BSL-4) es urgente para que el país cuente con instalaciones capaces de investigar y manejar patógenos peligrosos sin riesgo para la población o el medio ambiente. Laboratorios como el CDC (Centers for Disease Control and Prevention) en los Estados Unidos, que operan bajo estrictos protocolos de seguridad, son ejemplos de la infraestructura necesaria para manejar patógenos de alto riesgo. Estos laboratorios no solo son fundamentales para la investigación, sino también para la formación de profesionales altamente capacitados en bioseguridad y biotecnología.

Perú podría beneficiarse enormemente de la construcción de estas instalaciones de alta seguridad para hacer frente a las crecientes amenazas biológicas.

Capacitación de Profesionales Especializados en Bioseguridad y Biotecnología

La capacitación de personal especializado en bioseguridad y biotecnología es un componente esencial para garantizar que el país pueda responder eficazmente a un ataque bioterrorista. A través de programas de formación y la creación de maestrías o doctorados en biotecnología aplicada a la defensa, se pueden generar recursos humanos altamente capacitados para desarrollar tecnologías avanzadas y coordinar respuestas en situaciones de crisis. La colaboración con instituciones internacionales de investigación también puede facilitar el intercambio de conocimiento y mejores prácticas en el ámbito de la bioseguridad. De acuerdo con un informe de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (2016), los países con programas sólidos de capacitación en biotecnología y bioseguridad tienen un nivel de preparación mucho mayor ante emergencias biológicas. La inversión en formación de talento humano es una de las claves para que Perú se convierta en un referente en la defensa biológica regional.

2.11 Beneficios de Integrar la Biotecnología como Pilar en las Políticas de Defensa Nacional

La integración de la biotecnología como un pilar central en las políticas de defensa nacional no solo mejoraría la preparación ante el bioterrorismo, sino que también proporcionaría ventajas estratégicas en áreas como la seguridad sanitaria y la protección de los ecosistemas. Un país con capacidades avanzadas en biotecnología es capaz de reaccionar de manera más eficiente a amenazas emergentes, desde pandemias hasta el uso de patógenos como armas biológicas.

Por ejemplo, las tecnologías basadas en el uso de ARN mensajero (mRNA), que han sido fundamentales en el desarrollo de vacunas contra COVID-19, tienen un gran potencial para la producción rápida de contramedidas frente a nuevos agentes bioterroristas. Invertir en este tipo de tecnologías podría proporcionar a Perú la capacidad de generar respuestas inmediatas ante emergencias sanitarias, reduciendo el tiempo de reacción y mitigando los efectos de un posible ataque.

A su vez, la biotecnología aplicada a la defensa nacional podría tener impactos positivos en el desarrollo económico, al fomentar la innovación en sectores como la salud, la agricultura y la industria farmacéutica, áreas clave para la seguridad alimentaria y la autonomía en términos de producción de vacunas y fármacos.

La creación de infraestructura biotecnológica de vanguardia en Perú también fortalecería su posición como un líder en bioseguridad en América Latina.

2.12 Ciencia y Estrategia: La Biotecnología al Servicio de la Defensa Nacional

La biotecnología, a pesar de ser una disciplina tradicionalmente vinculada a áreas como la salud, la agricultura y el medio ambiente, tiene un potencial aún no completamente explorado en el ámbito de la defensa nacional. En el Perú, este campo ha sido, hasta ahora, subutilizado en la gestión de amenazas biológicas como el bioterrorismo. Este artículo, escrito por una Ingeniera Biotecnóloga, egresada del Curso de Dirección Estratégica para la Defensa y Administración de Crisis (CEDEYAC) de la Marina de Guerra del Perú, se presenta como una contribución pionera para la integración de la biotecnología en las políticas y estrategias de defensa nacional del país.

La biotecnología, con su capacidad para detectar, diagnosticar y neutralizar agentes patógenos, ofrece un valor estratégico que podría transformar la forma en que se enfrentan las amenazas biológicas en el contexto de la seguridad nacional. A través de este trabajo, se destaca la necesidad de incorporar la biotecnología como una herramienta esencial dentro de las políticas de defensa, ya que representa una ventaja clave frente a riesgos biológicos emergentes.

La autora, al integrar sus conocimientos en biotecnología con la formación estratégica adquirida en el Curso de Dirección Estratégica para la Defensa y Administración de Crisis – CEDEYAC – dictado por la Marina de Guerra del Perú, ha logrado crear una visión innovadora que vincula estos dos campos aparentemente dispares. La colaboración entre la ciencia avanzada y la defensa nacional es fundamental para fortalecer la capacidad del país para hacer frente a los desafíos biológicos del futuro. Este enfoque interdisciplinario, que aún no se ha explorado de manera profunda en Perú, abre una nueva área de innovación que podría transformar la seguridad nacional del país.

Este artículo busca establecer un marco de referencia para futuras políticas de bioseguridad y defensa biológica en Perú. A través de la integración de la biotecnología, se pretende construir una estrategia nacional robusta que permita una respuesta rápida y eficaz ante amenazas biológicas, posicionando al Perú como un referente en la defensa frente a riesgos bioterroristas. La biotecnología, por lo tanto, no solo se presenta como un campo científico relevante, sino como una pieza estratégica clave en la protección de la seguridad nacional.

3. CONCLUSIONES

La biotecnología, como herramienta clave en la lucha contra el bioterrorismo, ha demostrado su capacidad para transformar la forma en que los países enfrentan

las amenazas biológicas. La detección temprana de patógenos, el desarrollo de contramedidas como vacunas y terapias, y el análisis forense biológico son componentes fundamentales que pueden marcar la diferencia en la protección de la salud pública y la seguridad nacional. A través de los avances tecnológicos, como la secuenciación genética y las plataformas de ARN mensajero, la biotecnología se presenta no solo como un campo científico de vanguardia, sino como un componente estratégico esencial en las políticas de defensa y bioseguridad.

Para el Perú, este es un momento clave para fortalecer su sistema de bioseguridad. El país aún enfrenta importantes desafíos en términos de infraestructura y capacidades en biotecnología, lo que requiere un esfuerzo concertado para cerrar las brechas existentes. La creación de centros especializados, la inversión en infraestructura de laboratorios de alto nivel de seguridad y la capacitación de profesionales en bioseguridad y biotecnología son pasos cruciales para asegurar que Perú esté preparado ante los riesgos biológicos que puedan surgir. Este esfuerzo no solo fortalecería la capacidad de respuesta del país ante el bioterrorismo, sino que también posicionaría a Perú como un referente regional en la defensa contra amenazas biológicas.

El llamado a la acción es claro: es urgente que Perú invierta en la investigación y el desarrollo de políticas públicas que integren la biotecnología como un pilar fundamental en la defensa nacional. Solo a través de un enfoque proactivo, que combine la ciencia, la tecnología y la estrategia de defensa, el país podrá construir un sistema de bioseguridad robusto y sostenible. Es imperativo que tanto las autoridades como los actores del sector privado y académico trabajen de manera colaborativa para impulsar la innovación y la formación de profesionales especializados que permitan enfrentar con eficacia los riesgos biológicos del futuro.

Con este artículo, se busca iniciar un diálogo crucial sobre el rol estratégico de la biotecnología en la defensa nacional, con la esperanza de que sirva como base para futuras políticas, proyectos y estrategias que fortalezcan la seguridad de Perú frente a los desafíos emergentes en el ámbito bioterrorista. El futuro de la defensa nacional dependerá, en gran medida, de la capacidad de integrar el conocimiento científico avanzado, como la biotecnología, en las decisiones estratégicas de seguridad del país.

Ha llegado el momento de que Perú eleve su mirada y actúe con una visión de futuro proactiva y basada en evidencia científica. Ante riesgos biológicos cada vez más sofisticados y transnacionales, nuestra mejor defensa es la inteligencia, la ciencia y la capacidad estratégica de anticiparnos. Apostar por la biotecnología no es solo una decisión técnica, es un acto de soberanía, de responsabilidad intergeneracional y de compromiso con la vida. Que este llamado inspire a todos los sectores a sumar esfuerzos y consolidar una arquitectura de bioseguridad robusta, resiliente y sostenible. El Perú tiene la capacidad de forjar una nueva narrativa: la de una nación que no teme a los desafíos del siglo XXI, sino que los enfrenta con agudeza, innovación y determinación. Que esta generación sea recordada no solo por los desafíos que enfrentó, sino por la grandeza de las soluciones que impulsó. El momento es ahora —y el Perú está listo.

Referencias

Amman, B. R., et al. (2020). Marburg Virus Outbreak Associated with Ritual Burial in Uganda, 2018. *Emerging Infectious Diseases*.

Aksamentov, M., et al. (2010). *The Role of NATO's Science for Peace and Security Programme in Biological Threat Reduction. International Journal of Biological Sciences*.

Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN). (2023). *Amenaza de bioterrorismo con patógenos modificados*. Observatorio Nacional de Prospectiva. Recuperado de https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/C6

Faria, N. R., et al. (2016). Zika virus in the Americas: Early epidemiological and genetic findings. *Science*.

Fenn, E. A. (2000). Biological Warfare in Eighteenth-Century North America: Beyond Jeffrey Amherst. *The Journal of American History*.

Fischer, J. R., et al. (2002). The Role of Forensic Genetics in the Investigation of Bioterrorism. *Journal of Forensic Sciences*.

Franz, D. R., Jahrling, P. B., Friedlander, A. M., McClain, D. J., Hoover, D. L., Bryne, W. R., Pavlin, J. A. (1997). Clinical Recognition and Management of Patients Exposed to Biological Warfare Agents. *JAMA*.

Gardy, J. L., et al. (2011). *Whole-genome sequencing and its application to infectious disease. Clinical Microbiology and Infection*.

Gire, S. K., et al. (2014). Genomic surveillance elucidates Ebola virus origin and transmission during the 2014 outbreak. *Science*.

Harris, S. (2002). Factories of Death: Japanese Biological Warfare, 1932-1945, and the American Cover-Up. Routledge.

INTERPOL. (2019). Bioterrorism and Biological Threats: The Role of INTERPOL in Crisis Response. INTERPOL *Annual Review*.

Jackson, N. A. C., et al. (2020). The promise of mRNA vaccines: a biotech and industrial perspective. *NPJ Vaccines*.

Jernigan, J. A., Stephens, D. S., Ashford, D. A., et al. (2002). Bioterrorism-related inhalational anthrax: The first 10 cases reported in the United States. *Emerging Infectious Diseases*.

Joung, J., et al. (2020). Detection of SARS-CoV-2 with SHERLOCK diagnostics. *Nature Biotechnology*.

Koblentz, G. D. (2015). The biodefense bandwagon: Strengthening global health security. *Journal of Global Health*.

Kosal, M. E. (2019). *Bioterrorism and Biotechnology: Preparing for the Future*. Springer.

Kupferschmidt, K. (2018). How Canadian researchers reconstituted an extinct poxvirus for $100,000 using mail-order DNA. *Science*.

Latorre, F., et al. (2022). "Biodefense in Latin America: Challenges and Opportunities." *Journal of Biosecurity and Public Health*.

Mulangu, S., et al. (2019). A randomized, controlled trial of Ebola virus disease therapeutics. *The New England Journal of Medicine*.

National Academy of Sciences. (2016). *Biotechnology and Biosecurity: Challenges and Opportunities. National Academy Press*.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). *Health Emergency and Preparedness*. Disponible en: www.who.int

Pardi, N., et al. (2018). mRNA vaccines — a new era in vaccinology. Nature Reviews Drug Discovery.

Shu, Y., & McCauley, J. (2017). GISAID: Global initiative on sharing all influenza data – from vision to reality. *EuroSurveillance*.

Torok, T. J., Tauxe, R. V., Wise, R. P., et al. (1997). A large community outbreak of salmonellosis caused by intentional contamination of restaurant salad bars. *JAMA*.

Wheelis, M. (1999). Biological sabotage in World War I. *The Biological Weapons Convention Bulletin*.

Wheelis, M. (2002). Biological warfare at the 1346 siege of Caffa. *Emerging Infectious Diseases*.

WHO. (2021). Strengthening Preparedness for High-Impact Biological Threats. Disponible en: www.who.int.

World Bank. (2020). *Global Bioterrorism Preparedness Index*.