

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA BIOLÓGICA, ANÁLISIS DE DOCTRINA Y TÉCNICAS ACTUALES

TENIENTE CORONEL ALEXANDER BETZHOLD FORMIGLI¹

Resumen: *después de la pandemia de COVID-19, la doctrina de defensa biológica, dentro del marco CBRN (chemical, biological, radiological and nuclear) en el ámbito militar de Estados Unidos y Europa, debió cambiar y evolucionar a un concepto y sistema de protección más eficiente contra agentes desconocidos, que asegure mantener la operatividad, mientras se logra identificar aquel nuevo microorganismo o toxina. En consecuencia, este artículo analiza este nuevo paradigma como elemento base para el desarrollo futuro de la Fuerza Terrestre, donde la innovación y tecnología asumen un rol protagónico y pueden significar una brecha y vulnerabilidad.*

Palabras claves: *biológico, defensa, CBRN, innovación, tecnología.*

Abstrac: *after the COVID-19 pandemic, the biological defense doctrine, within the CBRN (chemical, biological, radiological and nuclear) scope in the military sphere of the United States and Europe, had to change and evolve into a more protective concept and system. efficient against unknown agents, which ensures maintaining operability, while the new microorganism or toxin is identified. Consequently, this article analyzes this new paradigm, as a base element for the future development of the Land Force, where innovation and technology assume a leading role and can generate a gap and vulnerability.*

Keywords: *biological, defense, CBRN, innovation, technology.*

INTRODUCCIÓN

Después de la pandemia de COVID-19, el sector Defensa de la Unión Europea y Estados Unidos, agrupados en la NATO (North Atlantic Treaty Organization/ Organización del Tratado del Atlántico Norte, OTAN), reconocieron que no estaban preparados para enfrentar agentes biológicos nuevos y desconocidos y tuvieron que reformular su doctrina de defensa CBRN (chemical, biological, radio-

1 Médico Veterinario (Universidad de Chile), Magíster en Gestión y Planificación Ambiental, Especialista CBRN (Deutsches Heer-ABC/SeS, US Marine Corps-CBIRF), jefe del Depto. II "Veterinaria" de la Jefatura de Sanidad Militar (DIVSAL-JESAM).

logical and nuclear/química, biológica, radiológica y nuclear), específicamente en el ámbito de la detección, identificación y protección contra este tipo de amenaza.²

En términos generales, si una fuerza militar se enfrenta a agentes biológicos en operaciones de guerra o distintas a la guerra, queda expuesta a sufrir bajas de no combate, que van desde la enfermedad hasta la muerte, con efecto de reducción del personal operativo, en forma transitoria o permanente, requiriendo tecnología para protegerse e identificar el peligro, el que puede ser de tipo desconocido.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo del presente artículo será describir los cambios en la doctrina NATO CBRN, después de la pandemia COVID-19, y su aplicación mediante el desarrollo e innovación tecnológica de vanguardia, para la identificación de agentes biológicos de importancia militar, como parte del concepto de defensa biológica y desarrollo de la Fuerza Terrestre.

DESARROLLO

Antigua doctrina CBRN-2018 y defensa biológica en operaciones militares

Las armas biológicas corresponden al uso de agentes biológicos vivos o modificados, para causar enfermedad en forma intencional, en contraposición a los principios y prohibiciones de la Convención de Armas Biológicas y Toxinas (*BWC, Biological and Toxins Weapon Convention*).³

Un buen ejemplo de su aplicación, señalado por los autores; Masthan, Shanmugam, Karthi, Aravindha, son los virus de fiebres hemorrágicas, pequeños virus de ARN (ácido ribonucleico) envueltos por lípidos, de los cuales algunos de las familias Arena y Filo viridae se atribuyen a armas biológicas fabricadas por la Unión Soviética (Marburg, Ébola, Lassa y Junín) y Estados Unidos (Fiebre Amarilla y Fiebre del Valle del Rift),⁴ y se asocian con bioterrorismo.

En el caso de Argentina, el virus Junín o fiebre hemorrágica argentina, tiene una transmisión natural asociada al contacto con excretas de roedores infectados y fue la base de una vacuna desarrollada en conjunto con Estados Unidos,⁵ país que la utiliza como eventual protección en su Ejército.⁶

2 NATO. Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Defence Policy, 2022; DEPARTMENT OF DEFENCE (DOD), The Army Biological Defense Strategy, United States Army, 2021, p. IV, 3.

3 Disponible en: <https://disarmament.unoda.org/biological-weapons/>

4 MASTHAN, Kader; SHANMUGAM, Karthi; ARAVINDHA, Babu and BHATTACHARJEE, Tathagata. "Virus as a biological-weapon". International Research Journal of Microbiology (IRJM) vol. 2(6), June 2012, p. 238.

5 ENRIA, Delia; AMBROSIO, Ana; BRIGGILER, Ana; FEUILLADE, Maria; CRIVELL, Eleonora. "Vacuna contra la fiebre hemorrágica argentina CANDID N° 1 producida en la Argentina, inmunogenicidad y seguridad". Medicina, vol. 70 N° 3, Buenos Aires, Argentina, 2010. pp. 216.

6 GRABENSTEIN, John; PITTMAN, Phillip; GREENWOOD, John; ENGLER, Renata. Immunization to Protect the U.S. Armed Forces: Heritage, Current Practice, Prospects, Army Surgeon General's Office, 2005, p. 18.

Hasta la aparición, el año 2019, de la pandemia de SARS (*Severe acute respiratory syndrome*/síndrome respiratorio agudo grave) COVID (Coronavirus tipo 2), la estrategia militar de los ejércitos NATO para enfrentar amenazas biológicas se basaba en equipos especializados, con escasos instrumentos portátiles de diagnóstico en terreno, lo que obligaba a la toma de muestras y envío a laboratorio para su identificación, con un tiempo de espera para obtener resultados, siempre que el agente biológico fuera conocido y se contara con técnicas de laboratorio para identificarlo, lo que no ocurrió en un comienzo con el COVID.

Esta doctrina clásica hasta el 2018, se basaba en una clasificación del CDC (*Center of Diseases Control*/ Centro para el control de enfermedades), respecto de la peligrosidad de agentes biológicos conocidos, con métodos de identificación y técnicas preestablecidas, y la capacidad de generar una alerta y respuesta de acuerdo a la confirmación de un determinado microorganismo o toxina.⁷



Figura N° 1: Ejercicio de muestreo de agentes biológicos, por US Marine Corps, en Okinawa, Japón, marzo de 2017 (previo a pandemia COVID-19).

Fuente: KASZETA, Dan. "Good detection is good protection, missions and technologies in CBRN detection", European Security and Defence, June 2023, Mittel Report Verlag GmbH, Bonn, Germany, p. 63.

Nueva doctrina CBRN-2022 y cambios en la defensa biológica militar

Posterior a la pandemia del COVID-19 del año 2020, Estados Unidos fue cuestionado en su capacidad militar para enfrentar la amenaza⁸ y tuvo que desarrollar una nueva Estrategia de Defensa Biológica del Ejército⁹, el año 2021; que dicha pandemia demostró fallas en la capacidad del Ejército para enfrentar

7 CIESLAK, Theodore; KORTEPETER, Mark; WOJTYK, Ronald; JANSEN, Hugo; REYES, Ricardo; SMITH, James. "Beyond the Dirty Dozen: A Proposed Methodology for Assessing Future Bioweapon Threats". *Military Medicine*, vol. 183, January-February 2018, p. 63.

8 MAURONI, AL. "On Biological War". *Military Review*, May-June 2022, Army University Press, pp. 29, 36.

9 DEPARTMENT OF DEFENSE (DOD). *The Army Biological Defense Strategy*. United States Army, 2021, p. IV, 3.

y sobreponerse a amenazas biológicas y plantea que Rusia, China y Corea del Norte tienen capacidades avanzadas en ciencias biológicas y tecnología, que permiten producir armas en base a agentes biológicos tradicionales y otros diseñados.

En la misma línea de análisis, el grupo de desarrollo CBRN de NATO, reconoció el año 2022 que la doctrina vigente al 2018, no fue suficiente para ejecutar una respuesta militar eficaz frente a la aparición del COVID-19, proponiendo un nuevo enfoque, basado en innovación y tecnología, para enfrentar agentes biológicos desconocidos, con menor impacto operacional, logístico y sanitario, concepto que fue plasmado en una nueva política de defensa CBRN, de la siguiente forma:¹⁰

“El riesgo de amenazas biológicas naturales o accidentales también puede aumentar la complejidad del entorno de seguridad. La pandemia de COVID-19 ha demostrado la extraordinaria capacidad de las amenazas biológicas, independientemente de su origen, para perturbar nuestras sociedades y poner a prueba nuestra capacidad de respuesta en todos los ámbitos. Los agentes biológicos, incluidos los patógenos existentes y modificados, también plantean desafíos únicos y duraderos a las operaciones de la OTAN, ya que las fuerzas desplegadas se enfrentan a la perspectiva del uso deliberado de agentes biológicos por actores hostiles, la liberación accidental y el contacto con enfermedades endémicas e importadas. También se espera que el cambio climático y las tendencias asociadas aceleren la aparición de enfermedades zoonóticas, incluidas las posibles amenazas de pandemia. Estos riesgos se entrecruzan con la proliferación de armas de destrucción masiva, ya que actores maliciosos pueden emplear, mejorar o convertir en armas nuevos patógenos y toxinas naturales”.

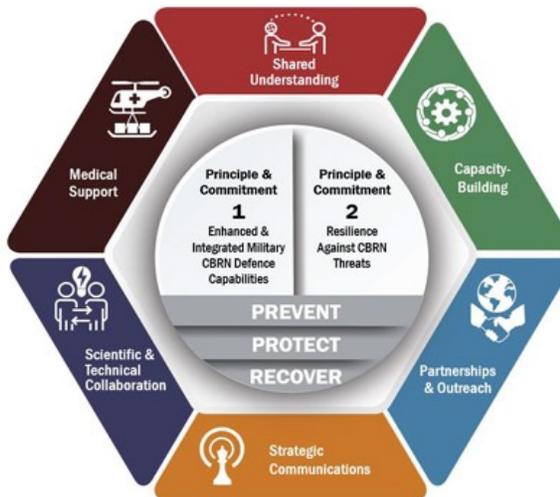


Figura N° 2: Esquema de la política de defensa CBRN de la OTAN año 2022.

Fuente: NATO, CBRN Defence Policy, 2022.

10 NATO. Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Defence Policy, 2022.

En relación a la situación actual de la amenaza por agentes biológicos desconocidos, una investigación publicada el año 2024,¹¹ describe que Rusia mantiene vigente el antiguo programa de investigación en “defensa biológica” de la ex Unión Soviética, con objetivos relacionados con métodos para identificar agentes biológicos e indicios de ataque biológico y para desarrollar y probar sistemas de campo de detección de agentes biológicos que un enemigo pueda emplear.

Además, dicha investigación plantea que ya el año 2016, el Ministerio de Defensa de Rusia se refería a una nueva generación de “Armas Genéticas”,¹² que son aquellas “capaces de dañar el aparato genético (hereditario) de las personas. Si se asume que algunos virus pueden servir de ingrediente activo, estos virus poseen actividad mutagénica (con la capacidad de causar cambios hereditarios” y pueden ser introducidos en cromosomas celulares, que contienen ADN e incluso mutaciones químicas, tomados desde fuentes naturales por síntesis química o métodos biotecnológicos. El resultado primario del uso de armas genéticas es causar daño y cambios en la estructura primaria del ADN, pudiendo causar enfermedades graves y de transmisión hereditaria.

Finalmente, el estudio concluye que, para enfrentar adecuadamente esta amenaza, NATO debe asegurarse de que la política de defensa CBRN encaje o se ensamble a la “realidad moderna” y que no hacerlo oportunamente dejaría a los ejércitos en un “estado vulnerable”,¹³ frente a cambios tecnológicos, nuevos tipos de agentes biológicos y métodos de liberación.



Figuras N° 3 y N° 4: Ejemplos de innovación: a la izquierda ejercicio CBRN del Ejército Popular Chino, 2021, con simulación de exposición a agentes biológicos y empleo de máscaras, filtros, guantes y trajes de última generación; a la derecha, robot “Cerberus”, prototipo UGV (unmanned ground vehicle/ vehículo terrestre no tripulado), para identificación y toma de muestras de agentes biológicos y químicos, del Chemical Biological Incident Response Force (CBIRF) Marines Corp, 2023.

Fuente: MAURONI, AL. “On Biological War”, Military Review, May-June 2022, Army University Press.¹⁴

11 PORTER, Jason. Russian Chemical and Biological Weapons: Limiting the Effects of Russian CBW Pr Russian CBW Programs on NATO Security Through 2035, MSU (Missouri State University) Graduate Theses, p. 35

12 *Ibidem*, p. 45.

13 *Ibidem*, p. 75.

14 MAURONI, AL. *Op. cit.*, p. 31. CLARK, Joseph. “DOD Chemical, Biological Defense Program Adapts to Emerging Threats as it Marks 30-Year Anniversary”. US Department of Defense, 2023.

En la misma sintonía, la doctrina NATO para contrarrestar armas de destrucción masiva, CWMD (*countering weapons of mass destruction*), identifica y establece “líneas de esfuerzo” para la comprensión del ambiente, amenazas y vulnerabilidades, que incluyen capacidades de localización, identificación, caracterización, evaluación, atribución (origen o fuente) y predicción de amenazas biológicas.¹⁵

Este nuevo enfoque militar respecto de la defensa biológica también se ha extendido al de seguridad interior, es así que la Dirección de Ciencia y Tecnología del Departamento de Seguridad Interior de Estados Unidos, establece el año 2024,¹⁶ un foco en programas de contramedidas para riesgos biológicos, incluyendo caracterización de la amenaza y transición de nuevas tecnologías, estrategias y procedimientos, soporte multicapa, sistema de alerta, prevención, vigilancia, detección, respuesta y recuperación, frente a la introducción intencional o accidental de agentes biológicos que amenacen la seguridad nacional, por vía respiratoria, dérmica o digestiva.

Innovación tecnológica en defensa biológica

La doctrina CBRN de la EDA (European Defense Agency/ Agencia Europea de Defensa), del año 2022,¹⁷ menciona las siguientes definiciones, respecto de la capacidad de detectar, identificar, monitorear y muestrear amenazas biológicas:

- Detección: indicación por cualquier medio, de la presencia de una sustancia CBRN, en concentraciones nocivas para los seres humanos.
- Identificación: es el reconocimiento de una sustancia CBRN específica que surge de un incidente CBRN. Hay tres niveles de identificación con distintos grados de fiabilidad: provisional, confirmada e inequívoca.
- Monitoreo y vigilancia: capacidad de determinar de forma continua o periódica la presencia o ausencia de un peligro CBRN y puede realizarse sobre el personal, el equipo, el terreno o las instalaciones.
- Muestreo: el muestreo complementa la identificación y es la recuperación para el análisis de sustancias CBRN y dispositivos, materiales, artefactos y rastros relacionados.

15 AJP-3.23 (Allied Joint Publication), Edition A, Versión 1, Allied Joint Doctrine for Countering Weapons of Mass Destruction in Military Operations, NATO Standardization Agency (NSA), North Atlantic Treaty Organization, publicada el 28 de septiembre de 2023, p. 8, [en línea]. Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6513e7b43d371800146d0c32/AJP_3_23_NATO_Countering_WMD_EdAV1.pdf.

16 DEPARTMENT OF HOMELAND SECURITY (DHS). Chemical and Biological Defense, 2024, [en línea]. Disponible en: <https://www.dhs.gov/archive/science-and-technology/chemical-and-biological-defense>.

17 EUROPEAN DEFENCE AGENCY (EDA). Edstar (European Defence Standards Reference System, Expert Group N° 1), Chemical Biological Radioactive Nuclear Defence, Final Report, Recommendations on best practice standards for CBRN Defence, Brussels, 2022, p. 7.

Según el objetivo del muestreo y los activos/equipos de muestreo disponibles, el muestreo se divide en tres tipos: táctico, operativo y forense. El muestreo debe ser realizado por especialistas CBRN o personal especialmente capacitado y equipado con equipo específico.

Según la doctrina conjunta de operaciones CBRN de Estados Unidos, publicada el año 2018¹⁸ y validada el 2020,¹⁹ los conceptos anteriormente enunciados se aplican en los siguientes cuatro tipos de diagnóstico de agentes biológicos, que corresponden al tipo presuntivo, confirmativo de campo, validación en teatro y definitivo:

- Presuntivo: es el empleo de tecnologías con especificidad y sensibilidad limitadas por parte de fuerzas convencionales en un entorno de campo para determinar la presencia de un peligro CBRN con un bajo nivel de confianza y el grado de certeza necesario para respaldar decisiones tácticas inmediatas.
- Confirmativo de campo (en el terreno): es el empleo de tecnologías con mayor especificidad y sensibilidad por parte de las fuerzas técnicas en un entorno sobre el terreno para identificar peligros CBRN con un nivel moderado de confianza y el grado de certeza necesario para respaldar las decisiones tácticas de seguimiento.
- Validación en teatro: es el empleo de múltiples protocolos y tecnologías independientes establecidos por expertos científicos en el ambiente controlado de un laboratorio fijo o móvil/transportable para caracterizar un peligro CBRN con un alto nivel de confianza y el grado de certeza necesario para apoyar decisiones a nivel operativo.
- Identificación definitiva: es el empleo de múltiples protocolos y tecnologías establecidos, independientes y de última generación, por expertos científicos en un laboratorio nacional, para determinar la identidad inequívoca de un agente CBRN con el más alto grado de confianza y certeza necesarios para respaldar las decisiones a nivel estratégico.

A nivel de NATO, la doctrina CBRN año 2022, plantea que las tecnologías emergentes y disruptivas (*EDTs: emerging and disruptive technologies*) y de “uso dual”, configuran un entorno de seguridad cada vez más diverso, con nuevos procesos que escapan del control internacional de materiales y equipos, bajo la figura de investigación avanzada, incluyendo nanotecnología, biología sintética y manufactura aditiva (bioensamblaje 3D), que permitan desarrollar armas

18 JP-3-11 (Joint Publication), Operations in chemical, biological, radiological and nuclear environments, Joint Chiefs of Staff (CJCS), USA. Publicada el 29 octubre 2018, p. B-8. [en línea].

19 Disponible en <https://rdl.train.army.mil/catalog-ws/view/100.ATSC/8AEE4D81-9A8E-4BB0-A647-ED3BB37AF1D6-1506714671391/report.pdf>.

más letales y capaces de evadir la detección, resistir la descontaminación y contramedidas médicas, capaces de utilizar nuevos métodos de dispersión y contagio.²⁰

Para financiar la innovación en defensa biológica, el año 2021 la EDA destinó una importante cantidad de recursos para investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de detección, identificación y monitoreo (DIM) de agentes biológicos (BIODIM),²¹ tales como:

- Metodologías para la identificación y caracterización de agentes en muestras biológicas complejas, incluidos los procedimientos de muestreo.
- Tecnologías novedosas y/o disruptivas, por ejemplo, el desarrollo de detectores en plataformas no convencionales y el uso de IA (inteligencia artificial) para detectar agentes biológicos.

Las bases técnicas de dicho financiamiento señalaban que *“los desafíos generales para los equipos DIM de alto rendimiento (separados, puntuales, integrados y/o de uso personal, UxV, dispositivos móviles o en infraestructuras críticas) son abordar y mejorar parámetros de rendimiento como el tiempo de respuesta, la sensibilidad, la selectividad y los falsos positivos/ características falsas negativas. Además, es necesario mejorar la capacidad de detectar, identificar y caracterizar agentes peligrosos desconocidos en un entorno complejo. Además, son importantes características operativas como la robustez, el tamaño, la movilidad, el consumo de energía y la posibilidad de implementar/integrar amplia y fácilmente el equipo en diferentes entornos y situaciones. Además, se requiere capacidad de muestreo para diferentes matrices (aire, agua, suelo, superficies), así como la capacidad de tener una cadena de custodia confiable, como parte integrada del proceso DIM. Finalmente, los equipos DIM deben ser manejables por personal militar sin formación científica”*.

En forma más específica, aquellas bases mencionan que *“un desafío específico con B-DIM es que los microorganismos como virus patógenos, bacterias, hongos y protozoos, o toxinas, deben detectarse o identificarse sin ambigüedades en presencia de un fondo natural no patógeno alto y variable. La detección remota y/o alejada, así como el monitoreo continuo para activar una alerta de posibles amenazas biológicas, es un desafío. Otro desafío es la capacidad de identificar patógenos u organismos raros e inesperados que hayan sido modificados (genéticamente), lo que elude ciertos métodos de identificación específicos”*.

20 NATO (North Atlantic Treaty Organization), NATO's Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Defence Policy. Publicada el 5 de julio de 2022, p. 5.

21 EUROPEAN DEFENCE FUND (EDF). 2021-MCBRN-R-CBRNDIM, Detection, identification and monitoring (DIM) of CBRN threats, 2021.

La misma agencia (EDA), en su informe del JIP (*Joint Investment Program/ Programa conjunto de inversiones*) de Protección CBRN del año 2022,²² señala que la próxima generación de detección de agentes biológicos se basa en las siguientes tres tecnologías:

- IPODS (detección mediante espectrometría de masas MALDI-TOF unicelular vinculada a un sistema rápido de detección inmune), cuyo objetivo es la “conciencia situacional CBRN” y “detección de puntos biológicos” en entornos de campo y urbanos, y en operaciones.
- RAMBO (detección mediante combinación de espectroscopía Raman mejorada de superficie con fagos y PCR), basado en métodos avanzados, instrumentación y estrategias/protocolos de detección para el monitoreo continuo del aire y partículas contra amenazas biológicas.
- BIOTIPO (detección mediante tecnología de laboratorio en chip de anticuerpos con circuitos integrados fotónicos), consistente en un sistema de sensores para la detección e identificación temprana de amenazas biológicas (virus, bacterias, toxinas, etc.).

Otro ejemplo del estado del arte, del año 2024, lo presenta el USAMRIID (*United States Army Medical Research Institute of Infectious Diseases/ Instituto médico de investigación de enfermedades infecciosas del Ejército de Estados Unidos*), que cuenta con el programa FIBWA (*Field Identification of Biological Warfare Agents/ Identificación en terreno de agentes de guerra biológica*).²³

Los cursos especiales del programa FIBWA consideran entrenamiento militar en las siguientes técnicas de detección e identificación de agentes biológicos:

1. WGS: MiSeq, MinIon.

- WGS (whole genomic sequencing/ secuenciación del genoma completo), es un proceso de laboratorio para determinar la secuencia de ADN (ácido desoxirribonucleico) y el orden de nucleótidos, permitiendo encontrar cambios o mutaciones.
- MiSeq System es un equipo portátil comercial del laboratorio Illumina, para análisis de ADN, que integra generación de grupos de nucleótidos, amplificación, secuenciación por síntesis (SBS, *sequencing by synthesis*) y análisis de datos por software, que corresponde a una técnica NGS (*next generation sequencing/ secuenciación de nueva generación*).
- MinIon es un sistema portátil comercial del laboratorio Nanopore Technologies, para secuenciación de ADN y ARN (ácido ribonucleico).

22 EUROPEAN DEFENCE AGENCY (EDA). JIP-CBRN 2019. DA, JIP (Joint Investment Program) -CBRN 2019. [en línea]. Disponible en: <https://eda.europa.eu/docs/default-source/documents/jip-cbrn-projects-overview-august-2019b236b23fa4d264cfa776ff000087ef0f.pdf>.

23 U.S. ARMY MEDICAL RESEARCH INSTITUTE OF INFECTIOUS DISEASES (USAMRIID), FIBWA (Field Identification of Biological Warfare Agents), Training Courses 2024. [en línea]. Disponible en: <https://usamriid.health.mil/index.cfm/training/fibwa>.

2. PCR: JBAIDS, RAZOR, Biofire FilmArray, ABI 7500.

- PCR (*Polimerase Chain Reaction*/ reacción en cadena polimerasa), es una técnica de análisis genético.
- JBAIDS (*Joint Biological Agent Identification and Diagnosis System*/ Sistema conjunto de diagnóstico e identificación de agentes biológicos), es una plataforma bajo estándares del Ministerio de Defensa de Estados Unidos, desarrollada por BioFire Defense Inc. para uso dual, e identificación de 16 tipos de agentes de guerra biológica y para pruebas ambientales, de alimentos y clínicas en terreno, en base a PCR en tiempo real.
- RAZOR Mk II *BioDetection System*, es un sistema comercial de PCR portátil desarrollado por BioFire Defense Inc., para detección e identificación de agentes biológicos en terreno.
- Biofire FilmArray, desarrollado por BioMérieux, es un sistema de diagnóstico por PCR en base a paneles de grupos probables de patógenos asociados a tipos de síntomas, como parte de una aproximación sindrómica, de tipo respiratoria, gastrointestinal, etc.
- ABI 7500, *Applied Biosystems 7500*, es un sistema de PCR portátil en tiempo real, diseñado y comercializado por *ThermoFisher Scientific*.

3. ECL: PR2, MagPix, LFI

- ECL (*electrochemical luminescence*/ electroquimioluminiscencia), es una técnica que combina reacciones electroquímicas y luminiscencia, convirtiendo la energía eléctrica generada en luz cuantificable, permitiendo detectar y cuantificar biomoléculas mediante la cantidad de luz emitida.
- PR2, Sector PR2 Model 1800, es un equipo comercializado por *Meso Scale Diagnostics (MSD)*, para inmunoensayo de agentes biológicos.
- MagPix, Luminex MAGPIX, del fabricante *ThermoFisher Scientific*, es un sistema compacto de inmunoensayo para ARN y proteínas.
- LFI (*lateral flow immunosensor*/ inmunosensor de flujo lateral), es una variante de ECL, también denominada electroquimioluminiscencia con flujo lateral de inmunosensores, desarrollada para detectar interferones (IFN) y nanoesferas.

4. Métodos auxiliares (cultivo, microscopía y bioquímicos), consiste en la utilización de las técnicas clásicas, pero más lentas, de laboratorio de virología, bacteriología y parasitología, para complementar la identificación por medios rápidos de terreno.

En forma complementaria al panorama tecnológico descrito precedentemente, la innovación en defensa biológica, también tiene una dimensión médica respecto de las técnicas y medidas sanitarias preventivas y de tratamiento, como aquella propuesta el año 2022, por el CBDP (*Chemical and Biological Defense Programm*/ Programa de Defensa química y biológica), del Departamento de Defensa de Estados Unidos, mediante una estrategia contra agentes biológicos de amplio espectro

(*broad spectrum*), que difiere radicalmente del concepto anteriormente en uso, contra microorganismos específicos (*narrow spectrum/ espectro estrecho*), representado en la figura N° 5, donde las MCM (*medical countermeasure/ contramedidas médicas*) de amplio espectro son no-específicas, con profilaxis de estimuladores inmunes, terapia dirigida con antibióticos y antivirales, terapia en hospedadores con antiinflamatorios y anticoagulantes, diagnóstico de tipo sindrómico (síntomas) y en base a dispositivos *wearables* (monitoreo portátil, en el vestuario, con transmisión de señales).

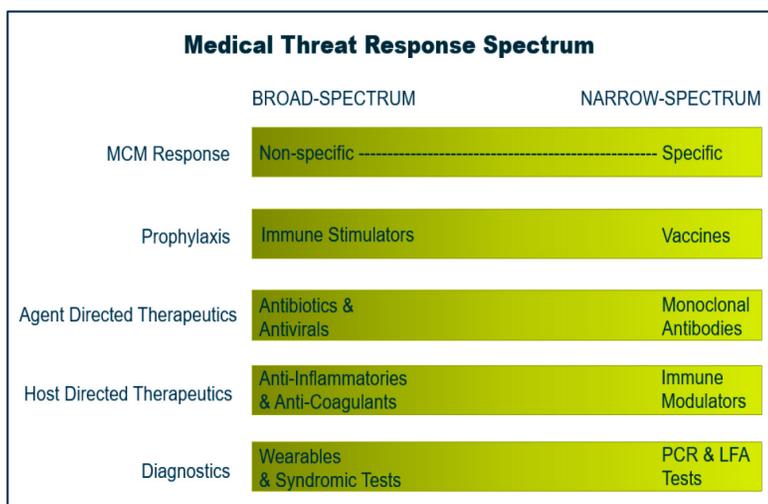


Figura N° 5: Tipos de respuesta médica a amenazas biológicas de amplio espectro y específicas.

Fuente: CBDP (Chemical and Biological Defense Programm/ Programa de Defensa química y biológica), Approach for Research, Development and Acquisition of Medical Countermeasure and Test Products, Department of Defense, United States, 2022, p. 2.

Esta complejidad para el tratamiento de nuevos agentes biológicos se grafica en la dificultad para obtener drogas antivirales efectivas, tanto por la naturaleza única de los agentes virales de guerra biológica como porque muchos de estos medicamentos carecen de la farmacocinética, la biodisponibilidad y las pruebas de toxicidad necesarias para pasar de ser prometedores fármacos *in vitro* a reales alternativas para la experimentación avanzada y el desarrollo comercial.²⁴

Finalmente, como ejemplo de la cooperación militar con el ámbito civil, la UE, mediante su proyecto CHIMERA²⁵ (*Comprehensive Hazard Identification and Monitoring System for Urban Areas*) busca nuevas tecnologías de detección biológica de amenazas sobre la población civil en ciudades, con un concepto de “nodo sensor biológico heterogéneo, que será la unidad que combine la fluorescencia inducida por láser y la espectrometría de llama, integrando biosensores comerciales

24 GOFF, Arthur; PARAGAS, Jason. “A survey of antiviral drugs for bioweapons”. *Antiviral Chemistry & Chemotherapy*, vol. 16, August 2005, International Medical Press, London, UK, p. 291.

25 GROMEK, Pawel, SZKLARSKI, Lukasz. “Modern technologies in enhancing situational awareness and preparedness for CBRN events in urban areas, perspective of European Commission call in 2022”; *Journal of Modern Science*, vol. 53 n° 4, 2023, p. 379.

con el sistema para generar una visión operativa CBRN compleja y dar los siguientes pasos en la detección biológica”.

Aplicación de nuevas tecnologías de defensa biológica en el desarrollo de la Fuerza Terrestre.

La aplicación militar de las nuevas tecnologías de defensa biológica se puede resumir en el planteamiento de la *NATO's Biotechnology and Human Enhancement Technologies Strategy* (Estrategia de biotecnología y tecnologías de mejoramiento humano de la OTAN),²⁶ donde la biotecnología es el uso de procesos biológicos, células o componentes celulares para desarrollar nuevos productos y tecnologías, y puede aplicarse en las siguientes áreas, con el objetivo de mejorar la defensa y seguridad:

- Detección, identificación y monitoreo de agentes biológicos (CBRN), usando biosensores habilitados con inteligencia artificial (AI, artificial intelligence).
- Disminución de la dependencia estratégica de competidores y potenciales adversarios, mediante el uso de biología sintética y biofabricación.

Aunque a su vez, por el “uso dual”, se reconoce que conlleva los siguientes riesgos:

- Proliferación de nuevos tipos de armas biológicas creadas desde la investigación en biotecnología y aquella impulsada por inteligencia artificial generativa.
- Liberación impredecible de agentes biológicos con impactos irreversibles.

Relacionado con una eventual amenaza biológica, un estudio del CESIM señala que las Fuerzas Armadas de América del Sur han experimentado durante los últimos años la disminución de su capacidad operativa y las crisis económicas y políticas han reducido sustantivamente sus presupuestos para nuevas adquisiciones y para capacitación de sus fuerzas.²⁷

También señala que, aunque oficialmente no existen en la región conflictos interestatales, aún persisten diferencias políticas sobre los límites y el acceso a zonas geográficas que pueden generar situaciones de crisis en el futuro, tales como:²⁸

26 NATO (North Atlantic Treaty Organization), *Summary of NATO's Biotechnology and Human Enhancement Technologies Strategy*, 2024.

27 Centro de Estudios e Investigaciones Militares (CESIM). *Conflictos futuros: tendencias para la región sudamericana al 2040*, volumen II, 2022, p. 327, [en línea]. Disponible: https://www.cesim.cl/Libros_pdf/CESIM_LIBRO_14.pdf

28 *Ibidem*, p.193.

- El tema antártico, que involucra a países de Sudamérica y de otras regiones.
- Aspiraciones marítimas de Bolivia.
- Diferencias políticas entre Venezuela y Colombia.
- Diferencias que surjan a raíz de escenarios pospandemia.

El escenario descrito puede generar la oportunidad para desarrollar una capacidad militar de defensa biológica, que permita enfrentar situaciones complejas que involucre el uso de agentes biológicos.

Como parte del desarrollo de dicha capacidad en el Ejército, es necesario actualizar la doctrina MDO-90901, Manual de defensa NBC, edición 2009, tomando como referente la actual doctrina NATO e incorporar en la planificación estratégica la implementación logística del equipamiento y entrenamiento relacionado, en unidades especialistas, como aquellas que puedan desplegar Puestos de Atención Veterinaria (PAV) tipo C (CBRN), correspondientes a instalaciones logísticas para el reconocimiento CBRN, definidas en el RDL-20001 Reglamento de Logística, edición 2021²⁹ y en el RDL-20005 Reglamento de Atención, edición 2022.³⁰

Dentro de las oportunidades, un estudio sobre la defensa biológica en el Ejército de Brasil,³¹ plantea que el *“uso del servicio veterinario militar en respuesta a la amenaza biológica está anclado en las habilidades de la medicina veterinaria en las áreas de epidemiología, enfermedades infecciosas y parasitarias, y en el hecho de que los agentes biológicos pueden ser utilizados en el bioterrorismo, mediante el uso de agentes infecciosos que causan zoonosis”*.

En Chile, un ejemplo de innovación tecnológica del Servicio de Veterinaria Militar en el ámbito de defensa biológica, es el estudio efectuado los años 2021 y 2022³², por la Asesoría de Veterinaria de la IV División de Ejército, con apoyo del laboratorio del Instituto de Salud Pública de Chile (ISPCH), cuyos resultados permitieron identificar riesgo biológico, asociado a ectoparásitos (ácaros y pulgas) de roedores silvestres, clasificados en una primera fase por entomología médica, y con una segunda fase de caracterización genética de los microorganismos del género *Rickettsia* y *Bartonella*,

29 EJÉRCITO DE CHILE. División Doctrina (DIVDOC). RDL-20001, Reglamento, Logística, edición 2021, pp. 143-145, 339.

30 EJÉRCITO DE CHILE. División Doctrina (DIVDOC). RDL-20005, Reglamento, Atención de Sanidad y Veterinaria, edición 2022, p.31, 54, 55, 56, 59, 60.

31 BARROS, Renata; PINHO DE ANDRADE, Roberto. “La actuación del médico veterinario militar de otras naciones en la Defensa Química, Biológica, Radiológica y Nuclear: subsidio para modernizar la doctrina del Ejército Brasileño”. Coleção Meira Mattos, Rio de Janeiro, v. 14, N° 50, mayo/agosto 2020, p. 154.

32 BETZHOLD, Alexander. “Innovación tecnológica en la aplicación del análisis de genética molecular del tipo reacción en cadena polimerasa (polimerase chain reaction, PCR), para la identificación de enfermedades rickettsiales transmitidas por pulgas de roedores silvestres”. Artículo con el 1º lugar ámbito “Ciencia y Tecnología” del Concurso Desarrollando Capacidades Militares, 2022, Organizado por el CESIM, Santiago, Chile.

que podían ser transmitidos por picaduras, trabajo que demoró dos años en el desarrollo de los primeros partidores o secuenciadores genéticos, por parte del laboratorio de genética y biología molecular del ISPCH, demostrando una posibilidad de desarrollo biotecnológico, pero en un tiempo bastante prolongado.

CONCLUSIONES

El desarrollo de innovación tecnológica para la identificación de microorganismos patógenos conlleva una amenaza potencial de desarrollo de armas biológicas, lo que se denomina “uso dual” (defensa y ataque), generando una necesidad de protección por parte de los Ejércitos, frente a aquellos que cuenten con dicha capacidad, obtenida del desarrollo propio o de fuentes asociadas a otros países.

En un nuevo escenario, la carencia o debilidad en las capacidades de defensa biológica se convierte en una grave vulnerabilidad para una Fuerza expuesta a agentes biológicos, en operaciones de guerra y distintas a la guerra, y en una oportunidad y ventaja estratégica para el que las posea, utilice y cuente con medios de protección e identificación de última generación.

Finalmente, se concluye que la brecha existente entre países de la OTAN y Chile, en el ámbito de la doctrina y la innovación tecnológica aplicada a la defensa biológica, constituye una realidad y representa una oportunidad para encargar a los organismos y personal especializado para sumar esfuerzos y avanzar en un gran objetivo, cual es proteger la salud de la Fuerza Terrestre y brindar un apoyo sanitario adecuado y eficiente en operaciones.

BIBLIOGRAFÍA

ADAMSON, Steven; CARPENTER, Hannah; PANG, George; PINCUS, Jason; GREGORY, Bryan; READE, Michael. “Staff perceptions of military chemical–biological–radiological–nuclear (CBRN) air-purifying masks during a simulated clinical task in the context of SARS-CoV-2”, *Anaesthesia and Intensive Care*, vol. 49, N° 3, 2021, Australian Society of Anaesthetists, Australia. 2021.

AJP-3.23 (Allied Joint Publication), Edition A, Version 1, Allied Joint Doctrine for countering weapons of mass destruction in military operations, NATO Standardization Agency (NSA), North Atlantic Treaty Organization. Septiembre 2023-

AJP-3.8 (A), Edition A, Allied Joint Doctrine for chemical, biological, radiological and nuclear defence, NATO Standardization Agency (NSA), North Atlantic Treaty Organization, 2012.

AJP-3.8 (B), Edition B, Allied Joint Doctrine for comprehensive chemical, biological, radiological and nuclear defence, NATO Standardization Agency (NSA), North Atlantic Treaty Organization,

Standardization Agreement (STANAG) N° 2451 (convierte al AJP 3.8 B en el STANAG 2451, elevando su jerarquía normativa) ed. 5. 2018.

BARROS, Renata; PINHO DE ANDRADE, Roberto. "La actuación del médico veterinario militar de otras naciones en la Defensa Química, Biológica, Radiológica, Electrónica y Nuclear: subsidio para modernizar la doctrina del Ejército Brasileño", Coleção Meira Mattos, Rio de Janeiro, v. 14, n. 50, mayo/agosto 2020.

BETZOLD, Alexander, "Innovación tecnológica en la aplicación del análisis de genética molecular del tipo reacción en cadena polimerasa (polimerase chain reaction, PCR), para la identificación de enfermedades rickettsiales transmitidas por pulgas de roedores silvestres", artículo 1er lugar ámbito "Ciencia y Tecnología" del Concurso Desarrollando Capacidades Militares, 2022, Centro de Estudios e Investigaciones Militares (CESIM), Santiago, Chile.

CBDP (Chemical and Biological Defense Programm/ Programa de Defensa química y biológica), Approach for Research, Development and Acquisition of Medical Countermeasure and Test Products, Department of Defense, United States, 2022.

Centro de Estudios e Investigaciones Militares (CESIM). Conflictos futuros: tendencias para la región sudamericana al 2040, volumen II, 2022. [en línea]. Disponible: https://www.cesim.cl/Libros_pdf/CESIM_LIBRO_14.pdf

CIESLAK, Theodore; KORTEPETER, Mark; WOJTYK, Ronald; JANSEN, Hugo; REYES, Ricardo; SMITH, James. "Beyond the Dirty Dozen: A Proposed Methodology for Assessing Future Bioweapon Threats", Military Medicine, vol. 183, January-February 2018, pp. 59-65.

CLARK, David; PAZDERNIK, Nanette. Chapter 22: "Biological Warfare: Infectious Disease and Bio-terrorism", Biotechnology, 2016.

CLARK, Joseph, "DOD Chemical, Biological Defense Program Adapts to Emerging Threats as it Marks 30-Year Anniversary", US Department of Defense. [en línea], disponible en: <https://www.defense.gov/News/Feature-Stories/Story/Article/3603047/dod-chemical-biological-defense-program-adapts-to-emerging-threats-as-it-marks/>.

DEPARTMENT OF HOMELAND SECURITY (DHS), Chemical and Biological Defense, 2024. [en línea]. Disponible en <https://www.dhs.gov/archive/science-and-technology/chemical-and-biological-defense>.

DEPARTMENT OF DEFENSE (DOD), The Army Biological Defense Strategy, United States Army, 2021.

EJÉRCITO DE CHILE. División Doctrina (DIVDOC)RDL-20001, Reglamento, Logística, edición 2021.

EJÉRCITO DE CHILE. División Doctrina (DIVDOC). RDL-20005, Reglamento, Atención de Sanidad y Veterinaria, edición 2022.

EUROPEAN DEFENCE AGENCY (EDA), CAPTECH (Capability, Armament, Planning and Technology) CBRN and Human Factors. [en línea]. Disponible en: <https://eda.europa.eu/what-we-do/all-activities/activities-search/captech-cbrn-and-hf>.

EUROPEAN DEFENCE AGENCY (EDA), JIP (Joint Investment Program) -CBRN 2019. [en línea]. Disponible en: <https://eda.europa.eu/docs/default-source/documents/jip-cbrn-projects-overview-august-2019b236b23fa4d264cfa776ff000087ef0f.pdf>.

EUROPEAN DEFENCE AGENCY (EDA), EDSTAR EG 01 (European Defence Standards Reference System, Expert Group N° 1), Chemical Biological Radioactive Nuclear Defence, Final Report, Recommendations on best practice standards for CBRN Defence, Brussels, 2022. [en línea]. Disponible en <https://edstar.eda.europa.eu/DocumentLibrary/Download/c6ac9584-904a-41fc-b7c1-c01499c2c8e3>.

EUROPEAN DEFENCE FUND (EDF). 2021-MCBRN-R-CBRNDIM, Detection, identification and monitoring (DIM) of CBRN threats, 2021. [en línea]. Disponible en <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/edf-2021-mcbrn-r-cbrndim>.

ENRIA, Delia; AMBROSIO, Ana; BRIGGILER, Ana; FEUILLADE, Maria; CRIVELL, Eleonora. "Vacuna contra la fiebre hemorrágica argentina CANDID N° 1 producida en la Argentina, inmunogenicidad y seguridad", Medicina, vol. 70 N° 3, Buenos Aires, Argentina, 2010.

GOFF, Arthur; PARAGAS, Jason. "A survey of antiviral drugs for bioweapons", Antiviral Chemistry & Chemotherapy, vol. 16, International Medical Press, London, UK, August 2005.

GRABENSTEIN, John; PITTMAN, Phillip; GREENWOOD, John; ENGLER, Renata. Immunization to Protect the U.S. Armed Forces: Heritage, Current Practice, Prospects, Army Surgeon General's Office, 2005.

GROMEK, Paweł; SZKLARSKI, Lukasz. "Modern technologies in enhancing situational awareness and preparedness for CBRN events in urban areas, perspective of European Commission call in 2022", Journal of Modern Science, vol. 53 N° 4, 2023. [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.13166/jms/176678>. <https://assets-plus.eu/detection-identification-and-monitoring-dim-of-cbrn-threats/>.

JP-3-11 (Joint Publication), Operations in chemical, biological, radiological and nuclear environ-

ments, Joint Chiefs of Staff (CJCS), USA, 10/2020. [en línea]. Disponible en: https://irp.fas.org/doddir/dod/jp3_11.pdf

KASZETA, Dan. "Good detection is good protection, missions and technologies in CBRN detection", European Security and Defence, Mittel Report Verlag GmbH, Bonn, Germany, June 2023.

MASTHAN, K.M.K; SHANMUGAM, K.T; ARAVINDHA, Babu and BHATTACHARJEE, Tathagata. "Virus as a biological-weapon", International Research Journal of Microbiology (IRJM) Vol. 2(6), June 2012.

MAURONI, Al. "On Biological War", Military Review, May-June 2022, Army University Press. [en línea]. Disponible en: <https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/PDF-UA-docs/Mauroni-UA.pdf>.

NATO (North Atlantic Treaty Organization). NATO's Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Defence Policy, 05 July 2022. [en línea]. Disponible en: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_197768.htm.

NATO (North Atlantic Treaty Organization). Summary of NATO's Biotechnology and Human Enhancement Technologies Strategy, 16 April 2024. [en línea]. Disponible en: https://www.nato.int/cps/fr/natohq/official_texts_224669.htm?selectedLocale=en.

PORTER, Jason. Russian Chemical and Biological Weapons: Limiting the Effects of Russian CBW Programs on NATO Security Through 2035, MSU (Missouri State University) Graduate Theses for the Master Degree of Science, Defense & Strategic Studies. 3939, 2024. [en línea]. Disponible en <https://bearworks.missouristate.edu/theses/3939>.

U.S. Army Medical Research Institute of Infectious Diseases (USAMRIID). FIBWA (Field Identification of Biological Warfare Agents), Training Courses 2024. [en línea]. Disponible en: <https://usamriid.health.mil/index.cfm/training/fibwa>.