TEC1000
2019/2020

Estudios de Vigilancia
y Prospectiva Tecnológica
en el área de Defensa
y Seguridad

Centro de Estudios Grl Mosconi
Prospectiva Tecnológica Militar

EJERCITO ARGENTINO
FACULTAD DE INGENIERIA
FIE

TEC1000
2019/2020

Centro de Estudios Grl Mosconi
Prospectiva Tecnológica Militar

EJÉRCITO ARGENTINO
FACULTAD DE INGENIERÍA
FIE

CEPTM "Grl MOSCONI"

Estudios de Vigilancia y Prospectiva Tecnológica **en el área de Defensa y Seguridad**

2019/2020

Guglielmone, José Alberto
TEC 1000 : 2019-2020 : estudios de vigilancia y prospectiva tecnológica en el área de defensa y seguridad / José Alberto Guglielmone ; compilación de José Alberto Guglielmone. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Universidad de la Defensa Nacional, 2021.

340 p. ; 24 x 17 cm.

ISBN 978-987-47903-2-3

1. Defensa. 2. Ingeniería. I. Título.
CDD 623.3

DIRECTOR
CR (R) OIM José Alberto Guglielmone

EDITOR Y PROPIETARIO
CEPTM de la Facultad de Ingeniería del Ejército – UNDEF

ISSN 2591-4162

Facultad de Ingeniería del Ejército “Grl Div Manuel N Savio”– UNDEF

Av. Cabildo 15 . Palermo . Ciudad Autónoma de Buenos Aires
C1426AAA Teléfono: 4779-3300

difusionceptm@fie.undef.edu.ar
http://www.fie.undef.edu.ar

ÍNDICE

PRÓLOGO . Decano de la Facultad de Ingeniería del Ejército 7

PRESENTACIÓN . Director CEPTM "Grl MOSCONI" 9

1. ESTUDIO PROSPECTIVO DE DEFENSA QUIMICA BIOLÓGICA Y NUCLEAR
1.1 Introducción 11
1.2 Armas Químicas 13
1.3 Armas Biológicas 73
1.4 Armas Nucleares 113
1.5 Amenazas y Riesgos de las ADM 153
1.6 Defensa CBRN - Ciencia y Tecnología (C&T), Investigación y Desarrollo (I&D) Institutos y Centros Educativos en el área de la defensa, proyectos e industria 187
1.7 Simulación 223
1.8 Situación actual del Ejército Argentino 235
Conclusiones 245

2. ARTÍCULOS SELECCIONADOS EN CONVOCATORIA 2019/2020
2.1 Tecnología de Radar de Apertura Sintética y sus aplicaciones en Defensa y Seguridad 249
2.2 Análisis de Proyectiles Conformados por Explosión como componente de un sistema de armas integrado 263
2.3 Alternativas terapéuticas para el síndrome agudo por radiación 277
2.4 Métodos de producción de hidrógeno y almacenamiento de energía 289
2.5 Instrumentación electrónica para sensado en vuelos estratosféricos 301

3. EL CEPTM "Grl MOSCONI"
Integrantes año 2019 - 2020 309
Principales actividades y eventos del CEPT durante el año académico 2019- 2020 313
Capacitaciones Año 2019-2020 315
Publicaciones 2019-2020 318
Newsletters del Observatorio Tecnológico Mosconi (OTM) 2019 -2020 319

4. ANTENA TERRITORIAL DE DEFENSA Y SEGURIDAD
4.1 Observatorio Tecnológico Aeroespacial (OTA) de la ESGA 331
4.2 Observatorio Argentino del Ciberespacio(OAC) de la ESGC FFAA 335

PRÓLOGO

Con alegría deseo expresar en este prólogo el orgullo que siento como Decano de la Facultad de Ingeniería del Ejército de contar dentro de su estructura con el Centro de Estudios y Prospectiva Tecnológica Militar "Grl MOSCONI", y poder compartir con ustedes las actividades que sus integrantes, con quienes a lo largo de mi vida de soldado tuve oportunidad de compartir destinos y responsabilidades dentro del área científica tecnológica aplicada a la defensa.

Durante un año tan particular, en el que el mundo tuvo que cambiar reglas y adaptarse como consecuencia de una pandemia tan agresiva como es la pandemia de síndrome respiratorio agudo (COVID 19), el CEPTM "Grl MOSCONI", se adaptó y trabajó de manera adecuada y cumplió con todos los objetivos propuestos para el año, demostrando con ello un elevado grado de compromiso dentro del sistema de ciencia y tecnología de la defensa y el profesionalismo de sus recursos humanos, quienes aportaron criterios técnicos y doctrinales a los órganos decisores y de asesoramiento de la fuerza, para que sean utilizados como información de interés en el planeamiento estratégico de largo, mediano y corto plazo motivando las actividades de innovación tecnológica dentro del área de defensa.

Durante las actividades de Vigilancia Tecnológica, se detecta la información relevante, las tendencias y las novedades emergentes, las que son analizadas y evaluadas para ser transmitidas con el objetivo de apoyar el proceso de la toma de decisiones estratégicas, es así que el CEPTM se constituye en un componente fundamental que articula la formación académica con el sistema de ciencia y tecnología de la defensa, vinculando distintas organizaciones dentro de las temáticas analizadas.

La difusión de las actividades que se desarrollan en el Centro permite mantener el entusiasmo de analistas tecnológicos, como así también formar nuevos observadores, quienes en un futuro podrán ser miembros de la red de vigilancia tecnológica dentro del área de la defensa nacional.

Esta nueva edición de TEC1000 que tengo el honor de prologar integra los años 2019 y 2020 sintetizando en sus páginas algunas de las tantas actividades que desarrolló durante estos dos años el Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar "Grl Mosconi", al servicio del Sistema Ciencia y Tecnología de la Defensa y en particular a Facultad de Ingeniería del Ejército.

Felicito y agradezco a cada uno de sus integrantes por el compromiso permanente, su sentido de pertenencia y el profesionalismo demostrado en cada una de las actividades desarrolladas.

Al Señor Coronel (R) José Alberto Guglielmone, como Director del CEPTM, vayan para usted y sus hombres mis más sinceras felicitaciones. La misión fue cumplida con altura, profesionalismo e hidalguía.

CABA, diciembre de 2020

Alejandro Adolfo Köhler
Coronel Mayor - Decano de la Facultad de Ingeniería del Ejército – UNDEF

PRESENTACIÓN

Tengo el agrado como Director del Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar "Grl MOSCONI", de presentar la TEC1000 2019 / 2020.

Esta publicación se divide en dos partes principales, la correspondiente a los artículos seleccionados por el Comité Evaluador sobre la convocatoria realizada en el año 2019, los cuales no pudieron ser editados en su oportunidad. A los autores de los trabajos seleccionados, mi agradecimiento por confiar en esta publicación y reconocimiento por el nivel de cada artículo. A todos aquellos autores que sus trabajos no serán publicados, también va hacia ellos el agradecimiento y reconocimiento por el esfuerzo, esperándolos en la próxima convocatoria.

La otra parte se refiere a un Estudio Prospectivo que el CEPTM "Grl Mosconi" decidió encarar luego de una minuciosa selección del tema y a luz de la relación que tienen con los acontecimientos que nos está tocando vivir.

El estudio Prospectivo sobre Defensa Química Biológica y Nuclear, realizado a lo largo del año 2020, fue elaborado en el marco de la pandemia, con las particularidades propias de esta, lo que nos obligó a emplear la modalidad virtual, esta forma de trabajar con la cual no estábamos familiarizados, pero gracias a esta tecnología nos permitió realizar un sinnúmero de reuniones con los participantes del equipo de trabajo, entrevistas con expertos de distintas áreas e inclusive efectuar encuestas dirigidas a grupos específicos poblacionales.

Cada artículo que se encuentra plasmado en esta publicación fue desarrollado con profundidad y puede ser tomado como uno de manera individual, pero todos ellos en su conjunto conforman el Estudio Prospectivo completo.

El encontrarnos permanentemente en búsqueda de nuevas tecnologías nos hizo ver que debíamos hermanarnos con la situación reinante y así obtener un producto prospectivo que sea valioso desde el conocimiento y que pueda ser leído y aprovechado por todos aquellos que les interese el tema o por otros que solo les despierte el interés en la materia y tomen verdadera dimensión del problema a devenir en el futuro inmediato.

Sin miedo a equivocarme puedo decir que estamos en presencia de una nueva publicación "TEC1000", la cual posee un excelente contenido de Vigilancia Tecnológica y Prospectiva, y confiamos en que será un valioso aporte, seguramente apreciado por todos los lectores, entre ellos por nuestros jóvenes de armas amantes de la tecnología y por los decisores, que son aquellos a quienes dirige la mirada el CEPTM "Grl Mosconi".

CABA, diciembre de 2020

José Alberto Guglielmone
CR (R) Ing. Mil - Dir CEPTM Mosconi

1. ESTUDIO PROSPECTIVO DE DEFENSA QUIMICA BIOLÓGICA Y NUCLEAR

1.1 Introducción

El Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar "Grl Mosconi" (CEPTM), dependiente de la Facultad de Ingeniería del Ejército (FIE), desde su creación en el año 2014, ha venido desarrollando una serie de actividades entre las cuales las de mayor relevancia han sido el accionar dentro de la "Vigilancia e Inteligencia Estratégica" (VeIE) sobre tecnología militar y Prospectiva. Esto se ve plasmado en sus acciones y productos, la página web, la publicación TEC1000 con artículos relevantes, cursos, conferencias, etc. Así también se logró la creación de la "Antena Territorial de Defensa y Seguridad" con el apoyo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación con su programa VINTEC.

Atento a estos antecedentes y consolidado en su accionar es que el CEPTM "Grl Mosconi", a comienzos del 2020, decidió realizar un Estudio Prospectivo. Se asumió que la temática a estudiar debía ser disruptiva, emergente, crítica o estratégica, para ello se basó en un documento emitido por el CEPTM, su documento número 010514/02 "TECNOLOGÍAS Y OBJETOS DE ESTUDIO RELACIONADOS CON LA DEFENSA" y sobre otros tópicos relacionados. Con el devenir de los días y en la selección entre un sinnúmero de temas, fue consolidándose el tópico sobre la Defensa Química Biológica y Nuclear (DQBN), y se advirtió que esta era totalmente de actualidad y surgió lo que la pandemia provocada por el COVID -19 plantearía por su proyección a futuro.

El Estudio Prospectivo sobre DQBN fue realizado por los integrantes del CEPTM "Grl Mosconi" y expertos en la materia, quienes escribieron los artículos que se encuentran relacionados, los cuales conforman el Estudio completo transcripto en esta publicación TEC1000 - 2019/2020.

Así también paralelamente se confeccionó un documento siendo este un compendio y avance del presente estudio, el cual fue presentado a las autoridades del Ejército Argentino, con propuestas a ser consideradas para una posible toma de decisión.

Cabe la salvedad de que la incumbencia del presente trabajo trasciende a las Fuerzas Armadas y puede ser de interés de todos aquellos actores que se sientan identificados o involucrados con la temática de DQBN.

El objetivo de este trabajo netamente académico es brindar información relevante a decisores y planificadores, responsables principalmente de la Defensa y la Seguridad, teniendo en cuenta que la información, el conocimiento y la preparación son el antídoto para la supervivencia ante un evento con Armas de Destrucción Masiva (ADM).

Sin caer en redundancias sobre la importancia de la Prospectiva como aporte del planeamiento estratégico, es necesario remarcar que contribuye a pronosticar, prevenir y sobre todo construir el porvenir, y deja poco margen a la improvisación o las decisiones voluntaristas.

En una entrevista con el diario Clarín de mayo del corriente (año 2020), el Jefe de Estado Mayor Conjunto General Brigada Juan Martin Paleo expreso[1]: "La pandemia no tiene mucha diferencia con los resultados de una guerra bacteriológica…", el CEPTM está de acuerdo con esa perspectiva y aborda el tema dentro de las Armas de Destrucción Masiva (ADM).

Las preguntas son las mismas para cualquier escenario: ¿Dónde estamos, y qué podemos hacer? ¿Es posible enfrentar/mitigar con los medios disponibles un evento de estas características? ¿Necesitamos anticiparnos?

El trabajo aborda la DQBN poniendo de manifiesto los recursos disponibles y alerta sobre las carencias y necesidades tanto en lo material como en lo doctrinario.

Las amenazas QBN están latentes, solo tomando conocimiento de las particularidades que nos presentan estas amenazas y consecuentemente si se alcanza la capacitación adecuada de las Fuerzas Armadas y toda aquella población involucrada en la temática, estaremos en condiciones de afrontarlas y mitigar su accionar.

1 https://www.clarin.com/politica/-publicar-publica-bosoer-general-juan-martin-paleo-pandemia-mucha-diferencia-guerra-bacteriologica-_0__a12_F40_.html

1.2

Armas de destrucción masiva Las armas químicas

Por el Coronel A (R) OIM Carlos Hugo Trentadue*

En 2013, la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas obtuvo el Premio Nobel de la Paz por sus esfuerzos para la eliminación definitiva de este tipo de armas, resultado del compromiso internacional para llevar adelante estas acciones. A pesar de esto, en los últimos años, hemos visto resurgir a las armas químicas en conflictos intraestatales y como herramientas para cometer atentados contra personas.

Este trabajo busca presentar una breve perspectiva histórica del desarrollo y empleo de estas armas y caracterizarlas, mostrando ejemplos de las más comúnmente usadas, tanto en cuanto a los agentes tóxicos empleados como a algunos medios de dispersión de estos. También, dar una visión de la organización y doctrina de empleo de estas armas cuando formaban parte del arsenal regular de algunos ejércitos.

Asimismo, busca presentar de manera sintética, el marco legal hoy vigente en función de las leyes y acuerdos internacionales a los cuales nuestro país y la región han adherido.

Temario

1. Introducción 14
2. Historia 15
3. Tipos 49
4. Producción 53
5. Los medios de dispersión 58
6. Marco legal 61
7. Conclusiones 63
8. Glosario 65
9. Anexos 66

Las armas químicas

"La guerra, como una revolución, se basa en la intimidación. Una guerra victoriosa... destruye sólo una parte insignificante del ejército conquistado, intimidando al resto y rompiendo su voluntad... El terror... mata a los individuos e intimida a miles".

Leon Trosky[1]

Introducción

Las armas químicas utilizan deliberadamente las propiedades tóxicas de sustancias químicas para causar la muerte o daños. Junto con las armas biológicas y nucleares, se considera que las armas químicas son armas de destrucción masiva (ADM).

Sin embargo, en función de sus características, propiedades físicas y efectos, las armas químicas (AQ) son diferentes de sus contrapartes nucleares y biológicas, debido a que sus efectos, normalmente, son sólo efectivos en superficies relativamente de menores dimensiones y su duración también es más acotada que aquellas.

En el teatro de operaciones convencional, o también en el teatro de operaciones irregulares, las AQ tienen efectos de aparición más temprana que sus contrapartes biológicas, pues, dependiendo del agente, tienden a actuar contra humanos, animales o vegetales, en un período de tiempo relativamente corto, desde efectos casi instantáneos hasta minutos u horas más tarde.

Dicho esto, debemos acotar que las consecuencias de su empleo tienen impacto en el campo de la estrategia, pues abrirán la puerta a represalias de igual o mayor magnitud.

Motivado por estas características, si bien históricamente fueron empleadas en el nivel táctico, también se ha contemplado su valor como herramientas de política estratégica, especialmente en el contexto de su impacto psicológico. El valor estratégico de las AQ puede derivar de la mera amenaza o sugerencia de su uso. Obligar a una población o unidades militares a ponerse equipo de protección personal (EPP) o tomar otras medidas de protección puede afectar significativamente el resultado de un conflicto en términos políticos y militares.

Adoptaremos como definición de las armas químicas la que usa la Convención sobre Armas Químicas (CAQ)[2], de la cual nuestro país es estado parte,[3] en su artículo 2:

Por "armas químicas" se entiende, conjunta o separadamente:

a) Las sustancias químicas tóxicas o sus precursores, salvo cuando se destinen a fines no prohibidos por la presente Convención, siempre que los tipos y cantidades de que se trate sean compatibles con esos fines;

b) Las municiones o dispositivos destinados de modo expreso a causar la muerte o lesiones mediante las propiedades tóxicas de las sustancias especificadas en el apartado a) que libere el empleo de esas municiones o dispositivos; o

c) Cualquier equipo destinado de modo expreso a ser utilizado directamente en relación con el empleo de las municiones o dispositivos especificados en el apartado b).

Con el mismo criterio que en la CABT, la definición de AQ, cubre cualquier tipo de agente, es decir no existe una lista exclusiva de ellos, sino que **cualquier** sustancia química que, median-

---

1 Trotsky L. *Terrorism and Communism*, Cap 4. Puede encontrarse en https://www.marxists.org/archive/trotsky/1920/terrcomm/ch04.htm. Último acceso 20 de julio de 2020.

2 *Convención sobre la prohibición del desarrollo, la producción, el almacenamiento y el empleo de armas químicas y sobre su destrucción.* https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2018/08/CWC_es.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

3 La CAQ ha sido implementada en nuestro país por la ley 26.247. http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/125000-129999/128366/norma.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

te el aprovechamiento de sus propiedades tóxicas, y utilizada con la intención de causar algún daño, no necesariamente mortal, contra humanos, o animales, está cubiera por esta definición. Nótese que también incluye a los precursores, es decir, las materias primas necesarias para fabricar el agente en cuestión, aun cuando estos no sean tóxicos per se. Asimismo, define como AQ a los distintos vectores (municiones, bombas, cohetes, tanques dispersores, etc.), como a los medios para producirlos (equipos de operaciones unitarias - reactores, separadores, intercambiadores de calor, etc.); y los edificios donde estos se encuentran alojados, o equipos móviles usados para su producción y transporte).

Como expresamos para Armas Biológicas (AB), las toxinas, que son sustancias químicas producidas por seres vivos, pero pueden ser y son sintetizadas mediante procesos químicos, han sido clasificadas tanto como agentes biológicos como agentes químicos. Esto ha motivado que las toxinas estén cubiertas por ambas convenciones, tanto la CAQ como por la CABT.

Historia

Desde la antigüedad encontramos numerosos ejemplos del aprovechamiento de las propiedades tóxicas de ciertas sustancias como arma de guerra. Entre otros podemos citar que, de acuerdo a crónicas indias, (el Rameyana, c. 2000 A. C. y el Mahabhorat, c. 1500 A. C.), ciertos "humos tóxicos" se habrían utilizado en la India contra tropas sitiadas, alrededor del año 2000 A.C para producir somnolencia (Sammohanastra) o para cegarlas, probablemente agentes lacrimógenos (Timirastra).[4]

Tucídides cuenta que, en 428 A.C., en el contexto de las Guerras del Peloponeso, tropas tebanas y espartanas perforaron una de las murallas de la ciudad de Platea, insertaron un tronco hueco y soplaron el humo de la combustión de alquitrán, azufre y otras sustancias para asfixiar a los defensores, usando un método similar en el sitio de Delio, en 424 A.C., donde Sócrates combatió como hoplita[5].

En 1591, los alemanes quemaron recipientes que contenían una mezcla de pezuñas y cuernos triturados junto con una resina de goma fétida para hostigar a fuerzas enemigas[6].

En 1812, el almirante Thomas Cochrane, décimo Earl de Dundonald, Marqués de Maranhão, quien en 1820 comandaría la flota que transportaría a San Martín a Perú, fue un notable impulsor del uso de medios tóxicos en el combate, y patentó lo que llamó "barcos apestosos" con los que pretendía asfixiar a sus oponentes, en ese momento tropas napoleónicas, aunque el Almirantazgo nunca quiso usarlos por temor a la represalia[7] y que abogó incansablemente por el uso de estos medios durante la Guerra de Crimea[8] donde tampoco fueron usados.

La Revolución Industrial produjo grandes avances en el desarrollo de la industria química y la consiguiente disponibilidad de sustancias en cantidades y variedad desconocidas hasta esa época. Varios agentes químicos que serían usados en la Primera Guerra Mundial ya habían sido descubiertos en los siglos XVIII y XIX. En 1774, Carl Wilhelm Scheelle descubrió el cloro y en 1782 determinó las propiedades del cianuro de hidrógeno. Claude Louis Berthollet sintetizó el cloruro de cianógeno en 1802. Sir Humphrey Davy sintetizó el fosgeno en 1811. En 1822 el belga César-Mansuète Despretz sintetizó lo que hoy se conoce como Yperita o Gas Mostaza

---

4 Kokatnur, V.: *Chemical Warfare in Ancient India.* Journal of Chemical Education Vol. 25 pág. 268. 1948 https://www.saada.org/item/20141106-3870 . Último acceso el 20 de julio de 2020.

5 US Army Infantry School: *The Infantry School Mailing List.* Vol XVI. Fort Benning, 1938.

6 Vogel, F.: *The Chemical Weapons Convention: Strategic Implications for the United States.* Strategic Studies Institute. Washington 1997.

7 https://www.historynet.com/sir-thomas-cochrane-the-british-naval-officer-who-proposed-saturation-bombing-chemical-warfare-during-the-napoleonic-wars. Último acceso el 20 de julio de 2020.

8 Fries, A.; West, C.: *Chemical Warfare.* McGraw Hill. Nueva York. 1921.

y en 1848 John Stenhouse, preparó la cloropicrina. Este último patentó también en 1860 una máscara de protección con un filtro de carbón activado[9].

A principios del siglo XX, se destacaron las posibilidades de uso táctico de productos químicos cuando en 1912 la policía francesa utilizó con éxito cartuchos de gas lacrimógeno para capturar los restos de una banda de ladrones de bancos en Choisy-le Roi[10].

Primera Guerra Mundial

El empleo de sustancias químicas como armas en conflictos armados, en la concepción moderna de este tipo de medios, se dio durante el transcurso de la Primera Guerra Mundial. Al producirse el estancamiento de la guerra en las trincheras, ambas partes buscaron medios para romperlo y pronto se intentó cambiar el curso de la guerra mediante el uso de armas químicas. De acuerdo con los registros históricos, Francia primero y Alemania después, en 1914 utilizaron agentes lacrimógenos, es decir, en terminología actual, agentes de control de disturbios, con poco éxito.

El ejército francés utilizó granadas de fusil cargadas con gases lacrimógenos contra los alemanes a partir de agosto de 1914, pero estas resultaron extremadamente ineficaces.

En los primeros meses de la guerra, los británicos también investigaron el uso militar de agentes lacrimógenos y otros gases de mayor toxicidad, como el dióxido de azufre.

Pero fue el programa alemán el que logró el éxito más temprano.

Imperio alemán

A fines de octubre de 1914, los **alemanes**, utilizando proyectiles explosivos de 105 milímetros que contenían un irritante (clorosulfonato de dianisidina), atacaron a las tropas británicas sin ningún efecto perceptible, debido a que la carga explosiva de los proyectiles destruía el agente. En enero de 1915, los alemanes atacaron a fuerzas rusas en Bolimov, en la actual Polonia, con munición (15.000 proyectiles de artillería de 150 milímetros, marcados T-stoff[11]) cargada con bromuro de xililo, otro irritante, con el mismo resultado negativo. En este caso no se habían tenido en cuenta las temperaturas frías en ese sector del frente y el material simplemente no volatilizó. En marzo de 1915 los alemanes volvieron a usar el mismo agente, en Nieuport, esta vez 18.000 proyectiles con el agregado de bromo acetona, para hacerlo más volátil aun a bajas temperaturas, pero sin éxito[12]. Estos fracasos y la escasez de explosivos llevaron a los alemanes a buscar otros medios para continuar las operaciones.

Al inicio de la contienda, Alemania dependía de la provisión de nitratos, materia prima para la producción de materiales, pólvoras, explosivos y fertilizantes desde Chile. Pero el bloqueo impuesto por la Triple Entente fue muy eficaz en impedir su acceso, lo que perjudicó la producción de pólvoras y explosivos, al grado de tener que desviar parte de los nitratos usados como fertilizantes hacia la producción de insumos militares. En octubre de 1914, el general Erich von Falkenhayn[13], jefe del Estado Mayor alemán, puso a cargo del coronel Max Bauer[14], experto en artillería, el enlace con la

---

9 Proceedings of the Royal Institution. Vol II. Pág. 53, 1855.

10 http://excerpts.numilog.com/books/9782259015783.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

11 La misma identificación "Sustancia T" fue usada en la Segunda Guerra Mundial para un oxidante, peróxido de hidrógeno concentrado, usado en cohetería por los alemanes.

12 Romano, J.A.; et al.: *Chemical Warfare Agents: Chemistry, Pharmacology; Toxicology and Therapeutics.* Segunda Edición. CRC Press. Estados Unidos, 2008.

13 Erich von Falkenhayn se resistió al empleo de AQ pues consideraba que era poco caballeresco este tipo de armamento.

14 Max Bauer recibió un doctorado honorario de la Universidad de Berlín por sus trabajos, en conjunto con la empresa Krupp, para desarrollar medios de artillería tales como los cañones Berta y morteros Thor.

industria civil (a cargo de la División de Operaciones II - *Operationsabteilung II* – área responsable de la "economía de guerra") para tratar de superar las limitaciones logísticas y operacionales citadas. Antes de la guerra, Bauer había trabajado con el químico Fritz Haber para producir amoníaco a partir del nitrógeno del aire y a partir de éste, precursores de materiales energéticos (propulsantes y explosivos), lo que le permitía a Alemania compensar la pérdida de los suministros chilenos[15]. No es exagerado afirmar que los avances en este campo, debido al proceso de producción de amoníaco patentado por Haber e industrializado por el doctor ingeniero Carl Bosch[16], fueron los que le permitieron a Alemania sostener el esfuerzo de la guerra hasta su conclusión.

Haber, quien en ese momento se desempeñaba como director del Instituto Kaiser Wilheim para Química-Física y Electroquímica[17], en Berlín-Dahlem, insistió de inmediato en el empleo como armas de gases de mayor toxicidad que los irritantes usados hasta entonces. Inicialmente esta propuesta fue rechazada, hasta que el empantanamiento del frente obligó a buscar alternativas para su solución. Haber había sido autorizado a avanzar en el estudio del cloro con estos fines y a fines de 1914 había desarrollado proyectiles cargados con este agente, pero la escasez de munición lo llevó a pensar en usar directamente cilindros. Bajo su coordinación, y con la ayuda de Bauer, se formó el grupo de tropas especiales que serían el núcleo del esfuerzo inicial alemán en este campo, los *Pionierkommando*[18], bajo las órdenes del coronel Max Peterson. Entre su personal se encontraban varios futuros premios Nobel, Otto Hahn, James Franck y Gustav Hertz[19].

El 22 de abril de 1915, miembros de este Pionierkommando abrieron las válvulas de 5.730 cilindros de acero dispuestos en trincheras en Ypres, Bélgica. En 10 minutos, 168 toneladas de cloro formaron una nube, pegada al suelo, que se dirigió hacia las trincheras francesas. Los cilindros habían sido instalados más de tres semanas antes y la orden de empleo quedó supeditada a la meteorología, hasta que los vientos de la zona se moviesen en la dirección apropiada. El cloro formó una niebla de color amarillo verdoso de unos 15 metros de alto y unos siete kilómetros de frente. La nube se movía a unos 30 metros por minuto y alcanzó las posiciones de tropas coloniales francesas y canadienses. En breves minutos, la nube duró unos seis a ocho minutos, se derrumbó el frente de la Triple Entente, y se abrió una brecha de unos nueve kilómetros. Las bajas en las tropas francesas, (mayoritariamente Cazadores Argelinos), varían según las fuentes entre tres mil hasta 15 mil entre heridos y muertos. El alto mando alemán fue sorprendido por el resultado del ataque. Utilizando elementales máscaras de algodón embebidas en tiosulfato de sodio y solución de hidróxido de sodio, similares a las usadas en esa época por los trabajadores de la industria, pero algunas de ellas sin bandas de sujeción, por la que el combatiente supuestamente debía sostenerlas con la mano[20], las tropas alemanas, después de avanzar unos tres kilómetros, se detuvieron, pues no estaban previstos ni refuerzos ni otras tropas para explotar el éxito.

Inmediatamente después del ataque, Alemania estableció dos regimientos (Pionier-Regiment Nr. 35, el 27 de abril sobre la base de las tropas especiales del coronel Peterson, y el Pionier-Regiment Nr. 36 al mes siguiente) de tropas para guerra tóxica. Cada regimiento estaba organizado a

---

15 Feldman, Gerld: *Army, industry, and labor in Germany,* 1914-1918. Princeton University Press. Estados Unidos, 1966. https://archive.org/details/armyindustrylabo0000feld. Último acceso el 20 de julio de 2020.

16 Fritz Haber recibió el Premio Nobel de Química en 1918 por su proceso de síntesis de amoníaco y Carl Bosh recibió el Premio Nobel de Química en 1931 por la industrialización del mismo (métodos químicos a alta presión).

17 Este instituto hoy lleva su nombre *Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft.*

18 van der Kloot, W.: *Great Scientists Wage the Great War.* Fonthill Media, 2017.

19 James Franck y Gustav Hertz ganadores del Nobel de Física de 1925; y Otto Hahn, Nobel de Física en 1944.

20 Op. Cit. Romano, J.A.; et al.: *Chemical Warfare Agents: Chemistry, Pharmacology; Toxicology and Therapeutics*

tres batallones, una compañía de servicios, una sección meteorológica y una sección de comunicaciones[21]. A partir de 1917, las AQ no fueron solamente usadas por los pioneros, sino que cada vez más la artillería fue la responsable del empleo de éstas, y se llegó en 1918 a que más de un tercio de los proyectiles disparados fuesen químicos. En agosto de 1917, los dos regimientos se convirtieron en batallones independientes y se crearon otros batallones hasta un total de ocho hacia el final de la guerra.

El uso alemán de cloro en Ypres[22] señaló el principio de la guerra de gases en el frente occidental. Al poco tiempo, todos los contendientes utilizaban regularmente gases como parte de sus principales operaciones militares y trataron de superarse unos a otros en las innovaciones ofensivas y defensivas. A medida que la guerra avanzaba, sustancias nuevas y más virulentas como el fosgeno y el mostaza llegaron al campo de batalla, inicialmente introducidas por los alemanes y luego adoptadas por los aliados.

Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda

Los **británicos** se organizaron para desarrollar tanto armas químicas como medios para defenderse de ellas. El 28 de abril de 1915, Lord Kitchener, secretario de Estado para la guerra, convocó al químico Herbert B. Baker, uno de los asesores científicos del Ministerio, y al doctor John Scott Haldane, para ir al frente para investigar lo sucedido. Haldane fue el inventor de la máscara llamada Respirador Velo Negro (Black Veil Respirator), introducida en mayo de 1915. Al mismo tiempo, se iniciaron las acciones para adquirir terrenos en Porton Down, próximo a Salisbury, que se concretó en marzo de 1916, como campo de pruebas para experimentos en el terreno de AQ. Inicialmente se compraron unas 1200 hectáreas, pero hacia el final de la guerra cubría más del doble. Fue designado como la Estación Experimental de Ingenieros Reales (Royal Engineers Experimental Station), nombre que mantuvo hasta 1929. Durante toda la guerra, el trabajo experimental fue llevado a cabo por personal de ingenieros, asistidos por una batería de Artillería agregada (Royal Artillery Experimental Battery)[23] y oficiales médicos (Royal Medical Corps). Además, se contaba con un departamento de ensayos en el terreno, un laboratorio químico, un laboratorio fisiológico, una estación meteorológica y un laboratorio antigás[24].

Como los alemanes previamente, el trabajo se inició con el uso de cilindros de gas cargados con el agresivo a experimentar, pero pronto se comenzaron a usar granadas de mano, municiones de artillería y morteros. En total, se realizaron trabajos de evaluación de 147 sustancias tóxicas. Porton Down también trabajó en el campo de la protección individual y colectiva contra AQ, cuando incorporó, en 1917, el Departamento Anti-Gas del Royal Army Medical College.

Aproximadamente 70 fábricas de distinta índole estuvieron involucradas en la producción de elementos vinculados a AQ durante la contienda, pero su rendimiento fue menos productivo que su homólogo alemán.

A lo largo de la guerra, las fuerzas armadas británicas reclutaron científicos en muchas instituciones académicas, que incluyen Oxford, Cambridge, University College London, el Army Medical College en Millbrook y el Lister Institute, para trabajar en los aspectos tanto ofensivos como defensivos, de la guerra química.

---

21 Margit Szöllösi-Janze: *Fritz Haber, 1868-1934: eine Biographie*. C.H.Beck, Berlín, 1998.

22 El nombre de esta ciudad en Bélgica es Ypres en castellano, Ieper en el idioma local (neerlandés).

23 Los sirvientes de las piezas de artillería eran combatientes que se estaban recuperando de heridas sufridas en el frente. Se quejaban porque durante los ensayos cobraban un suplemento por trabajo riesgoso, que perdían cuando volvían al frente.

24 https://discovery.nationalarchives.gov.uk/details/r/C14349. Último acceso el 20 de julio de 2020.

En junio de 1915 se había establecido en Gran Bretaña el Ministerio de Munición, y en diciembre se creó dentro de su estructura un Departamento de Diseño, con la responsabilidad de diseñar la munición de artillería. Entre los órganos que le dependían se encontraba el Comité Asesor Químico *(Chemical Advisory Comitte)*, el cual, con diferentes nombres, dependencias y amplitud de funciones, permaneció bajo la órbita de ese ministerio hasta el fin de la guerra, en el que todos los aspectos de las AQ quedaron bajo la responsabilidad del Maestro General de Arsenales *(Master-General of the Ordenance),* dentro del Ministerio de Guerra (War Office). Casi todo el personal de Porton Down fue desmovilizado.

Dentro de las fuerzas armadas, los británicos organizaron *Compañías Especiales* para encargarse de las operaciones con AQ. Bajo el comando del Mayor Charles Howard Foulkes, de los Royal Engineers, se instalaron en Helfaut, cerca de Calais, en Francia las dos primeras subunidades, Ca 186 y Ca 187, en julio de 1915, seguidas de las 188 y 189 en agosto. A todos los hombres se les dio el rango de Cabo Químico. El 4 de septiembre de 1915 las dos primeras Compañías, con un total de 34 Secciones de 28 hombres, fueron asignadas al Primer Ejército.[25]

El primer ataque británico con AQ ocurrió en Loos, Bélgica en septiembre de 1915, con el uso de 6.400 cilindros de cloro alineados en cerca de 40 kilómetros de frente. Como no era posible cubrir toda esa distancia con la nube que se formaría, también se agregaron unas 12.000 "velas fumígenas"[26] para simular la nube tóxica y ocultar el movimiento de tropas[27]. Esta responsabilidad, la de generación de cortinas de ocultamiento, fue agregada a las tropas químicas[28].

Se decidió reforzar las compañías formadas y llevarlas a una brigada, la *Brigada Especial*, a cargo del mismo Foulkes, quien también se desempeñaba como Director Asistente de los Servicios de Gas *(Assistant Director of Gas Services)*. La brigada estaba constituida por cuatro batallones, cada uno a cuatro compañías, a cargo de las operaciones con tubos de gas y candelas generadoras de humo; otras cuatro compañías cada una equipada con 48 morteros Stokes de cuatro pulgadas (101.5 milímetros) y cuatro secciones de lanzallamas. Además, elementos de comando y servicio le daban un total de efectivos de más de 5.500 hombres. Ellos fueron los responsables de todas las operaciones con gases británicas hasta el final de la guerra.[29]

En 1916, los británicos introdujeron el mortero Stokes, cuyos proyectiles eran capaces de contener alrededor de tres kilos de agente cada uno. Y en abril de 1917, durante la batalla de Arras, los británicos dispararon 3.000 proyectores Livens, un dispositivo diseñado para lanzar municiones llenas con 15 kilos de agente.

República Francesa

El 23 de abril de 1915, el presidente de la **República Francesa**, Raymond Pointcare decía sobre el ataque alemán:

> *"Es asesinato organizado, y mañana, para defendernos, ¿no nos veremos obligados a utilizar los mismos medios"*[30]

---

25 https://www.longlongtrail.co.uk/army/regiments-and-corps/the-corps-of-royal-engineers-in-the-first-world-war/the-special-companies-of-the-royal-engineers-poison-gas/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

26 Las velas estaban hechas con una mezcla de nitrato de potasio, azufre, alquitrán, borax y una goma; se consumían en tres minutos y despedían una densa cortina de humo marrón amarillento.

27 Kleber, B.; Birdsell, D.: *The Chemical Warfare Service.* Center of Military History, US Army. Washington, 2002.

28 El ataque británico fracasó. El viento no era constante y parte de la nube se cruzó con los atacantes, lo que produjo más bajas entre estos que sobre los defensores alemanes. Warner, P.: *The Battle of Loos.* Wordsworth Ed., UK. 2000.

29 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-51664-6_9. Último acceso el 20 de julio de 2020.

30 https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k2093062/texteBrut. Último acceso el 20 de julio de 2020.

En el momento en que Alemania inició la guerra química, Francia no estaba en condiciones de responder al ataque. Los alemanes estaban al tanto de esta situación. La industria química francesa y su producción eran escasas, al igual que sus capacidades para producir cloro, bromo y ácido sulfúrico. Esto llevó a la creación de la Dirección Química de Materiales de Guerra (Direction Chemique des Materiel de Guerre) bajo la órbita del Ministerio de Guerra. Esta creció rápidamente y a fines de 1915, se dividieron las responsabilidades: el esfuerzo de investigación más significativo recayó en lo que se convertiría en la Sección de Productos Agresivos (Section des Produits Agressifs), presidida por el coronel Perret, secundada por el doctor Charles Moureu, y otros nueve miembros, todos eminentes químicos. Los elementos de protección quedaron en otra sección de la misma Inspección del Coronel, luego General, Perret.

La producción de los agentes se asignó al Establecimiento Central de Materiales de Guerra Química, responsable de llevar a cabo un verdadero programa de desarrollo industrial para fabricar las sustancias necesarias[31].

El gobierno francés adoptó un enfoque más directo de la investigación de armas químicas al militarizar los departamentos de química, patología y fisiología de 16 escuelas e institutos de medicina líderes. Además, esencialmente absorbió a la Universidad de París con el fin de dirigir, coordinar e investigar todos los aspectos de la guerra química[32].

A partir de mayo, se comenzaron a realizar pruebas en el terreno de dispersión de cloro, en terrenos en Satory, cerca de París. Debido a la escasez de productos químicos adecuados, los investigadores franceses tuvieron que buscar productos y métodos particulares, y se llegó a la conclusión de que la artillería era el mejor medio de entrega para desplegar agentes químicos[33].

El primer agente disponible fue el tetracloruro de carbono, que era fácil de sintetizar. Los primeros ensayos prometedores se llevaron a cabo en el campo de pruebas de Vincennes en mayo y julio de 1915. El comandante en jefe del ejército francés, general Joseph Joffre[34], aprobó la producción de un primer lote de 50.000 proyectiles con este agente. Este recibió el nombre en clave "Obus *No.1*"; de los cuales se llegaron a fabricar más de 420.000 y luego utilizados en septiembre durante las ofensivas francesas en Champagne. No obstante, fueron rápidamente abandonados debido a su falta de eficiencia y baja toxicidad.

En 1916 los franceses lanzaron su primer ataque con AQ fosgeno y poco después con proyectiles cargados con cianuro de hidrógeno. Este último, en realidad, era una mezcla de ese producto con cloruro de arsénico y cloruro de estaño y designado por los franceses "Vincennite", no fue particularmente eficaz. El cianuro de hidrógeno es menos denso que el aire, por lo que era difícil crear y mantener una nube con la concentración letal deseada. Aunque el cianuro habría penetrado en la máscara alemana original, los alemanes se habían enterado de las ideas francesas y habían producido un filtro adicional que defendía contra el cianuro. En octubre de 1916, los franceses introdujeron un segundo agente "sanguíneo", cloruro de cianógeno (CK). A diferencia del cianuro de hidrógeno, el CK era dos veces más denso que el aire y tenía la propiedad deseada de introducirse en las trincheras[35].

---

31 https://books.openedition.org/igpde/4972?lang=es. Último acceso el 20 de julio de 2020.

32 https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2376985/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

33 Lepick, O.: *France's Political and Military Reaction in the Aftermath of the First German Chemical Offensive in April 1915: The Road to Retaliation in Kind.* En: Friedrich B., et al. (ed.) One Hundred Years of Chemical Warfare: Research, Deployment, Consequences. Springer, Cham. 2017.

34 Joseph Jacques Césaire Joffre comenzó su carrera como oficial de artillería, cursando como teniente la École Polytechnique, donde obtuvo el título de ingeniero militar. Alcanzó el grado de Mariscal de Francia, fue vicepresidente del Conseil Supérieur de la Guerre (1911-1914) y fue miembro de la American Academy of Arts and Sciences, de la Académie des sciences d'outre-mer y de la Académie française.

35 https://pure.mpg.de/rest/items/item_2400118_8/component/file_3002651/content. Último acceso el 20 de julio de 2020.

Imperio ruso

Rusia no estaba preparada para la introducción de Alemania de armas químicas en la Primera Guerra Mundial, ni para su empleo ofensivo ni para la defensa de sus tropas o población, lo que los obligó, después de Ypres, a desarrollar contramedidas, doctrina y medios ofensivos[36].

La primera operación empleando AQ en gran escala de los alemanes contra el ejército ruso comenzó el 31 de mayo de 1915, en Rawka, un curso de agua próximo a Bolimov, en la actual Polonia, con un ataque masivo de cloro usando cilindros similares a los de Ypres. El área estaba prácticamente desprovista de bosques, lo que permitió que la nube de gas se moviera profundamente dentro de las filas de las tropas rusas que no tenían ni protección ni entrenamiento. Las cifras de bajas de este ataque varían ampliamente según la fuente, pero el químico ruso Profesor Vladimir N. Ipatieff, que presidió la Comisión para la Preparación de Explosivos y más tarde el Comité Químico de la Administración Superior de Artillería, afirmó que en el primer ataque "siete a ocho mil hombres fueron envenenados en una noche, la mayoría muertos"[37] [38]. A esta operación siguieron numerosos ataques similares durante los siguientes 18 meses.

Dado que la mayor parte de las industrias en suelo ruso al inicio de la contienda eran de propiedad alemana, Rusia tuvo que desarrollar la producción de armas químicas de forma autónoma. Debido a la urgencia de contar con medios para responder ofensivamente, se comenzó a fabricar cloro en varias plantas (Samara, Rubezhnoye, Saratov y en la provincia de Vyatka). En agosto de 1915, se produjeron las dos primeras toneladas de cloro líquido, y en octubre, el ejército creó escuadrones químicos para llevar a cabo ataques con cilindros, similares a los de otros países[39]. Al finalizar la guerra para Rusia, en 1917, la producción de agentes químicos en ese país fue equivalente al 2,4 por ciento del total producido por todos los contendientes y consistió principalmente en cloro, fosgeno, cloropicrina, y algunas cantidades menores de lacrimógenos y sanguíneos, totalizando 3.650 toneladas.

Al cabo de un año, sin embargo, Rusia estuvo en condiciones de usar gases en el frente. Inicialmente con cilindros de gas, pero a partir de 1917, cada vez más el principal medio de entrega del gas fue la artillería.

Las máscaras producidas en Rusia, provistas a las tropas, fueron escasas e inefectivas. Inicialmente se obtuvieron máscaras británicas, pero no en cantidades suficientes para equipar a todos los combatientes[40]. Una de las consecuencias de esta situación fue la cantidad de bajas debida a AQ, que fue aproximadamente el doble que la de los otros contendientes.

En 1917, el ejército soviético concluyó que las armas químicas eran "un arma extremadamente poderosa y bestial", y que "su propia inferioridad técnica los había puesto en una terrible desventaja". Rusia se retiró de la Primera Guerra Mundial después de la Revolución de Octubre, cuando el partido bolchevique tomó control del gobierno[41].

Estados Unidos de Norteamérica

Los **Estados Unidos** entraron en el conflicto en abril de 1917, sin tener preparación para este tipo de

---

36 https://www.nti.org/learn/countries/russia/chemical/

37 Grigorieva, M.; Yegorov, O.: *How Russia countered Germany's chemical weapons in WWI.* https://www.rbth.com/history/328927-russia-chemical-weapon-wwi

38 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-51664-6_9. Último acceso el 20 de julio de 2020.

39 Op. cit. Lepick, O.: *France's Political and Military Reaction in the Aftermath of the First German Chemical Offensive in April 1915: The Road to Retaliation in Kind*

40 Fitzgerald GJ. *Chemical warfare and medical response during World War I* [rectificación en Am J Public Health. 2008 Jul;98(7):1158].Am J Public Health. 2008;98(4):611-625. doi:10.2105/AJPH.2007.11930.

41 Ídem 40.

ambiente operacional. Tres días antes de la declaración de guerra a Alemania, el Comité Militar del Consejo Nacional de Investigación, (*National Research Council* – NRC), estableció un subcomité para hacerse cargo de los temas ofensivos y defensivos de AQ *(Subcommittee on Noxious Gases)*, bajo la conducción del director de la Oficina de Minas, que incluía representantes del NRC, especialistas en armamento y médicos de la armada y del ejército.

El general John Joseph Pershing, comandante de las Fuerzas Expedicionarias Americanas (*American Expeditionary Forces* - AEF), a mediados de 1917, decidió dar la responsabilidad de todo lo relacionado con AQ a un solo servicio, *(Gas Service)*, bajo el comando del teniente coronel Amos A. Fries.[42] La falta de equipamiento propio motivó que inicialmente todo el equipo de protección como la munición química fuese de origen británico o francés.

Para marzo de 1918 el Departamento de Guerra puso a cargo de todo lo relacionado con AQ al general de división William Luther Sibert, al que le fueron trasferidas todas las instalaciones de investigación que previamente dependían del NRC. En junio fue creado el Servicio Químico de Guerra (*Chemical Warfare Service* - CWS) como parte del ejército. Éste estaba organizado en siete departamentos. El de Defensa contra gases era responsable de la producción de máscaras y le dependía una planta productora; el de operaciones ofensivas tenía como responsabilidad la producción de los agentes y armas vinculadas, con su instalación más importante en el arsenal de Edgewood, en Mariland; el departamento de Desarrollo tenía a su cargo la planta piloto para la producción de mostaza y la producción de carbón activado a ser usado en los filtros; el encargado de la investigación se localizaba en la American University, en Washington, D. C.; el encargado de las pruebas de campo se encontraba junto al departamento de entrenamiento en Lakehurst, Nueva Jersey; y finalmente, el departamento médico era el encargado de los aspectos farmacológicos de la defensa[43].

La primera unidad operacional fue llamada Primer Regimiento de Gases *(First Gas Regiment)*, organizado a partir de una unidad de ingenieros y enviada a Francia a principios de 1918.

La producción de agentes químicos y la carga de proyectiles se asignó al Edgewood Arsenal, establecido en octubre de 1917 y que comenzó a producir a principios de 1918. Se contaba con cuatro plantas de llenado de munición (proyectiles de 75 milímetros, 155 milímetros, 4,7 pulgadas y de proyectores Livens) y cuatro plantas de producción de agentes. Sólo las dos primeras plantas de carga se terminaron antes de la finalización de la guerra, mientras que los agentes a producir en las plantas químicas fueron programados a partir de los más usados en 1917, cloro, cloropicrina, fosgeno y mostaza. Pero cuando las plantas estuvieron listas para producir, en 1918, los dos primeros ya no eran demandados para el teatro de operaciones. En los meses que duró la producción se alcanzaron a fabricar en el orden de 900 toneladas de fosgeno y 700 toneladas de mostaza. Otros contratistas civiles también produjeron estas sustancias, con el agregado de otro agente vesicante, Lewisita, que había sido redescubierto por el capitán Winford Lee Lewis[44], pero que nunca llegó a usarse durante el conflicto.

Otros países

El **Imperio austrohúngaro** inicialmente no empleó AQ, hasta el inicio de las operaciones en el frente italiano, cuando este país entró en el conflicto. A pesar de la negativa inicial del emperador Franz

---

42 https://archive.org/details/chemicalwarfares00kleb/page/10/mode/1up. Último acceso el 20 de julio de 2020.

43 Fries A., West C.: *Chemical Warfare*. New York, NY: McGraw-Hill; 1921.

44 El compuesto químico (2-clorovinildicloroarsina) había sido descubierto en 1904 por el sacerdote belga y doctor en química Julius Arthur Nieuwland, mientras estudiaba para su doctorado en Estados Unidos. El director de tesis le comentó de este compuesto a Lewis, que era miembro del CWS, en 1918. Este último se dedicó a incentivar su producción como agente y perduró su nombre.

Joseph I a autorizar el uso de AQ por sus tropas, a principios de 1916, dos unidades de ingenieros, *(Sappeurbattailonen - 61 y 62)* fueron usados como núcleo para crear una formación especial de zapadores del ejército *(Spezialformationen der k.u.k Sappeurtruppe)*[45]. Estas fueron empleadas por primera vez, cuando tropas austrohúngaras que defendían las posiciones del Monte San Michele, durante el desarrollo de la quinta batalla del Isonzo, a fines de junio de 1916, realizaron un contraataque empleando fosgeno[46]. Las máscaras provistas a las tropas italianas no eran adecuadas para este tipo de agente, lanzado desde cilindros. Tampoco lo estaban las tropas húngaras que, debido a un momentáneo cambio en la dirección del viento, fueron alcanzadas por parte de la nube formada. La combinación del uso del agente con fuegos de artillería causó más de 2000 muertes entre los italianos, y alrededor de 5000 afectados.

El **Reino de Italia** entró en la Gran Guerra, como se la llamó en ese entonces, del lado de la Triple Entente, en mayo de 1915, al declararle la guerra al Imperio austrohúngaro y en 1916 a Alemania. Como consecuencia de lo sucedido en Ypres, en septiembre de 1915 se estableció la Comisión de Gases Asfixiantes, (Commissione Gas Asfissianti) dirigida por el profesor Emanuele Paternò, marqués de Sessa, con la participación de médicos y químicos. La comisión estudió métodos de protección para las tropas y también agentes para operaciones ofensivas.[47] De los agentes estudiados, se optó por desarrollar AQ principalmente en base a fosgeno. Italia llegó a producir unas 13.000 toneladas de agentes y fueron usadas particularmente durante la campaña del Isonzo en agosto de 1917, la última Batalla en el Piave (junio de 1918) y la Batalla de Bainsizza (octubre 1918)[48].

En el caso del **Imperio Otomano**, no hay información sobre el desarrollo de capacidades de AQ durante el conflicto, pese a haber sido sometidas sus tropas al ataque con este tipo de armas en la campaña de Palestina por parte de los británicos.

TABLA 1: USO CRECIENTE DE LA ARTILLERÍA COMO MEDIO DE DISPERSIÓN DE AGENTES EN LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL[49]

	Consumo mun A (Mills.)		**Peso de agentes** (en cientos de ton)				**% de Agentes dispersados** (por mun A)
País	**Q**	**Otras**	**1915**	**1916**	**1917**	**1918**	**1918**
Alemania	33	485	14	59	136	273	98
Francia	16	334	3,2	27	64	142	95
Imperio Británico	4	178	0	45	30	56	73
Austria-Hungría	5	170	0	5,9	24	42	95
Italia	4	146	0	3,2	23	32	95
Rusia	3	69	1,8	14	18	-	-
EEUU	1	7	-	-	0	9	91

Fuente: Medema, J.: Apuntes 1er Curso de Inspectores OPCW. 1987

45 Osprey Men at Arms 397: The AH forces in WWI.

46 https://encyclopedia.1914-1918-online.net/article/italian_front. Último acceso el 20 de julio de 2020.

47 http://www.centenario1914-1918.it/it/2016/04/05/la-grande-guerra-del-gas. Último acceso el 20 de julio de 2020.

48 Íbid 43. Pieri, P., Valeri, N.: *L'Italia nella prima guerra mondiale,* 1915-1918.

49 Medema, J.: Apuntes primer Curso de Inspectores OPCW, 1987.

Final del conflicto

Para el final del conflicto, más de un millón doscientos mil soldados de ambos bandos habían sido afectados, mientras cerca de noventa mil habían muerto como consecuencia de las AQ. Más de cien mil toneladas de agentes habían sido usados en una escalada de agresividad, comenzando por lacrimógenos y terminando con la Yperita, que se convirtió en el más eficiente productor de bajas dentro de las AQ durante la guerra, no habiéndose desarrollado ninguna medida de protección eficiente contar su empleo. El 93 por ciento de los afectados por AQ sobrevivió al conflicto, aunque un 12 por ciento lo hizo con discapacidades diversas, desde afecciones respiratorias hasta cicatrices deformantes debidas a la Yperita.

Una de las lecciones aprendidas en este conflicto respecto a las AQ, fue que los efectos de los agentes de la época eran sólo efectivos cuando se lograba la sorpresa tecnológica sobre un enemigo no preparado, pero que, superado ese primer momento, el desarrollo de contramedidas específicas y el entrenamiento general para actuar en ambientes contaminados neutralizaba la ventaja momentánea obtenida por el que las había empleado.

TABLA 2: CANTIDADES DE BAJAS Y MUERTOS PRODUCIDOS POR AQ EN LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL[52]

País	Bajas por AQ	Muertos
Alemania	200000	9000
Francia	190000	8000
Imperio Británico	188706	8109
Austria Hungría	100000	3000
Italia	60000	4627
Rusia	419340	56000
EEUU	72807	1462
Otros	10000	1000

Las opiniones respecto de su empleo como armas variaban ampliamente, desde posiciones como las de aquellos que como el capitán Sir Basil Henry Liddell Hart quien, basándose en las estadísticas, decía que las AQ eran las menos inhumanas de las armas modernas[50], hasta la gran mayoría del público y los especialistas que manifestaban una particular repulsión por ellas. Pero independiente de evaluaciones sobre la moralidad de su empleo, es interesante notar lo expresado por el general Pershing en su informe final de la participación de los Estados Unidos en la guerra, que escribía: [51]

Si el gas se utilizará o no en futuras guerras es una cuestión de conjeturas, pero el efecto es tan mortal a los no preparados que nunca podemos permitirnos el lujo de descuidar este tema.

Programas desde la Primera Guerra Mundial a nuestros días

Después de la guerra, el desarrollo de armas químicas siguió mereciendo bastante atención. Todas las principales potencias llevaron a cabo programas de investigación encaminados a construir medidas de protección y a sintetizar agentes más potentes, al mismo tiempo que negociaban un tratado para limitar este tipo de armas. Trataremos de sintetizar en esta sección las características de los mayores programas conocidos de AQ en la literatura de acceso público. Por esa razón, esta lista no será exclusiva, dado que algunos países mantienen aún hoy clasificada la información respecto de sus acciones en el campo de las AQ, mientras otros países, sometidos a los avatares históricos que

50 Goodwin, B.: *Keen as Mustard.* Univ. of Queensland Press, 1998.

51 Pershing JJ. *Final Report of General John J. Pershing.* Washington, DC: US Government Printing Office; 1920.

52 https://www.firstworldwar.com/weaponry/gas.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

motivaron cambios de sus formas de gobiernos o participación en determinadas alianzas, destruyeron la documentación respectiva[53].

No solo las grandes potencias, sino otras naciones comenzaron a investigar sobre este tipo de armas y se han registrado numerosas alegaciones de empleo desde 1919, aunque pocas son las que han podido ser comprobadas por fuentes objetivas. Algunas de las más documentadas son los ejemplos que se expresan a continuación.

Otros ejemplos podrían incluir el uso de AQ por parte de los británicos en operaciones contra insurgentes en el norte de la India y en Medio Oriente; o por parte de las tropas chinas que operan en Manchuria a principios de los años 30; o Egipto en Yemen.

Reino de España

España fabricó y usó AQ durante la llamada Guerra del Rif (1921-1927) para sofocar la rebelión de Abd-el-Krim en Marruecos. Las primeras derrotas sufridas por el ejército en la campaña, con importantes cantidades de muertos, impulsaron al alto mando a emplear este tipo de armas. Se emplearon principalmente el mostaza, pero también fosgeno y cloropicrina. Estos productos inicialmente se compraron a Francia, pero más tarde se comenzó a producir el primero de ellos localmente a partir de tiodiglicol comprado en Alemania. En junio de 1921 se había instalado una planta rudimentaria de carga de agentes químicos en Melilla. Asimismo, España fue el primer país que utilizó la descarga directa desde aeronaves como medio de dispersión del agente.

Se construyó una planta de producción, la Fábrica Nacional de La Marañosa[54], a unos 20 kmilómetros de Madrid, que a mediados de los años 20 producía mostaza, fosgeno y otros agentes que se enviaban a Melilla. Esta planta dejó de producir agentes poco después de terminada la Segunda Guerra Mundial, y se destruyeron los agentes en stock y dedicaron desde entonces sólo a la producción de materiales energéticos convencionales para las fuerzas armadas.

Particularmente durante la Guerra Civil Española, hubo un sólo incidente documentado por un periodista británico referente al uso de munición de artillería con agentes lacrimógenos por parte de las fuerzas republicanas contra las tropas franquistas en agosto de 1936[55].

Italia

Después de las experiencias sufridas durante la Primera Guerra Mundial, Italia continuó con su preparación para conducir operaciones en ambiente químico. En particular, esto se puso de manifiesto durante el conflicto entre Italia y el Imperio Etíope, también llamado Abisinia, durante los años 1935 y 1936. Italia empleó 110.000 tropas contra los 800.000 etíopes, pero la disparidad en estos números trató de compensarse con medios tecnológicos, como tanques, aviones y AQ[56].

La guerra también es recordada por el empleo por parte de Italia de armas químicas, principalmente el mostaza de azufre. El uso de este agente fue particularmente eficaz pues los soldados etíopes llevaban ropa desértica ligera tradicional que dejaba descubierta partes de la piel, y usaban sandalias o estaban descalzos, lo que facilitaba la acción vesicante sobre las zonas expuestas.

El uso de armas químicas por parte de Italia tuvo un efecto estratégico en el desarrollo de la guerra. Se utilizaron para proteger los flancos tanto de las rutas de suministro italianas como

---

53 Ver Operación Obong (USACDA: *Documents on Disarmament 1982*. Pub 124. EEUU. 1984) y el caso de Albania como ejemplos.

54 La fábrica fue destruida en 2004 y convertida en el Instituto Tecnológico Militar "La Marañosa", en 2011. https://www.defensa.gob.es/gabinete/notasPrensa/2011/02/DGC_110216_inauguracion_maranosa.html#. Último acceso el 20 de julio de 2020.

55 Pita, R.: *Armas Químicas*. Plaza y Valdés Editores. Madrid, 2008.

56 Hart, J.; Grip, L.: *The use of chemical weapons in the 1935–36 Italo-Ethiopian War*. SIPRI. Arms Control and Non-proliferation Programme. 2009

las líneas de ataque y como un "multiplicador de fuerzas" que obstaculizaba vías de comunicación, lo cual desmoralizaba a las tropas y enmascaraba los movimientos de tropas. Una estimación soviética afirma que 15.000 de las 50.000 bajas etíopes en la guerra fueron causadas por este tipo de armas[57].

Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte[58]

El Reino Unido cesó la producción de agentes y desmovilizó a la mayor parte del personal que trabajaba en las instalaciones de Porton Down, pero no por ello cesaron las actividades de investigación y desarrollo al término de la Primera Guerra Mundial. En 1919, el Comité de Organización de Guerra Química, llamado Comité Holland recomendó que continuara la investigación sobre los medios por los cuales la industria química podría producir agentes para cualquier guerra futura, y que debería haber capacidad de producir los necesarios para el trabajo experimental. Se estableció un Departamento de Investigación de Guerra Química con sede en el Ministerio de Guerra (*War Office* – WO) de Londres, pero también afiliado al Almirantazgo y al Ministerio del Aire[59].

En 1920, el WO invitó a representantes de la academia y la industria a participar, junto a representantes de las fuerzas armadas, en un comité asesor sobre temas tanto ofensivos como defensivos de AQ. Para 1926 el comité tenía 25 miembros permanentes y noventa asociados de los cuales 16 provenían de la industria[60].

El trabajo en el período entre las dos guerras se concentró en cuatro áreas principales de gastos, el Establecimiento de Investigación de Defensa Química de Londres, un elemento de producción de agentes e investigación y desarrollo en Sutton Oak, un elemento de investigación y desarrollo en Porton Down y la Escuela de Entrenamiento Anti-Gas *(Antigas Training School*). El primero de los mencionados se encargaba principalmente de coordinar acciones y contratar trabajos en la academia[61]. El Establecimiento de Investigación de Defensa Química (*Chemical Defence Research Establishment* – CDRE) en Sutton Oak, Lancashire[62], que había sido programado para producir agentes durante la Primera Guerra Mundial, pero que recién estuvo listo al finalizar la contienda, asumió las funciones de elemento de producción, cambiando su denominación en 1925 como el Establecimiento de Investigación, Sutton Oak. En el mismo año Porton Down, por entonces conocida como la Estación Experimental de Defensa Química, (*Chemical Defence Experimental Station* – CDES) se reorganizó en seis departamentos: Química, Diseños, Fisiología, Física, Meteorología y Técnica.

Todo el trabajo de investigación y desarrollo en la CDES, era de naturaleza defensiva, las fuerzas armadas no recibían entrenamiento ofensivo de AQ y no se pagaban subsidios a empresas para la producción de este tipo de armas (o AB) de acuerdo a los informes al Parlamento británico.

Las cosas cambiaron en agosto de 1939, la responsabilidad del establecimiento pasó al Ministerio de Suministros y los esfuerzos de Porton fueron reorientados de trabajos defensivos a ofensivos.

---

57 SIPRI: *The Problem of Chemical and Biological Warfare, vol. 1, The Rise of CB Weapons.* Estocolmo, 1971.

58 El nombre oficial cambió en 1927, cuando la República de Irlanda obtuvo su independencia del resto de la unión, por lo que el nombre pasó de ser el de Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda al actual.

59 MacKay Price, R.: *The Chemical Weapons Taboo.* Cornell University Press, 1997.

60 https://hansard.parliament.uk/Commons/1926-12-02/debates/5b976ddf-13a7-4154-ae1d-81f5dd377af4/ChemicalWarfare. Último acceso el 20 de julio de 2020.

61 Op. cit. SIPRI *The Problem of Chemical and Biological Warfare.*

62 https://www.suttonbeauty.org.uk/suttonhistory/poisongas/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

En búsqueda de mayor capacidad ofensiva con AQ, en 1939, se decidió la construcción de otra planta en Gales, próxima a la villa de Rhydymwyn, designada Fábrica del Ministerio de Suministros *(M.S. Factory)* Valley, que comenzó a operar en 1941, produciendo mostaza (la mezcla de HD con T llamada por los británicos Runcol o HT). Cuando el Reino Unido cesó la producción de agentes se convirtió en depósito de HT hasta que se decidió su destrucción[63].

Porton Down fue el principal campo de pruebas de AQ británico, pero no el único. Los británicos realizaron experiencias en el norte de la India, Australia y el Medio Oriente. Al mismo tiempo los británicos establecieron una conveniente relación de trabajo con los franceses, antes del inicio de la Segunda Guerra Mundial, lo que les dio acceso al gran campo de pruebas de Beni Ounif, en el Sahara argelino[64].

Como resultado de la naturaleza prioritariamente defensiva de los trabajos en AQ en el Reino Unido, al principio de la Segunda Guerra Mundial, el stock de agentes era bastante limitado, con sólo 500 ton de mostazas, 5 toneladas de cianuro de bromo bencilo y pequeñas cantidades de cloro acetofenona. Y durante la contienda, el único producto fabricado a escala industrial fue el agente T (bis-(2-cloroetilthioetil)-éter también llamado O-mostaza[65]), usado para mezclarlo con la mostaza sulfurada normal, para bajar su punto de congelamiento.[66]

La CDES se ocupó, a partir de la Segunda Guerra Mundial y hasta la fecha, de numerosas áreas de investigación como los agentes neurotóxicos; sistemas de detección de agentes tanto para tropas terrestres como para navíos; nuevos respiradores capaces de dar protección a las amenazas; y temas de apoyo a la comunidad y a organismos no gubernamentales[67].

Como vimos en el capítulo de AB, en 1946 se creó el Departamento de Investigación Microbiológica (MRD), que cambió de nombre en 1957, pasando a ser el Establecimiento de Investigación Microbiológica (MRE) hasta que cerró en 1979. Ese año, el sitio fue dividido, con una parte transferida a la esfera de la salud, como Centro de Microbiología Aplicada e Investigación (*Centre for Applied Microbiology & Research* - CAMR). Tras esto, una revisión estratégica concluyó que una estructura corporativa separada sería la más adecuada para apoyar los objetivos estratégicos de sus operaciones de desarrollo y fabricación farmacéutica, y se crearon empresas que allí funcionan hoy produciendo vacunas y otros medicamentos para tratar afecciones relacionadas a la defensa QBN[68].

Pero para principios de los años 50 una nota enviada por el director del Chemical Defense Research Department del Ministerio de Suministros al representante de la Association of British Chemical Manufacturers expresaba que los esfuerzos en el campo de agentes neurotóxicos británicos eran limitados y no tenían los resultados esperados:

> *"Los métodos de enfoque en este momento son principalmente empíricos y, debido a la falta de personal, sólo pueden ser tratados aspectos menores. En consecuencia, el éxito depende en gran medida de un golpe de suerte. Este estado de cosas es considerado por todos los interesados como peligroso e insatisfactorio."*[69]

---

63 https://www.afterthebattle.com/store/magazines/issue-no-79_ID82. Último acceso el 20 de julio de 2020.

64 Este campo de pruebas operó hasta que Francia se retiró de Argelia, y existe evidencia de que en 1960 especialistas israelíes estuvieron en él. https://media.defense.gov/2019/Jun/13/2002144641/-1/-1/0/CSDS_OUTREACH1316.PDF. Último acceso el 20 de julio de 2020.

65 https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=63918-89-8. Último acceso el 20 de julio de 2020.

66 Op. cit. SIPRI *The Problem of Chemical and Biological Warfare.*

67 https://discovery.nationalarchives.gov.uk/details/r/C14349

68 https://www.portonbiopharma.com/about-us/. Último acceso 20 de julio de 2020.

69 TNA WO 188/2716 Nota a James Davidson Pratt, Association of British Chemical Manufacturers de AE Childs, DCDRD, Ministry of Supply (4 de enero de 1951)

En ese contexto, el ministerio solicitó a la industria que colaborara con cualquier producto que consideraran pudiera ser de interés.

Como en el caso de Alemania, con el Tabún, en el Reino Unido se descubrió el VX de manera accidental en un laboratorio civil. Ranajit Ghosh y J. F. Newman, dos químicos trabajaban para una subsidiaria de la empresa británica ICI[70] en la búsqueda de insecticidas a partir de productos organofosforados, y se patentó el primero de ellos en 1952. Se notó que su toxicidad podía interesar, se remitieron muestras del compuesto al Ministerio de Suministros, el que en 1953 expresaba:

> *"Hemos estado muy agradecidos por la cooperación del I.C.I en el pasado y esperamos mucho que podamos contar con ello en el futuro. Para su propia información privada, el último artículo recibido de usted se encuentra ahora bien dentro de la cerca de alambre de púas y está recibiendo mucha atención"*[71].

En abril de 1953, el producto es recibido en Porton Down y catalogado como sustancia C-11, donde despertó un gran interés como un agresivo neurotóxico de gran potencial[72]. Para el año siguiente, el Reino Unido informó a Canadá y Estados Unidos de su existencia y lo clasificó como agente VG, (dependiendo de la fuente, la V significa Victoria, Veneno, o Viscoso – Victory; Venomous; o Viscous).

De todas formas, ICI comenzó en 1957 a comercializar un derivado de este producto con la marca comercial Amiton y luego Tetram, pero fue retirado del mercado por su toxicidad en humanos y animales[73].

Mientras tanto, Porton Down había estado probando diversos agentes en humanos desde octubre de 1951, en particular GB. Pruebas con grupos de seis voluntarios, miembros de las fuerzas armadas a los que se les pagaba un suplemento por actividad riesgosa, provocaron en una instancia que uno de los hombres entrara en coma, del cual fue recuperado, hasta que, en un ensayo en mayo de 1953, un soldado de la Real Fuerza Aérea (RAF) falleció como consecuencia de la dosis de GB a la que fue sometido. De las investigaciones posteriores se supo que casi 3.000 miembros de las fuerzas armadas habían participado como voluntarios entre julio de 1950 hasta mayo de 1954 en estos experimentos. Una investigación gubernamental sobre este tema fue llevada a cabo a fines de los años 90[74].

En mayo de 1950, una ex base de la RAF fue convertida en el Chemical Defence Establishment Nancekuke, en Cornwall, para la fabricación a escala piloto de agentes. Allí se produjo sarín hasta 1956, y el VX necesario para pruebas de equipamiento defensivo, estaba previsto la construcción de una planta a escala industrial, pero la decisión del Reino Unido de suspender todo programa ofensivo de AQ ese año determinó que esto nunca se concretase. La planta piloto fue inactivada, pero se mantuvo como reserva hasta los años 80[75].

El Reino Unido destruyó todo su arsenal de AQ previo a la entrada en vigor de la CAQ en 1997.

---

70 La empresa era Plant Protection Ltd., en ese momento un joint Venture de Imperial Chemical Industries (ICI) con otras empresas, más tarde adquirida integralmente por ICI. ICI fue la mayor empresa británica, fundada en 1926 contando en su momento con más de 50.000 empleados. Fue adquirida en 2008 por AKzoNobel e integrada en sus operaciones.

71 TNA, WO 188/2721. Nota J McCaulay a RM Winter, Research Controller, Messrs ICI Ltd, Nobel House, Buckingham Gate (15 de julio de 1953).

72 Prof. E. Jones TNA, WO195/12549. Ministry of Supply. Chemical Defence Advisory Board. Minutes 24th Meeting of the Board (5 de noviembre de 1953).

73 Peacock, F. C: Jealott's Hill: fifty years of agricultural research, 1928-1978. ICI, ltd. Plant Protection Division, 1978. https://archive.org/details/jealottshillfift0000peac/page/50/mode/2up?q=amiton. Último acceso el 20 de julio 2020.

74 Schmidt, U.: *Secret Science: A Century of Poison Warfare and Human Experiments*. Oxford University Press. Oxford, 2015.

75 https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20101208174527/http://www.mod.uk/DefenceInternet/AboutDefence/WhatWeDo/DefenceEstateandEnvironment/Nancekuke/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

Francia

A finales de 1919, el Ministerio de Guerra fijó las principales características de la política militar del período de posguerra respecto a las AQ:

> *"El suministro de munición de gases tóxicos y lacrimógenos, de máquinas para la emisión de gases asfixiantes, y de agentes tóxicos, se mantendrá dentro de los límites que permitan las posibilidades técnicas (...); los servicios químicos continuarán con estudios sobre productos químicos ofensivos (...) para estar en condiciones de iniciar la fabricación de munición y dispositivos tóxicos en caso de que el enemigo tome la iniciativa de este tipo de agresión"*[76].

Terminada la Primera Guerra Mundial, Francia continuó con la producción de AQ al mismo tiempo que desarrollaba un programa de investigación y desarrollo sobre estas. Su hipótesis era que, en cualquier conflagración futura, las AQ serían usadas masivamente, pese a los tratados internacionales al respecto y por ello el gran esfuerzo en el campo de protección de sus tropas, tanto en cuanto a protección individual como colectiva, de la cual es ejemplo la Línea Maginot, que contaba con avanzados sistemas de filtros[77].

En 1921, los Servicios Químicos fueron puestos bajo el comando de la Dirección de Artillería y de la Comisión de Estudios y Experiencias Químicas *(Commission des Etudes et Expériences Chimiques)*, se centralizaron todos sus laboratorios en un solo lugar; la Poudrerie Nationale du Bouchet, cercana a la localidad de Vert-le-Petit, en las afueras de París, que para la caída de Francia, tenía casi 2.000 personas trabajando en el área de AQ y había realizado estudios sobre más de 1.500 posibles agentes[78].

Cuando firmó el Protocolo de Ginebra de 1925, Francia se había reservado el derecho de usar armas químicas si era atacada con ellas primero. En 1940, París amenazó con utilizar esta opción si Alemania las utilizaba[79].

A partir de 1938, se restableció una colaboración con los británicos en este campo, y se aceleró la construcción de plantas adicionales de fabricación de "productos especiales", una en Boussens y otra en Mauzac, al mismo tiempo que se completaban los trabajos de dos plantas de carga de munición química, una en Lannemezan y otra en Cerdon[80].

Para 1940, una planta de producción en Angoulême[81] *(Poudrerie Nationale d´Angoulême)* fabricaba en el orden de 500 toneladas/mes de Yperita, la de Boussens unas 400 toneladas/mes. La producción de fosgeno, al ser este usado por la industria, fue llevada a cabo en instalaciones civiles y también en militares: la fábrica de la empresa de productos químicos Clamecy (660 toneladas/mes), la fábrica de Laire en Calais (120 toneladas/mes), la fábrica Kuhlmann en Villers-Saint-Paul (150 toneladas/mes). La fábrica militar de Mauzac[82] *(Poudrerie Nationale de Mauzac)* amplió la capacidad de producción de este agente en otras 1.000 toneladas/mes. Otras plantas fabricaban otros agentes.

---

76 Lejaille, A.: *La guerre des gaz*. Service historique de l'armée de terre. 7 N 4201: Guerre chimique.

77 Información errónea de inteligencia al inicio de las hostilidades decía que los alemanes estaban usando arsina, para la cual los filtros eran ineficaces, lo que motivó acelerados trabajos que a la postre no fueron necesarios.

78 http://www.guerredesgaz.fr/these/chap13/chap13.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

79 https://www.socialgerie.net/IMG/pdf/QUAND_LA_FRANCE_TESTAIT.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

80 https://www.defense.gouv.fr/fre/terre/actu-terre/1939-1940-la-guerre-des-gaz-n-aura-pas-lieu. Último acceso el 20 de julio de 2020.

81 https://maam.angouleme.fr/musee-du-papier/memoires-de-la-poudrerie/ Último acceso el 20 de julio de 2020. Funcionó produciendo químicos militares desde 1827 hasta 2004.

82 https://espritdepays.com/dordogne/patrimoine-industriel/la-poudrerie-de-mauzac-une-friche-industrielle-et-militaire-oubliee. Último acceso el 20 de julio de 2020.

En mayo de 1940, Francia poseía en stock munición química producida en los años previos a la Segunda Guerra Mundial del orden de las 60.000 toneladas, cargadas principalmente con mostaza y fosgeno, que fueron capturados por los alemanes[83].

Notable es el campo de pruebas para este tipo de armas que los franceses construyeron en el desierto. En 1935, se eligió una meseta de piedra caliza del Sahara argelino, "limitada al este y al norte por los altos acantilados del Wadi Namous". Así nació el centro experimental Béni-Ounif, que tuvo tres secciones. La llamada B2-Namous fue exclusivamente usada para los ensayos de armas químicas y bacteriológicas. Este centro, de 100 por 60 kilómetros, cercano a la frontera marroquí, fue designado como Centro de experimentación semipermanente (*Centre d'expérimentation semi permanent de Béni-Ounif* - CESP), donde Francia fue capaz de desarrollar una cantidad significativa de AQ.

En abril de 1945, la parte de la Poudrerie Nationale du Bouchet dedicada a las AQ comenzó a depender directamente del ejército francés a través del Servicio de Armas Químicas *(Service de l´Arme Chimique)* y fue designado como Centro de Estudios de Bouchet (*Centre d´Études du Bouchet*- CEB)[84].

En 1948, allí fue sintetizado Tabún, lo que aseguró un stock de neurotóxicos para conducir ensayos de campo.

A fines de los 50 se reactiva el CESP, donde se desarrollan pruebas de AQ de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN). En 1962, durante las tratativas que conducirían a la independencia de Argelia, Francia negoció para que este y otros sitios utilizados para ensayos de ADM pudieran seguir siendo utilizados por las fuerzas armadas francesas hasta 1967[85].

En 1967, en la fecha establecida en los acuerdos, todos los sitios franceses en Argelia cerraron, excepto B2-Namous. Esto se debió a que el presidente De Gaulle había ordenado retomar con los programas de investigación y desarrollo de AQ y AB, para no quedar fuera de competencia con el resto de las potencias[86].

En un documento de 1965, el Estado Mayor General de las Fuerzas Armadas francesas expresaba:

> *"El Consejo de Defensa [presidido por el Jefe de Estado] en su reunión de 25 de junio de 1965 decidió la dirección que se debe dar a los estudios sobre armamento químico y bacteriológico. La atención debe centrarse en el estudio de los agentes químicos, letales e incapacitantes y los agentes bacteriológicos; sobre la protección contra estos agentes; y sobre la definición de sistemas de armas que pueden implementarlos"*[87].

En el mismo documento se establecía la prioridad de la producción de armas nucleares, sobre la producción tanto de las químicas y como de las bacteriológicas.

El CESP terminó con sus actividades en 1986 y fue entregado a Argelia[88].

En 1985 Francia contaba con un stock de 435 toneladas de agentes y había desarrollado agentes

---

83 Op. cit. Lejaille, A.: *La guerre des gaz.*

84 Nombre que mantiene hoy dependiendo de la Dirección de Armamentos de Francia y siendo una de las instituciones relevantes en el campo de la defense QBN.

85 En los Acuerdos de Evian de 1962, entre otras cláusulas militares, se establecía el uso de cuatro centros de ensayos, tanto de ADM como de investigación espacial. Entre ellos se encontraba el CEP. https://web.archive.org/web/20070202191839/http://www.el-mouradia.dz/francais/algerie/histoire/accord%20evian.htm

86 Vincent Jauvert: *Quand la france testait des armes chimiques en algérie.* Le Nouvel Observateur – noviembre 1997.

87 Op. cit. Vincent Jauvert: *Quand la france testait des armes chimiques en algérie.*

88 https://www.lematindz.net/news/24404-la-france-a-poursuivi-ses-essais-militaires-en-algerie-jusqua-1986.html. Último acceso el 20 de julio de 2020.

binarios[89]. Pero al momento de la ratificación de la CAQ realizada en París, Francia declaró que había destruido todo su arsenal de AQ.

Estados Unidos

Cuando terminó la Primera Guerra Mundial, la organización y extensión del servicio químico (CWS) fue discutida, pero en 1920 por decisión del Congreso, con la oposición de la cúpula militar, le fue otorgado el carácter de un servicio independiente dentro del ejército. Se le asignaron las funciones de desarrollo, adquisición y suministro de todos los materiales tóxicos, fumígenos, incendiarios, y defensivos relacionados, lo que incluye el entrenamiento del ejército en todos los aspectos de la guerra química, como también la "organización, equipamiento, capacitación y operación de tropas de gas especiales.[90]

El Estado Mayor del Departamento de Guerra ordenó, en 1922, que se suspendieran todos los trabajos de investigación y desarrollo, producción o adquisición de agentes tóxicos y restringió todos los esfuerzos del CWS a medidas defensivas. Aunque este enfoque restringido se reafirmó con frecuencia en los años 1920 y 1930, posteriores enmiendas a la prohibición de la investigación sobre gases tóxicos permitieron cierto trabajo en este campo, bajo la premisa de que uno tenía que conocer el potencial ofensivo de un agente para defenderse de él.[91]

Casi todo el trabajo del CWS se trasladó al Edgewood Arsenal, con sólo la sede central del servicio en Washington, D.C. El arsenal de Edgewood se convirtió en el centro de entrenamiento, almacenamiento, y de investigación y desarrollo.

La depresión económica, combinada con la falta de confianza que las AQ causaban en los mandos del ejército y la escasez de recursos del CWS provocó que pocos fueran los desarrollos en este campo hasta que el incremento de las tensiones internacionales que llevaron a la Segunda Guerra Mundial cambió la perspectiva sobre este tema. Esto puede verse en las partidas presupuestarias asignadas al CWS. De 1927 hasta 1935 se mantuvo en el orden de 1.250.000 dólares estadounidenses por año, (alrededor de 20 millones actuales). En 1939 ya era de 3.000.000 de dólares, en 1941, 60 millones y en 1942 1.000 millones (55; 1.050 y 16.000 millones de dólares estadounidenses actuales, respectivamente). Lo mismo puede verse en el crecimiento del personal del CWS que, en 1933 tenía 77 oficiales y unas 413 tropas; mientras que, en 1940 las cifras fueron 93 y 1.035; en 1941, 833 y 5.059; y en 1943, las cifras alcanzaban los 8.103 oficiales, casi 62.000 tropas y 29.000 agentes civiles.[92]

Recién a partir de 1930 se permitió que el entrenamiento en operaciones ofensivas con AQ pudiese impartirse a todo el personal del ejército, luego de que el auditor general del ejército *(Judge Advocate General)* lo permitiese[93].

Hasta 1937 el ejército conservó el stock de AQ que poseía al final de la Primera Guerra Mundial, pero ese año decidió activar la planta de mostaza de Edgewood para producir unas 150 toneladas adicionales, al mismo tiempo que se renovaba la planta de fosgeno localizada en él. Por esa época, el CWS mantenía en stock las mismas AQ que se habían usado durante la Prime-

---

89 Wetterqvist, F.: *French Security and Defence Policy Current Developments and Future Prospects.* National Defence Research Institute. Estocolmo, 1990.

90 Kleber, B.; Birdsell, D.: *The Chemical Warfare Service: Chemicals In Combat.* Center of Military History. United States Army Washington, D.C, ed 2003.

91 Idem 90.

92 Idem 90.

93 Textbook of Military Medicine: *Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare.* Office of The Surgeon General. Department of the Army, Estados Unidos. 2002.

ra Guerra Mundial, es decir, proyectores Livens, morteros Stokes y munición para artillería de 75; 105 y 155 milímetros[94].

A mediados de los 30, el Ejército trató de mejorar las prestaciones de varias AQ, como los morteros Stokes, amplió el calibre de 104 a 106,68 milímetros (4,2 pulgadas), rayó el tubo, lo que le daba un mayor alcance y precisión o desarrolló un tanque de dispersión para aeronaves (M-10) de carga variable (136 litros de agente HD; L o fumígeno). Asimismo, se comenzó a producir una nueva máscara de protección (M1A2 con careta de goma, lo que permitía que se adaptase con buen sello a la mayoría de las caras), de las cuales Edgewood producía 50.000 por año y se certificó el primer sistema de defensa colectiva (un mecanismo para filtrar aire en instalaciones fijas). También se adoptó un producto desarrollado por la empresa DuPont para decontaminación (*Decontaminating Agent, Non-Corrosive* - DANC).[95]

La inminente entrada en la guerra hizo crecer rápidamente la demanda de agentes, que no podía ser satisfecha por el Edgewood Arsenal. Se construyeron nuevas plantas, el Redstone Arsenal, en Huntsville; Alabama, (producción H, CG y L y almacenamiento)[96]; el Rocky Mountain Arsenal, en el área metropolitana de Denver, Colorado (producción de H, L, y Cl)[97] y el Pine Bluff Arsenal (originalmente llamado *Chemical Warfare* Arsenal), próximo a la localidad del mismo nombre en Arkansas, dedicado a la producción de incendiarios y almacenamiento[98]; junto con otras instalaciones de producción de equipos de protección y el campo de pruebas Dugway *(Dugway Proving Ground)* para ensayos tanto químicos como biológicos, de más de 3.000 kilómetros cuadrados en Utah[99].

Durante la guerra, Estados Unidos produjo unas 146.000 toneladas de agentes químicos. La mayoría fueron producidos en instalaciones militares, como podemos ver en la Tabla 3.

TABLA 3: INSTALACIONES Y AGENTES PRODUCIDOS POR ESTADOS UNIDOS[100] DURANTE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Plantas	Mostaza	Fosgeno	Lewisita	Cloruro de Cianógeno	Mostaza de Nitrógeno
Edgewood	Si	Si	Si (PP)	-	Si (PP)
Rocky Mountain	Si	-	Si	-	-
Redstone	Si	Si	Si	-	-
Pine Bluff	Si	-	Si	-	Si
Plantas privadas	-	Si (1 planta)	-	Si (2 plantas)	-

Los medios de dispersión de agentes usados por Estados Unidos durante la guerra fueron varios. La principal arma fueron los morteros de 106.68 milímetros, de los que se contaban 44 en diciembre de 1941 y de los que se adquirieron 8.000 durante la contienda. Para la artillería se contaba con munición de 75, 105 y 155 milímetros principalmente cargada con Lewisita. En 1945 aparecieron los primeros cohetes de 7,2 pulgadas (182,88

94 Idem 93.

95 Idem 93.

96 Archivo fílmico *Redstone Arsenal Through the Years*. Producido por Michael E. Baker, Command Historian para el US Army Aviation and Missile Command. https://archive.org/details/redstone_years. Último acceso el 20 de julio de 2020.

97 https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a288453.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

98 https://www.globalsecurity.org/wmd/facility/pine_bluff.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

99 https://www.dugwayprovinggroundhousing.com/history#:~:text=Your%20Home%20%2D%20Free-,Dugway%20Proving%20Ground%2C%20UT%20History,drawn%20into%20World%20War%20II. Último acceso el 20 de julio de 2020.

100 Op. cit. *Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare.*

milímetros) cargados con cloruro de cianógeno o fosgeno, lanzados con una tobera múltiple de 24 tubos. También para el combatiente individual se desarrolló un cohete para el bazooka de 2.36 pulgadas (59.944 milímetros) cargado con cloruro de cianógeno. Para la aviación se desarrollaron bombas de 100, 500 y 1.000 libras cargadas con diversos agentes. Además de los tanques de dispersión M33 que, dependiendo de la densidad del agente, podían cargar entre 750 o 1.120 libras (aproximadamente 340 y 508 kilos) de H o L[101] .

El CWS también comenzó a desarrollar medios de protección individual para la población civil. Entre ellos y con la ayuda de Walt Disney desarrollaron una máscara para niños simulando la cara del Ratón Mickey y un protector tipo carpa para bebés[102].

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial, el CWS decidió centrar sus esfuerzos de investigación y desarrollo en los agentes neurotóxicos capturados a los alemanes, y transfirió todo el personal involucrado al Edgewood Arsenal. En 1946 se inició el denominado "Proyecto A1.13", relacionado con la determinación de las constantes físicas y las características del Tabún, preparación de sustancias análogas del mismo para determinar su toxicidad, medios de detección y descontaminación, y el desarrollo de un proceso de fabricación industrial. Estos estudios incluyeron ensayos con armas para determinar su eficiencia con este agente[103].

También se acordó con los británicos un sistema común de codificación para los agentes, aún hoy en uso en casi todo el mundo[104].

En 1946, se cambió el nombre y categoría del CWS, y pasó a ser el Chemical Corps, nombre que aún mantiene, con responsabilidades tanto en el campo militar pero también en el campo civil, entre otras, se le agregaron las funciones de defensa nuclear, y funciones como el desarrollo y producción de pesticidas[105].

Aunque el Cuerpo Químico continuó con los proyectos sobre el Tabún, al descubrir las ventajas operativas del Sarín sobre aquel, en 1946, estableció el Proyecto A1.13-2.1, para el desarrollo de un método para su producción industrial, lo que presentaba una serie de desafíos de ingeniería por la corrosividad y la toxicidad de las sustancias involucradas[106]. Debido a esas dificultades, Estados Unidos recurrió a científicos alemanes que habían trabajado en la producción de sarín durante la guerra para que ayudasen en el desarrollo norteamericano, a cambio de contratos e incluso ciudadanía estadounidense[107].

En este contexto, Estados Unidos, que no había ratificado el Protocolo de Ginebra de 1925, inició una carrera en el campo de las AQ con la URSS.

La alianza entre Estados Unidos, el Reino Unido y Canadá se intensificó, y se estableció en 1947 el Acuerdo Tripartito *(Tripartite Agrement)*[108], para compartir recursos e información sobre ADM, como consecuencia de lo cual, Estados Unidos se dedicaría al etilsarín (GE) mientras el Reino Unido a la de sarín (GB).

---

101 Idem 100.

102 https://www.washingtonpost.com/local/did-you-know-walt-disney-designed-the-worlds-weirdest-gas-mask/2015/09/12/885be808-57d8-11e5-8bb1-b488d231bba2_story.html. Último accesoel 20 de julio de 2020.

103 Op. Cit. Tucker *War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda*

104 Ver anexo.

105 https://www.globalsecurity.org/military/agency/army/chem.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

106 Op. cit Tucker *War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda.*

107 Ver Operación "Overcast" y Proyecto "Paperclip" norteamericanos y el equivalente británico Operación "Matchbox".

108 Martino-Taylor, L.: *Behind the Fog: How the U.S. Cold War Radiological Weapons Program Exposed Innocent Americans.* Routledge, 2017.

Este acuerdo tripartito continuaba la colaboración entre las tres naciones que venía fortaleciéndose desde que Estados Unidos entró en la Segunda Guerra Mundial. Uno de los temas conjuntos que se estaba desarrollando y finalizó ese año, fueron los ensayos de campo realizados en la isla San José, alquilada a Panamá, donde se sometió a tropas de los Estados Unidos a pruebas con distintos agentes para determinar la calidad de los equipos de protección y la eficiencia de distintos tipos de armas, con la participación de aviones de los tres países[109].

Otra de las prioridades del acuerdo era el desarrollo de detectores, respiradores, equipos de protección y antídotos contra los gases neurotóxicos. De la misma manera que sucedió en el Reino Unido, esto motivó el empleo de voluntarios para ser sometidos a pruebas con los equipos y agentes reales. Entre otros lugares donde se realizaban ensayos, en Edgewood, 30 individuos por mes, seleccionados del plantel de los 1500 soldados destinados allí, eran expuestos a distintos agentes[110].

De los agentes estudiados por Estados Unidos, se optó en 1948 por el sarín, después de haberse pensado en el somán, pero la falta de un antídoto eficaz para este último decidió la disyuntiva definiendo al GB como el neurotóxico estándar para ese país[111].

En febrero de 1950, poco antes del inicio de la guerra en Corea, los Estados Unidos ratificaron su política de no primer empleo de AQ, pese a la creciente certeza de la capacidad de la URSS en el campo. La Directiva del Consejo Nacional de Seguridad Nro 62: *"... las armas químicas, biológicas y radiológicas no serán usadas por los EEUU excepto en represalia"*.[112] Esta política se mantuvo durante toda la guerra y recién cambió en 1956.[113]

El comandante del Chemical Corps en 1950 era el mayor general Anthony Clemens McAuliffe, quien se hizo famoso durante el sitio de Bastogne en la Segunda Guerra Mundial[114] y dirigió todos los esfuerzos del cuerpo para la obtención de agentes neurotóxicos. Para esa época, los cálculos de las fuerzas armadas requerían un stock inicial de 48.000 toneladas y una capacidad de 2.000 toneladas mensuales en caso de conflicto[115].

En junio de ese año comenzó la guerra de Corea. Estados Unidos inmediatamente incrementó el gasto en investigación y desarrollo en AQ, aunque como ya se expresó anteriormente, no cambió la política de probable empleo.

Dentro de las operaciones psicológicas de esa guerra, se encuentran las acusaciones del empleo por parte de Estados Unidos de AQ y AB. Estas acusaciones fueron descartadas hasta por la URSS:

> *"Se engañó al Gobierno soviético y al Comité Central del Partido Comunista de la Unión Soviética. La difusión en la prensa de información sobre el uso por parte de los estadounidenses de*

---

109 https://web.archive.org/web/20140731200603/http://www.mcclatchydc.com/2013/10/09/204764/panama-hopes-us-will-clean-up.html. Último acceso el 20 de julio de 2020.

110 https://www.newyorker.com/news/news-desk/secrets-of-edgewood

111 Op. cit. Tucker *War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda*

112 Leitenberg, M.: *New Russian Evidence on the Korean War Biological Warfare Allegations: Background and Analysis.* En Cold War International History Project. Boletín Nro 11.

113 NSC 5062/1 del 15 de marzo de 1956 que expresa: *"En la medida en que la eficacia militar de las fuerzas armadas se vea reforzada por su uso, los EEUU estarán preparados para utilizar armas químicas y bacteriológicas en la guerra general. La decisión sobre su uso será tomada por el Presidente".*

114 Oficial de artillería, fue promovido al grado de Tcnl "temporario" con la movilización en diciembre de 1941. Como brigadier general comandó la artillería de la 101 Div Aerotransportada de los EEUU, en Normandía y durante la operación Market Garden. Cuando se produjo el contraataque alemán que rodeó la Div en Bastogne, el comandante de la misma estaba en EEUU y él quedó a cargo. Intimado a la rendición por los alemanes fue quien les contesto "Nuts" (libremente traducido como "tonterías").

115 Op. cit. Tucker *War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda.*

armas bacteriológicas en Corea se basó en información falsa. Las acusaciones contra los americanos fueron ficticias".[116]

El Chemical Corps decidió compartimentar la producción de Sarín en dos sitios, a efectos de incrementar la seguridad. En uno se producirían las tres primeras etapas del proceso a efectos de obtener el intermediario diclorofosforilmetano (CAS Nro 676-97-1) conocido como "dichlor" y en otro sitio se completaría el proceso. Los lugares elegidos fueron Muscle Shoals en Alabama y el Rocky Mountain Arsenal para el segundo. El Chemical Corps Material Command tomó posesión del primer sitio el 1 de septiembre de 1953 bajo el nombre de *Muscle Shoals Phosphate Development Works*[117]. El segundo sitio fue nombrado como *Incendiary Oil Plant*.[118]

En 1954 se desarrollaron pruebas con la bomba aérea M34 (cluster bomb) que contenía 76 submuniciones cada una cargada con poco más de 1 kilo de sarín. También se estandarizaron un proyectil de artillería de 105 milímetros con unos 800 gramos de GB y otro de 155 milímetros con 3kilos de agente[119].

En 1956 se comenzaron los estudios para la construcción de una nueva planta de neurotóxicos, esta vez para fabricar el agente V descubierto por los ingleses. Al año siguiente se seleccionó un sitio que había estado produciendo agua pesada para el proyecto Manhattan[120] para instalar la planta de producción de este agente, ya denominado VX o V-1701[121]. La planta se instalaría en Indiana y su nombre a partir de 1959 fue Newport Chemical Plant, que operó entre 1961 y 1967.

Motivados principalmente por la necesidad de la armada de almacenar de manera segura las armas a bordo, en los 60, Estados Unidos desarrolló versiones binarias del VX[122].

Debemos mencionar dos empleos de AQ durante la guerra de Vietnam. El uso de sustancias herbicidas y el uso de agentes de control de disturbios en operaciones militares.

Durante la Guerra de Vietnam (1962-1975), tanto Estados Unidos como la República de Vietnam (Vietnam del Sur), en la llamada Operación "Ranch Hand", utilizaron poco más de 74 millones de litros de varios herbicidas con fines tácticos, específicamente para defoliar áreas con el objetivo de reducir la cobertura de las fuerzas enemigas, mejorar la visibilidad en los perímetros de las instalaciones militares y por un corto tiempo para matar los cultivos enemigos. Tanto la Fuerza Aérea como el Cuerpo Químico del Ejército compraron y usaron herbicidas en Vietnam. El herbicida más utilizado fue el Agente Naranja, (ácido 2,4,5-triclorofenoxiacetico llamado también 2,4,5-T); seguido por el Agente Blanco; otros herbicidas tácticos que se utilizaron en Vietnam durante la guerra incluyen al Agente Azul, Agente Púrpura, Agente Pink, y Agente Green. Los nombres de los herbicidas se derivaban de las bandas codificadas por colores alrededor de los tambores de 55 galones (208 litros) utilizados para enviarlos y almacenarlos[123].

Se hizo uso de agentes de control de disturbios, de los cuales tres fueron usados en distintos tipos de operaciones durante la guerra, los lacrimógenos CN y CS; y el vomitivo Adamsita (DM). En opera-

---

116 Resolución del Presídium del Concejo de Ministros de la URSS acerca de las notas del embajador de la URSS en la República Popular China, V.V. Kuznetsov, y del encargado de negocios de la URSS en la RDPC, S.P. Suzdalev, 2 de mayo de 1953.

117 Informe desclasificado: Summary of Major Events and Problems. Report CSHIS-6. Fiscal Year 1954.

118 Hylton, A. R.: *The history of chemical warfare plants and facilities in the US*. US Arms Control and Disarmament Agency. 1972. https://fas.org/irp/threat/cbw/1972_Chemical%20arfarePlantsAndFacilitiesUSA.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

119 Op. Cit. Tucker War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda.

120 Proyecto P-9.

121 Op. cit. Hylton *The history of chemical warfare plants and facilities in the US.*

122 Op. Cit. Tucker *War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda*

123 Buckingham, W.: *The Air Force and herbicides in South East Asia 1961-1971.* Office of the Air Force History. Estados Unidos, 1982.

ciones para desalojar túneles en bases subterráneas y también para crear corredores por los cuales pudiesen pasar aeronaves para abastecer bases aisladas o lanzar defoliantes y así reducir la eficacia de las defensas aéreas enemigas[124] [125].

Para los 80, Estados Unidos disponía de varias opciones binarias, con GB y VX, tanto en bombas de aviación, tanques de dispersión y munición de artillería, (proy M687 de 155 milímetros).

Otra arma desarrollada durante esa época fue basada en el agente incapacitante BZ. Hoffmann-La Roche Inc desarrolló el benzilato de 3-quinuclidinilo en 1951, mientras estaban investigando agentes antiespasmódicos para el tratamiento de condiciones gastrointestinales. Edgewood Arsenal lo investigó bajo el nombre EA 2277 a principios de los años 60 y fue estandarizado para su uso en municiones químicas en 1961 bajo el nombre de Agente BZ. Pero el nombre no oficial del agente surgió como 'Buzz', debido a las aberraciones mentales que supuestamente causó. Unas 50 toneladas de este agente fueron producidas en una empresa civil, Millmaster Chemical y enviadas a Pine Bluff para su carga en armas. Fue usado finalmente en dos sistemas de armas a ser lanzados desde aviones subsónicos, un generador "cluster" (M44 o E154) constituido por tres generadores térmicos M16 (tipo candelas) con paracaídas; y una bomba (M33 o E153) cargada con 57 submuniciones M138.[126]

Cuando Estados Unidos ratificó la CAQ, en 1997, declaró un stock de poco menos de 30.000 toneladas de agentes. A la fecha, más del 90 por ciento de ellos han sido destruidos bajo supervisión de la OPAQ, y los remanentes se encuentran en la etapa final de destrucción.[127]

Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (Guerra revolucionaria)

Durante la guerra civil *(Grazhdanskaya voyna v Rossii)* entre los distintos contendientes que buscaban ocupar el vacío de poder motivado por la caída del régimen zarista, dos fueron los principales, pero no los únicos, contendientes. Por un lado, el Ejército Rojo de los Obreros y Campesinos *(Raboche-krestiánskaya Krásnaya ármiya – RKKA)*, que defendía el ideario bolchevique; y por el otro, el Ejército Blanco *(Belaya Armiya)*, formado por una asociación de fuerzas anticomunistas. Este último recibió el apoyo material y hasta de tropas de diversos países que participaron directamente en la contienda[128]. Entre esos apoyos, los británicos proveyeron AQ a las tropas del teniente general Anton Ivanovich Denikin, comandante en jefe del ejército antibolchevique que operó en el sur de Rusia[129], entre 1919 y 1920.

También las fuerzas británicas[130] que operaron en la Campaña del Norte de Rusia estaban equipadas con este tipo de armas. Los británicos habían desarrollado un tipo de candelas (del tipo de las usadas para generar humo en Loos) pero cargadas con un agente, denominadas "Dispositivo M" que, de manera similar a los cilindros, serían desplegadas, en el orden de miles y esperando vientos favorables para encenderlas, generar la nube. Pero en la campaña de Arcángel *(Arjánguelsk)*, fue-

---

124 Ellison, H.: *Chemical Warfare During the Vietnam War: Riot Control Agents in Combat.* Routledge, 2011.

125 Rottman, G.: *Viet Cong and NVA Tunnels and Fortifications of the Vietnam War.* Bloomsbury Publishing, 2012.

126 http://www.sussex.ac.uk/Units/spru/hsp/documents/CBWCB71.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

127 https://www.armscontrol.org/act/2019-07/news/us-begins-final-cw-destruction. Último acceso el 20 de julio de 2020.

128 Bullock, D.: The Russian Civil War 1918–22. Osprey Publishing. Oxford, 2008.

129 Llamado "Ejército Voluntario" *(Dobrovolcheskaya armiya)*, operó durante la guerra civil como parte de las fuerzas anticomunistas, el Ejército Blanco *(Belaya Armiya)*. Fue la más poderosa de las fuerzas contrarevolucionarias hasta que sus restos fueron integrados con las tropas del general Pyotr Nikolayevich Wrangel.

130 Los británicos desplegaron más de 20 barcos; la Brigada de Infantería 236; el sexto Batallón de los Royal Marines Light Infantry; 52° Batallón del Manchester Regiment; 548th Army Troops Company de los Royal Engineers; y otras unidades, que incluyen dos baterías de Artillería canadienses, y numerosos aviones de la Royal Air Force.

ron empleadas con gran efectividad por primera vez, usando aviones para lanzarlas sobre lugares de reunión de tropas soviéticas.[131]

El primer uso documentado de armas químicas por el RKKA fue durante la rebelión de Tambov en 1921. La provincia de Tambov se encuentra en la confluencia de los ríos Tsna y Volga, en esa época un centro cultural y una importante región de cultivo de granos a unos 500 kilómetros al sureste de Moscú. Durante la Guerra Civil, los Ejércitos Rojo y Blanco lucharon fuertemente en la región. En el apogeo de la guerra de 1919, la política de Lenin de *prodrazvyorstka*, o "requisa alimentaria", legalizó las confiscaciones de granos en grandes cantidades, lo que condujo a una fuerte hambruna entre civiles de muchas regiones rurales, que incluían Tambov. La resistencia campesina contra el Ejército Rojo se intensificó en 1920 en una revuelta regional con Aleksandr Antonov como su líder que movilizó unos estimados cincuenta mil insurgentes, incluidos muchos desertores del Ejército Rojo. El Consejo Militar Revolucionario (RVS) envió al general Mikhail Tukhachevsky[132] para reprimir la rebelión[133]. El 21 de junio de 1921 ordenó el empleo de AQ diciendo:

> *" . para recuperar los bosques donde se esconden estos gánsteres, utilizar gases venenosos para limpiar con la precisión de la nube de gases asfixiantes todo el bosque, destruyendo todo lo que esté oculto en él"*[134]

Imperio del Japón

De la misma manera que lo expresado en el capítulo referido a AB, el Imperio de Japón condujo un agresivo programa de AQ, a partir de 1925, empleándolas profusamente en sus campañas contra China hasta fines de la Segunda Guerra Mundial.

Recordemos que Japón no había ratificado los Protocolos de Ginebra de 1925 sobre AQ y AB, ni lo haría hasta la década del 70, por lo que no se consideraban obligados a restringir el uso de este tipo de herramientas[135]. Para mediados de los años 30 se encontraban incorporados como un arma más dentro del arsenal japonés, a tal punto que el ejército publicaba una serie de folletos llamados "Lecciones del Incidente Chino" donde se enunciaban las experiencias obtenidas de su empleo.

Un reporte soviético de la época indica que las unidades japonesas que operaban en China tenían un stock de 25 por ciento de munición química para artillería y un 30 por ciento de las armas de aviación eran también de ese tipo[136].

Existen registros de más de 2.000 ocasiones, desde 1937 a 1945, en que los japoneses usaron AQ, principalmente en el Teatro de Operaciones de China, y unas pocas en el teatro del Pacífico, siendo estos incidentes los únicos donde se usaron este tipo de armas durante la Segunda Guerra Mundial[137]. Las estimaciones de víctimas en el teatro chino oscilan entre 36.968 y 80.000, incluidos tanto personal militar como civiles[138].

---

131 Foulkes, C. H.: Gas, Gas. *The story of the Special Brigade.* W. blackwood & Sons, Limited. Londres, 1934.

132 El general Mikhail Nikolayevich Tukhachevsky, llamado por la prensa de la época el Napoleón Rojo, alcanzó el rango de Mariscal de la URSS pero su carrera se vio truncada por una de las purgas de Stalin en 1937.

133 Ian Ona Johnson, "Lenin's Forgotten War in Tambov," Dissident, noviembre de 2016.

134 Citado en Zhang, Yun, *"A Reciprocal Reaction: The USSR Chemical Weapons Program and Its Influence on Soviet Society through Three Civilian Groups"* Honors Theses. Paper 939. 2019.

135 Para que un tratado entre en vigor en un país debe ser ratificado por los órganos que cada país tiene para ese fin. Existe la discusión sobre si ser signatario es suficiente para generar la obligación de adherencia a los objetivos del tratado. Japón firmó el Protocolo de Ginebra en 1925, pero recién lo ratificó en 1970.

136 FOA reports.

137 Grunden, W.: *No Retaliation in Kind: Japanese Chemical Warfare Policy in World War II.* En One Hundred Years of Chemical Warfare: Research, Deployment, Consequences. Estados Unidos, 2017.

138 https://www.archives.gov/files/iwg/japanese-war-crimes/introductory-essays.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

En China, las fuerzas militares japonesas a menudo se encontraban en una desventaja numérica y utilizaban AQ como un multiplicador de fuerzas, contra un enemigo que no poseía ni armas de la misma clase ni medios de protección para sus tropas. En la mayoría de los casos, los japoneses utilizaron gases lacrimógenos y otros irritantes, pero también se registraron numerosos eventos con agentes letales. El combate en el Teatro del Pacífico fue un asunto diferente debido a que los japoneses se enfrentaron principalmente a las fuerzas armadas de los Estados Unidos, que no sólo tenían la capacidad de represalia de la misma clase, sino que estaban respaldados por una capacidad industrial nacional que podría aniquilar totalmente a Japón con armas químicas en caso de que los japoneses iniciaran este tipo de guerra.

El programa de AQ de Japón creció a lo largo de las décadas de 1920 y 1930, a partir de esfuerzos por parte del ejército y la armada. Durante la Segunda Guerra Mundial, tres instituciones militares serían las encargadas de la investigación y desarrollo sobre AQ en Japón: el Sexto Instituto Técnico del Ejército dependiente del Instituto del Ejército de Investigaciones Científicas, el Tercer Laboratorio del Servicio Aéreo del Ejército Imperial japonés y el Departamento de Investigación Naval Sagami de la Armada Imperial japonesa[139].

Inicialmente en 1918 y luego en 1921, el ejército comisionó al teniente coronel Taneki Hisamura y al doctor Chikahiko Koizumi para viajar a Estados Unidos y a Europa a investigar las plantas de producción de agentes y armas químicas existentes, y fue el primero invitado a visitar el Arsenal de Edgewood, en Estados Unidos. Como consecuencia de sus informes, se formó un grupo a órdenes de Hisamura, que incluyó al doctor Koizumi, y que recibió cantidades crecientes de fondos para investigación y desarrollo y la construcción de instalaciones.

En 1925, el grupo de investigación de AQ japonés se convirtió en la tercera Sección del Instituto de Ciencia y Tecnología del Ejército y fue dividido en cinco grupos: producción y desarrollo de agentes; desarrollo de armas especiales e investigación de sus efectos; métodos de protección antitóxica; investigación del efecto de las condiciones meteorológicas; y experimentos con animales e investigación de tratamiento de víctimas. Ese año el grupo recibió ¥ 300.000 para investigación y desarrollo y ¥ 1.200.000 para construir una planta de producción (a valores presentes representarían unos US$ 1.800.000 y US$ 7.500.000, respectivamente). Esta última se comenzó a instalar a partir de 1927 en la isla de Okunoshima y sería la principal planta de producción de AQ mientras duró el conflicto[140].

La isla tenía una circunferencia de pocos kilómetros y se encontraba en el Mar Interior, en la prefectura de Hiroshima, lo que facilitaba su seguridad y el mantenimiento del secreto de sus actividades. En mayo de 1929, comenzó la producción de agentes lacrimógenos y mostaza. A capacidad máxima, podía producir mensualmente unas 200 toneladas de gas mostaza (H), 50 toneladas de lewisita (L), 80 toneladas de difenilcianoarsina (DC), 50 toneladas de ácido cianhídrico y 2,5 toneladas de cloroacetofenona (CN).

En 1933 se estableció una Escuela de Guerra Química en Narashino, prefectura de Chiba, dependiente del Inspector General de Educación Militar que sirvió como la principal instalación de entrenamiento tanto para el Ejército Imperial Japonés como la Marina. Todas las tropas japonesas y un gran número de reservistas habrían recibido entrenamiento en operaciones en ambiente químico, en particular, sobre defensa antitóxica.

---

139 Robinson, J. P.: *The Rise of CB Weapons: The Problem of Chemical and Biological Warfare: A Study of the Historical, Technical, Military, Legal, and Political Aspects of CBW, and Possible Disarmament Measures*, vol. 1. Atlantic Highlands: SIPRI, 1971.

140 Tanaka Yuki: *Poison Gas, the story Japan would like to forget.* Bulletin of Atomic Scientist. Octure de 1988.

El primer empleo de sus AQ fue registrado el 18 de julio de 1937. Los informes sobre el uso japonés de estas armas aumentaron constantemente a medida que el conflicto en China se prolongó y la situación de la guerra empeoró. En una batalla de tres días que comenzó el 8 de octubre de 1941, en el frente del rio Yangtze, las fuerzas japonesas mantuvieron un fuego de preparación de artillería con munición química durante más de cuatro horas y además lanzaron más de 300 bombas químicas sobre las posiciones chinas (Incidente de Ichang). Una investigación llevada a cabo por personal del Servicio de Guerra Química de los Estados Unidos (CWS) confirmó que se habían utilizado mostaza, lacrimógenos y probablemente lewisita. En esta operación hubo 1.600 víctimas confirmadas, 600 de las cuales fueron fatales[141].

Al término de la contienda, la planta de Okunoshima fue destruida por las tropas de ocupación norteamericanas. Toda la información capturada fue clasificada y no compartida con el resto de los aliados y el personal, lo mismo que en el caso de las AB, no fue sometido a juicio.

Una de las consecuencias del empleo de estas armas en el teatro chino son los stocks de AQ abandonados cuando Japón procedió a retirarse y que aún hoy continúan descubriéndose en ese país y que se calculan entre 300.000 y 400.000 proyectiles y contenedores cargados con distintos agentes. El ejército japonés en retirada ante el ataque sorpresivo de tropas soviéticas trató de deshacerse de la manera más rápida posible de las AQ que poseía, desde arrojar tambores cargados con agente a granel al rio Nenjiang (Unidad 516); hasta cavar grandes fosas donde se enterraron también tambores (Unidad 526)[142].

Alemania

Las sanciones impuestas a Alemania al finalizar la Primera Guerra Mundial le prohibían a esta producir o importar AQ, por lo que se destruyeron los stocks de estas armas y clausuraron las plantas que las producían. Si bien el Kaiser Wilheim Institut de Berlín había sido cerrado, los científicos que trabajaban en él relacionados con AQ continuaron haciéndolo en el área de la defensa contra AQ en el Campo Principal de Protección contra Gas *(Hauptgasschutzlager - H.G.L.)* que funcionó en Berlín hasta 1921 que se mudó a Hannover. Su trabajo consistía principalmente en el mantenimiento de las máscaras utilizadas por las fuerzas armadas. La empresa Auergesellschaft, fue la encargada de diseñar y producir nuevos equipos de protección durante todo este período. Las pequeñas cantidades necesarias para el testeo de los equipos de protección eran fabricados en un laboratorio de la Escuela Superior Técnica *(Technische Hochschule)* de Berlín-Charlottenburg, donde también por esa época se comenzó a investigar sobre nuevos agentes.

A partir de la firma del Tratado de Rapallo, en 1922,[143] entre las actividades previstas entre las dos naciones, se incluyó un programa conjunto de producción de AQ y de investigación y desarrollo en ese campo. Este programa fue llamado Tomka y se estableció en Shikhani, en la zona de Saratov. Unos treinta científicos alemanes trabajaron aquí desde 1928, cuando se inauguró la instalación hasta 1931, y unos pocos hasta 1933, junto con gran cantidad de personal soviético. Principalmente el trabajo conjunto estuvo relacionado con el agente H, particularmente su toxicología y compor-

---

141 Nick McCamley: *Secret History of Chemical Warfare.* Casemate Publishers. Estados Unidos, 2007.

142 https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/CSP/RC-2/en/RC-2_NAT.4-EN.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

143 Este Tratado entre la URSS y el Deutsches Reich (más conocido como la República de Weimar) tenía una parte secreta en la que se establecía un programa de colaboración entre las dos naciones que le permitía a Alemania evadir alguna de las sanciones impuestas en el Tratado de Versalles y a la URSS acceder a tecnologías y entrenamiento. Además del proyecto Tomka, relacionado con AQ, involucró la instalación de una planta de fabricación de aviones hecha por la empresa Junkers; una planta de material de artillería Krupp; una escuela de pilotos y una de tropas blindadas; y un puerto militar cerca de Mursmansk, la base de Polyarny, que fue construida especialmente para la armada alemana y que aún hoy sigue en servicio, y que es una de las principales bases navales rusas.

tamiento bajo condiciones meteorológicas extremas, para lo que se construyeron y ensayaron distintos tipos de armas experimentales. También se trabajó en el campo de protección, detección y medidas terapéuticas relacionadas con este agente.

De todas maneras, en 1931, el estado mayor alemán (*Truppenamt* – Oficina de Tropas, fue el nombre bajo el cual se encubrió el estado mayor de las fuerzas armadas alemanas entre las dos guerras, pues este había sido prohibido por el Tratado de Versalles) decidió en sus planes operacionales para los años 1933/38 que no sería prioritaria la adquisición de capacidades ofensivas en AQ, aunque la oficina de armamentos (Waffenamt) continuó apoyando el hecho de poseerla[144].

A partir de 1936, se estableció el Inspectorado de Tropas Químicas y Defensa contra Gases *(Inspektion der Nebeltruppe und Gasabwher)*. Al mismo tiempo, la oficina de armamentos se encargaba de laboratorios de investigación y desarrollo en la ciudadela de Spandau *(Zitadelle Spandau)*; de una planta piloto de producción en Munster[145] y de un campo de pruebas de 120 kilómetros cuadrados en Raubkammer[146]. En este último también funcionaba un campo de pruebas de la fuerza aérea.

También en 1936, el doctor Gerhard Schrader, un químico alemán de 33 años, que estaba trabajando en la creación de nuevos pesticidas en una planta de la IG Farben, encontró una sustancia sumamente tóxica que atacaba al sistema nervioso, y que lo hizo permanecer en el hospital por varias semanas. Esta sustancia, llamada Preparación 9/91, siguiendo las directivas recibidas por la empresa, fue enviada al laboratorio militar de la ciudadela de Spandau, donde los científicos que la investigaron decidieron denominarla con la palabra alemana para el tabú, por la que se la nombró Tabún (GA). Dos años después descubrió otra sustancia aun más tóxica, a la que llamó Sustancia 146. También esta fue enviada a Spandau, donde decidieron nombrarla en honor a sus desarrolladores como Sarín (por Schrader, Ambros, Ritter, y von der Linde). Así había nacido un nuevo tipo de armas químicas, los agresivos neurotóxicos (gases nerviosos), los cuales solo fueron poseídos por Alemania hasta el final de la Segunda Guerra Mundial, lo que causó la sorpresa de los aliados, que no disponían de ningún medio de defensa contra estos agentes[147].

En 1938 se abrieron la Escuela de Defensa contra Gases del Ejército (Heerengasschutzschule) cerca de Hannover, junto con la Escuela de Tropas Fumígenas *(Nebeltruppenschule)*.

Para ese momento el ejército contaba con seis batallones de tropas químicas y para 1940 se habían movilizado quince batallones más, bajo la denominación de destacamentos fumígenos *(Nebel Abteilung)*, tanto por su función de generación de cortinas de humo, como para ocultar su probable empleo con AQ.

La producción de equipos de protección estuvo a cargo de la empresa Dräger[148] y de la mencionada empresa Auergesellschaft[149].

Hacia el final de la Segunda Guerra Mundial, 17 plantas en operación producían agentes, y tres plantas más estaban en construcción. Las de mayor capacidad se dedicaban a la fabricación de ve-

---

144 Carsten, F.: *The Reichswehr and politics* 1918-1933. Oxford, 1966.

145 Cerca de 6.000 efectivos trabajaron en las plantas de AQ en Munster, denominadas Gasplatz Breloh, construidas en 6.500 hectáreas, donde se produjo cerca del 25 por ciento de la munición química de los alemanes en la Primera Guerra Mundial. Hoy funciona en esa misma área el Grupo para la Desactivación de Munición (Gruppe für Kampfmittelbeseitigung), el Instituto de Investigación sobre Defensa Química (Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien) y la Sociedad para la Eliminación de Agentes de Guerra Química y Armamentos (Gesellschaft zur Entsorgung chemischer Kampfstoffe und Rüstungsaltlasten).

146 Geissler, E.; et al.: *Conversion of Former BTW Facilities.*

147 https://cen.acs.org/articles/94/i41/Nazi-origins-deadly-nerve-gases.html. Último acceso el 20 de julio de 2020.

148 https://www.draeger.com/Corporate/Content/the-history-of-draeger-en.pdf. Último acceso 20 de julio de 2020.

149 Esta empresa fue adquirida por el conglomerado Degussa en 1934. Hoy continúa operando con el nombre de Evonik. https://history.evonik.com/sites/geschichte/en/timeline/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

sicantes (5.400 toneladas/mes de HD; 100 de HN3), mientras una planta de 1000 toneladas/mes producía Tabún (GA). Dos de las plantas en construcción estaban destinadas a producir un total de 600 toneladas/mes de Sarín (GB)[150].

Al final del conflicto, la mayoría de las plantas fueron destruidas por los aliados. Pero las tropas soviéticas pudieron capturar dos plantas relativamente intactas, una de ellas la de producción de Tabún que fue desarmada, trasladada y rearmada en Volgogrado, donde también fue llevado parte del personal[151].

Los aliados capturaron también unas 300.000 toneladas entre munición química terminada y agentes a granel, los cuales fueron destruidos, al hundirse la mayoría en el mar[152].

Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas - Federación Rusa

De todos los programas conocidos de AQ, el de la URSS fue el de mayor envergadura, ya que involucró la mayor cantidad de recursos nacionales, la mayor producción de agentes y munición químicos y el avance sospechado sobre agentes no conocidos por ningunos de los otros poseedores de este tipo de armas.

Al finalizar su participación en la Primera Guerra Mundial, en 1917, el ejército soviético concluyó que las armas químicas eran "un arma extremadamente poderosa y bestial", y que "su propia inferioridad técnica las había puesto en una terrible desventaja"[153]. No sólo las experiencias de ese conflicto, sino las obtenidas durante la guerra civil y la guerra con Polonia, durante los años inmediatos a la caída del régimen zarista, habían preparado a la conducción soviética para no solo aceptar, sino para activamente alentar el empleo de AQ.

Asimismo, como vimos en la sección referida a Alemania, dentro de las cláusulas secretas del Tratado de Rapallo de 1922, se estableció una fuerte relación entre las fuerzas armadas de ambas naciones, motivados por el aislamiento que ambas habían sufrido, una por su derrota y sanciones al finalizar la Primera Guerra Mundial y la segunda por la revolución comunista. Esta relación se mantuvo hasta el arribo del nazismo al poder en Reich alemán, que cortó la vinculación militar, en 1933.

Dentro de ese contexto, el primer laboratorio de AQ soviético inició sus operaciones en Moscú en 1923 y enriquecido por la experiencia obtenida de la participación alemana, a principios de la década del 20, comenzó a operar una instalación en la localidad que hoy se llama Shikhany. Ésta se encuentra a unos 100 kilómetros de Saratov, a orillas del rio Volga, en el sur de la Rusia europea. Allí se estableció una instalación secreta próxima a una pequeña población de ese lugar, llamada Volsk-18 bajo el nombre de código "Tomko", conjuntamente con Alemania, en cumplimiento del tratado soviético-alemán sobre producción de AQ de 1925.

Son interesantes los esfuerzos realizados por los dos países para ocultar la naturaleza de las operaciones llevada a cabo en ese lugar. De acuerdo a las declaraciones del mayor general Nikolai Serafimovich Antonov, quien fuese director de este establecimiento como coronel ingeniero, entre 1968 y 1970, el proyecto Tomko fue llevado adelante por sociedades anónimas ficticias de ambos países, la rusa, como una sociedad encargada de combatir pestes agrícolas y de producir fertilizantes sintéticos, mientras que del lado alemán era para asesorar en el uso de materias

---

150 US Strategic Bombing Survey: *Powder, Explosives, Special Rockets and Jet Propellant, War Gases and Smoke Acid.* Ministerial Report 1. Oil Division. Washington, 1947. Exhibit CD.

151 Croddy, E.; et al.: *Chemical and Biological Warfare: A comprehensive survey for the concerned citizen.* Springer Verlag. Nueva York, 2002.

152 NATO Science Partnership: *Sea dumped Chemical Weapons and the Chemical Weapons Convention.* Springer Science & Business Media, 2013.

153 https://digitalcommons.colby.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1951&context=honorstheses. Último acceso el 20 de julio de 2020.

primas. En el texto, los obuses eran llamados "artefactos metálicos", la munición "bolas", etc. El personal alemán participante tenía prohibido relacionarse con la población local o abandonar el sitio, ni para ir al pueblo de Volsk.[154]

Hasta el 2019 fue una "ciudad cerrada", y aún hoy funcionan allí varias unidades militares relacionadas con AQ, particularmente el Instituto Científico y de Investigación en Defensa Radiológica y Química (*NII Radiatsionnoy Khimicheskoy i Biologicheskoy Zashchity* - NII RKHBZ)[155], que ocupa un área de 460 kilómetros cuadrados.

En 1928, Joseph Stalin, Secretario General del Comité Central del Partido Comunista de la Unión Soviética, tomó dos medidas importantes que revitalizaron su programa de AQ, al crear el Directorado de Química Militar (*Voenno-khimicheskoe upravleni*e – VOKhIMU) para supervisarlo, e implementar un plan para reconstruir las capacidades industriales de Rusia. La fuerte inversión en la industria química soviética hizo que la producción química de la Unión Soviética aumentara rápidamente, del 5 por ciento de la producción mundial en 1929 al 18,5 por ciento en 1936.[156]

Gracias a esos esfuerzos, en la década de 1930, el programa soviético había alcanzado un nivel similar al de las otras naciones industriales de la época. La Unión Soviética producía mostazas, tanto sulfúricas como del nitrógeno, lewisita, fosgeno, difosgeno, adamsita, difenildicoroarsina, difenilcianoarsina, cloroacetofenona, y cloropicrina.

La invasión a la URSS en 1941 tomó al país por sorpresa y aunque los soviéticos habían acumulado un vasto arsenal de AQ durante los años previos, no las emplearon para detener el avance alemán, ni tampoco durante el resto de la conflagración, aun cuando estaba previsto en su doctrina. A ese respecto, en 1930, el académico Alexei Nikolaevich Bach, importante científico químico soviético, proclamaba durante el XVI Congreso del VPK(b)[157] que la victoria en las guerras futuras se decidiría *"no por el metal, sino por las sustancias químicas; no por bayonetas y proyectiles, sino por gases venenosos"*.[158]

Como dijimos cuando hablamos del programa alemán, en las etapas finales de la guerra, el Ejército Rojo capturó la fábrica de Tabún, en Dyhrenfurth, Polonia, completa, pese a los bombardeos aliados contra esta, y los intentos de destruirla por parte de la fuerza aérea alemana. Los soviéticos pudieron obtener las líneas de fabricación, líneas de llenado de munición y los depósitos de materias primas. El Tabún que estaba en depósito había sido destruido por los alemanes[159].

En 1948 comenzó la producción de Tabún en Beketovka, a pocos kilómetros de la entonces llamada Stalingrado, hoy Volgograd, donde los soviéticos copiaron el diseño de la fábrica alemana cuando la reconstruyeron en el Complejo Químico N° 91 (Khimicheskiy Zavod N° 91). Este era un parque industrial dedicado a la química que había sido concebido durante el plan quinquenal de Stalin a fines de los 20; y que podrían producir unas 2.000 toneladas de productos químicos al mes. La Unión Soviética disfrazó la planta como una instalación comercial que divide la producción química entre AQ (35 por ciento) y productos comerciales (65 por ciento). Este modelo se usó para otras plantas de producción de AQ.

---

154 Croddy, E.: *Weapons of Mass Destruction,* Vol I. ABC-Clio Ed. Estados Unidos, 2005.

155 Existen numerosas alegaciones de que en este lugar se habrían desarrollado los agentes neurotóxicos llamados Novichok.

156 Ibidem 78.

157 El Partido Comunista de Toda la Unión (bolcheviques), abreviada VPK(b) por sus iniciales rusas, fue el antecesor inmediato del Partido Comunista de la URSS, desde 1925 hasta 1952.

158 Citado por Fedorov, L. A.: *Chemical Weapons in Russia: History, Ecology, Politics.* Center of Ecological Policy of Russia. Moscú, 1994.

159 Ante el avance soviético, los alemanes organizaron una operación con un batallón que se infiltró hasta la planta y logró destruir la documentación y volcar unas 12.000 ton de GA en el río Oder.

Además de la maquinaria de producción, también se capturó a varios de los profesionales que trabajaban en la instalación, entre ellos su gerente, el doctor Bernd von Bock, quienes fueron llevados a trabajar en la planta, lo que permitió que para 1949 el Tabún ya fuese incluido en el inventario de agresivos operacionales del RKKA. Además de la planta de Tabún, los soviéticos capturaron la planta piloto de sarín por lo que partieron con una gran ventaja sobre el resto de los aliados con respecto a los agentes neurotóxicos[160].

En el ejército, los asuntos relacionados con AQ fueron dirigidos inicialmente por la Administración Militar-Química (VOKhIMU) del RKKA, que luego devino en el Directorado de Fuerzas Químicas (UNKhV). Luego de la última restructuración de las fuerzas armadas rusas, las responsabilidades fueron tomadas por las Fuerzas de Protección QBN (*Voyska radiatsionnoy, khimicheskoy i biologicheskoy zashchity Vooruzhonnykh sil Rossiyskoy Federatsii* - Voyska RKhB zashchity) como una rama independiente dentro de las fuerzas armadas de ese país. De todas formas, en la orgánica aún vigente, existen elementos de defensa QBN a casi todos los niveles de las fuerzas operacionales, desde una sección a nivel unidad hasta un batallón a nivel Ejército[161].

A lo largo de los años de la posguerra y hasta el presente, el UNKhV ha tenido un comité científico-técnico. En realidad, este es un instituto que estuvo y está involucrado en la planificación militar-química, lo que incluye la determinación de objetivos que merecen la atención de los "dispositivos químicos". Actualmente el instituto tiene el nombre oficial de Unidad N° 64518.

En la industria, el trabajo en el desarrollo de armas químicas fue realizado inicialmente por el VOKhIM. Luego de varios cambios de dependencia, en 1939 se creó el ministerio de la industria química con el nombre de Primera Administración Principal del Comisariado Popular de la Industria Química (*Narkomkhimprom* - MKhP). Bajo esta organización pasó por los años de la guerra hasta los 60, cuando el MKhP fue reorganizado en el Comité Estatal del Consejo de Ministros de la URSS sobre Química (GKhK), y más tarde en el GKhK afiliado a la Comisión de Planificación Estatal de la URSS. En 1963, se instituyó la Asociación de Síntesis Orgánica de la URSS *(Soyuzorgsintez)*, de la que dependían todas las plantas operativas de armas químicas, y que dirigió la producción de estas armas en la Unión Soviética hasta finales de los años 80, y el desarrollo de armas hasta 1993[162].

El apoyo de higiene y seguridad a las plantas productivas se desarrollaba durante los años de la URSS en los Institutos de Higiene Laboral y Enfermedades Ocupacionales (*Institut Gigiyeny Truda i Profzabelevanii* – IGTiP) de la Academia de Ciencias Médicas (Akademiya Meditsinskhik Nnauk CCCP), en Moscú y en Nizhniy Novgorod.

La producción de nuevas generaciones de AQ fue manejada por institutos y plantas especializadas del Ministerio de Defensa, el Ministerio de Industria Química y el Ministerio de Salud Pública de la URSS.

Los principales institutos dependientes del Ministerio de Salud Pública para llevar adelante investigación y desarrollo en este campo fueron el Instituto de Biofísica (originalmente *Institut biologicheskoy fiziki AN SSSR* y desde los 90: *Institut teoreticheskoy i eksperimental'noy biofiziki AN SSSR*)[163] de Moscú; y el Instituto de investigación sobre Higiene, Patologías Ocupacionales y Ecología Humana, (*Nauchno-issledovatel'skiy institut gigiyeny, profpatologii i ekologii cheloveka* - NII GPECH)[164] de San Petersburgo (en ese entonces Leningrado), y su filial en

---

160 Tucker, J.: *War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda.*

161 https://eng.mil.ru/en/structure/forces/ground.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

162 http://levfedorov.ru/chemwar-1-1/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

163 https://iteb.ru/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

164 http://rihophe.ru/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

Volgograd. Ellos eran parte del Tercer Directorado Principal del Ministerio de Salud Pública, cuyas responsabilidades hoy descansan en la Agencia Federal Biomédica *(Federal'noye mediko-biologicheskoye agentstvo)* dependiente del mismo ministerio. También se incorporó a este sistema el Instituto de Investigación Científica "Medstatistika" (Federal'noye Gosudarstvennoye Unitarnoye Predpriyatiye "Nauchno-Issledovatel'skiy Institut " Medstatistika)[165]. La misión de este instituto especialmente creado era reunir toda información vinculada a toxicidad de sustancias, basados en información pública, pero también evaluando información recolectada por medios encubiertos.

El desarrollo de tecnologías para la producción de agentes y las correspondientes municiones químicas estaba ligado a la actividad de una red de organismos que incluían institutos de producción, diseño y pruebas dependientes tanto de la industria química como de las fuerzas armadas.

La producción de agentes químicos a escala industrial y las plantas conexas de carga de munición se instalaron principalmente en la cuenca del Río Volga, en más de siete localidades[166].

El principal ente para investigación y desarrollo sobre AQ fue creado en 1924, como un laboratorio del Comisariado Popular de Industria. Este fue el Instituto Estatal de Investigación de Química Orgánica y Tecnología (Gosudarstvennyy nauchno-issledovatel'skiy institut organicheskoy khimii i tekhnologii – GosNIIOKHT) de Moscú, a partir de entonces, principal instituto soviético de desarrollo de armas químicas. El GosNIIOKHT actualmente tiene cuatro divisiones, además de su sede central en Moscú: una en Shikhany, una en Novochebosarsk; otra en Lebedyan; y la última en Yenisei.[167]

Existieron numerosos campos de prueba para AQ en la URSS, entre los principals se encuentra el ya mencionado como parte de las instalaciones de Shikhany y el de Nukus, en la actual Uzbekistán[168].

En general, se clasifica a los agentes en tres generaciones, vinculadas tanto a las tecnologías de producción, como a las características operacionales de los agentes y su forma de empleo[169].

Los agentes considerados de la primera generación fueron los que se obtuvieron durante la Primera Guerra Mundial, provistos por los británicos o copiados de ellos en el período entre las guerras, con la ayuda de Alemania, fundamentalmente en el GosNIIOKHT.

La segunda generación incluye los agentes neurotóxicos, que comenzaron a ser desarrollados a partir de los obtenidos de las plantas y científicos capturados al final de la Segunda Guerra Mundial, aunque existen antecedentes de 1943. La URSS mantuvo tres de estos agentes en armas en servicio hasta los 90, Sarín, Somán y Vx (la versión soviética del VX angloamericano).

La tercera generación de agentes, que fueron desarrollados a partir de 1973, dentro del proyecto Foliant incluyó los llamados "agentes binarios", es decir agentes cuyos precursores, de muy baja o nula toxicidad, son mezclados en el instante previo a su empleo, los cuales reaccionan y forman la sustancia tóxica buscada. De esta generación, provienen varios agentes neurotóxicos. Otros de los objetivos del proyecto Foliant era buscar agentes indetectables por los equipos utilizados por la OTAN y que actuaran aún sobre personal protegido[170].

---

165 Citado por K. Alibek como también realizando inteligencia sobre AB.

166 Op. cit. Tucker *War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda.*

167 http://gosniiokht.ru/content/about/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

168 Op. cit. *Tucker War of Nerves: Chemical Warfare from World War I to Al-Qaeda.*

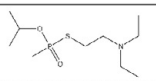
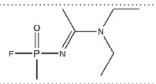
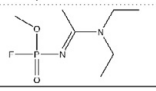
169 https://fas.org/nuke/guide/russia/cbw/jptac008_I94001.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

170 Vásárhelyi, G; y Földi, L.: *History of Russia's chemical weapons.* AARMS,6, pp. 135-146 2007.

En la Tabla 4, podemos ver un resumen de algunos agentes estudiados dentro de esa generación, el A-230; un agente V y el Novichock 5[171]. Este último sería la versión binaria del A-232.

Se supone que estos agentes son superiores a cualquier contraparte extranjera, cinco a diez veces más tóxicos que la segunda generación de neurotóxicos, y resistentes al tratamiento médico. Además, son relativamente fáciles de fabricar, con materias primas de fácil acceso[173].

TABLA 4: ALGUNOS AGENTES NEUROTÓXICOS SOVIÉTICOS Y RUSOS SEGÚN EL DR MIRZANOV[172]

AGENTE	Otros nombres	Estructura
A 208	Tipo 33 - Vx	
A 230	Tipo 84	
A-232	Novichok-5	

La producción industrial de AQ en la Unión Soviética continuó hasta 1987. Ese año se expuso un muestrario de las AQ en servicio en la URSS frente a representantes oficiales de diferentes naciones y de prensa que se desplegarían en ese momento en el ejército soviético: seis tipos de municiones cargadas con agentes de primera generación (lewisita y mezcla de HD-lewisita), ocho tipos de munición cargadas con agentes G (con sarín y somán), cuatro tipos de munición cargadas con Vx. Además, se mostraron 18 tipos de AQ cargadas con el agente de control antidisturbios CS[174].

El arsenal químico ruso al momento de acceder a la CAQ se encontraba distribuido en siete sitios, dentro del territorio ruso, lo que totaliza en el orden de las 40.000 toneladas de agentes, distribuidos a granel o contenidos en distintos tipos de munición. Un 80 por ciento del stock de agente declarado correspondía a neurotóxicos. Rusia completó la destrucción de todo su arsenal químico en septiembre de 2017[175] [176].

Otros países

Como dijimos en la introducción muchos países trataron de adquirir o adquirieron capacidades ofensivas con AQ. Algunos a través de transferencias de estas armas desde otros países (caso de Albania); y otros las trataron de desarrollar y producir. Al momento de unirse a la OPAQ, a partir de 1997, ocho países, Albania, India, Irak, Libia, la Federación Rusa, Estados Unidos y Siria, declararon poseer stocks de AQ. Todos ellos los han destruido, y fue Estados Unidos el último país que está en proceso de terminar con su remanente; bajo supervisión permanente de la OPAQ[177].

---

171 Ver Trentádue, C.: *Guerra de Nervios*. FIE. TEC1000. 2018.

172 Los datos mostrados en la tabla son un resumen de los que aparecen en el libro de Mirzanov: *State Secrets: An Insider's Chronicle of the Russian Chemical Weapons Program*. Las estructuras mostradas nunca fueron confirmadas sido confirmadas por la Federación Rusa.

173 Ídem 172.

174 Los mostrados incluían proyectiles de artillería ACX de 122 milímetros, de 130 y 152; cohetes de 122 milímetros, de 140 milímetros (para el BM-14), de 240 milímetros (para el BM-27 Uragan); Bombas de aviación de 250 kilos; Spray Tanks de 250 kilos, Cohete FROG-7B y la cabeza de combate de un R-300 (también conocido como SCUD B o SS1c o R17). Ibidem 90 y https://hansdevreij.com/2016/10/09/shikhany-1987/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

175 https://www.opcw.org/media-centre/news/2017/10/opcw-marks-completion-destruction-russian-chemical-weapons-stockpile. Último acceso el 20 de julio de 2020.

176 http://levfedorov.ru/chemwar-1-1/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

177 https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2019/12/c2404%28e%29.pdf. De acuerdo a la Nuclear Threat Initiative la República de Corea también habría declarado posesión de AQ al momento de ratificar y las habría destruido a principios de los 2000. https://www.nti.org/learn/countries/south-korea/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

Otros países, como los que ya vimos previamente, tuvieron programas relacionados, pero destruyeron sus armas y plantas productivas previo a su ingreso a la OPAQ, como, entre otros, Irán y China.

El programa de mayor extensión fue el de **Iraq**. La historia en detalle de este programa ha sido ampliamente estudiada por las comisiones de las Naciones Unidas, UNSCOM y UNMOVIC. Iraq usó estas armas en su guerra con Irán y también en conflictos internos contra su propia población[178].

Luego de varios inicios desde los años 60, que no fueron exitosos, la guerra entre Irán e Iraq, desde 1980 a 1988, dio un nuevo impulso a la investigación de armas químicas. En junio de 1981, Iraq fundó el Proyecto 922, dentro del Ministerio de Defensa, para supervisar el desarrollo y la producción de AQ[179].

El Proyecto 922 logró producir gas mostaza para 1983[180]; y para 1989 ya había producido casi 4.000 toneladas de agentes, que incluyen, además del mostaza, dos tipos de neurotóxicos, Tabún y Sarín. Para ello, trabajaron directamente vinculados a la producción de agentes alrededor de 2.000 personas, de las cuales, la mitad operaba una planta de producción cercana a la población de Samarra. Además, cientos de empleados de otros establecimientos participaron en las actividades de apoyo al programa en las áreas de diseño y producción de municiones, producción y adquisición de precursores y materias primas y el trabajo de construcción en sitios relacionados[181].

Además de las empresas privadas europeas que vendieron equipamiento a Iraq, este recibió apoyo tecnológico para el desarrollo de AQ de Egipto. En 1983 y 84, Egipto hizo modificaciones en el sistema de cohetes de lanzamiento múltiple Grad 122 milímetros para permitir que las ojivas almacenaran agentes químicos y vendió de estos cohetes con insertos plásticos para contener agentes. Además, a mediados de la década de 1980, Iraq invitó a expertos egipcios en armas químicas a Iraq para ayudar a producir municiones de sarín[182].

Se contrataron empresas alemanas para construir equipos e instalaciones diseñados con el único propósito de la producción en masa segura, eficiente y de agentes[183].

Para mantener el secreto, el Proyecto 922 era conocido como el Establecimiento Estatal para la Producción de Plaguicidas y se convirtió en la empresa principal de la instalación industrial de 100 kilómetros cuadrados de Iraq dedicada tanto a la producción de AQ como de AB, próxima a la localidad de Samarra, y adoptó finalmente el nombre de Establecimiento Estatal Al Muthana en 1986.[184]

Terminada la guerra con Irán, se comenzaron a fabricar productos de aplicación civil, como champú antipiojos o vaselina (Petroleum jelly) pero manteniendo siempre la capacidad de revertir a la producción de AQ, al mismo tiempo que se mantenían las actividades de investigación y desarrollo.

Iraq no organizó unidades militares especiales dedicadas al uso de AQ. Las unidades de combate regulares debían recibirlas y utilizarlas si fuera necesario, bajo directivas especiales[185].

---

178 https://www.nti.org/learn/countries/iraq/chemical/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

179 Idem.

180 https://www.legal-tools.org/doc/e1343b/pdf/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

181 Idem 180.

182 https://www.globalsecurity.org/wmd/library/report/2004/isg-final-report/isg-final-report_vol3_cw-anx-b.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

183 Idem 182.

184 Idem 182.

185 https://www.un.org/Depts/unmovic/new/documents/compendium_summary/s-2006-420-English.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

En el período comprendido entre 1981 y 1991, Iraq produjo unas 130.000 municiones químicas. De ellas, más de 100.000 municiones se utilizaron en combate, en el mismo período. La munición remanente, como las instalaciones para su producción fueron destruidas, ya sea por el mismo Iraq, o durante la guerra del Golfo, o se produjo bajo la supervisión de los inspectores de las Naciones Unidas, de conformidad con la resolución 687 (1991) del Consejo de Seguridad, en el período comprendido entre 1991 y 1994[186].

Siria

El programa de guerra química sirio operó bajo los auspicios de una organización de investigación situada cerca de Damasco. En 1983, la inteligencia de Estados Unidos identificó por primera vez una planta de producción de AQ siria. Alegatos de posibles transferencias de armas soviéticas a Siria en 1988, motivaron una declaración de la URSS que expresaba *"estas afirmaciones no están de acuerdo con la realidad. La URSS no transfiere armas químicas a otros países y no les enseña a producir tales armas"*[187]. Declaraciones del gobierno británico en 2014, revelaron que en 1986 Siria había importado desde el Reino Unido cantidades considerables de sustancias precursoras de AQ[188].

En 1997, fuentes estadounidenses e israelíes afirmaron que el programa de la CW de Siria incluía instalaciones de producción en Damasco, Homs y Alepo y podía producir sarín, mostaza y potencialmente VX.[189]

La presión internacional y las acusaciones de distintos países y organizaciones no gubernamentales sobre el empleo de AQ en la guerra civil que sufre Siria desde 2011, motivaron que finalmente este país se uniera a la OPAQ, ratificando la convención en 2013. Como una de las obligaciones de todo país al unirse a esta organización, Siria tuvo que realizar su declaración inicial, en la que declaró unas 1.300 toneladas de agentes químicos, mayoritariamente componentes de armas binarias neurotóxicas. Asimismo, las instalaciones declaradas incluían 26 plantas de producción de AQ, 12 sitios de almacenamiento, 8 unidades móviles de llenado y 3 instalaciones relacionadas (campo de pruebas y laboratorios de investigación y desarrollo).[190] Los agentes declarados fueron destruidos en 2014 bajo verificación internacional[191] y las plantas de producción también.

Lamentablemente, las armas químicas, han seguido siendo usadas en el conflicto, con acusaciones cruzadas entre los distintos participantes sobre quiénes son los causantes. Las investigaciones realizadas por distintos organismos internacionales dan cuenta de responsabilidades compartidas por el gobierno y por los insurgentes. Después de la destrucción del stock militar sirio, el cloro, ya sea dispersado por cohetes, bombas de barril lanzados desde helicópteros, o por cualquier otro medio, se convirtió en el agente usado casi 100 años después de su primer empleo operacional. También hubo algunos ataques confirmados a pequeña escala con sarín, que el Mecanismo Conjunto de Investigación ONU-OPAQ en al menos una vez, en Khan Shaykhun el 4 de abril de 2017, se vinculó al método de producción de sarín de Siria.[192]

---

186 Ídem.

187 https://www.washingtoninstitute.org/uploads/Documents/pubs/PolicyFocus9.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

188 https://www.nonproliferation.org/wp-content/uploads/npr/diab51.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

189 Ídem.

190 https://www.the-trench.org/syrias-cw-declaration-one-third-larger-than-assumed. Último acceso el 20 de julio de 2020.

191 https://www.opcw.org/media-centre/news/2014/08/opcw-all-category-1-chemicals-declared-syria-now-destroyed. Último acceso el 20 de julio de 2020.

192 Consejo de Seguridad de la ONU. Nota del 26 de octubre de 2017 del Secretario General al presidente de CSNU, documento S/2017/904, 26 de octubre de 2017, annexo, párrafos 85–88.

Libia

Libia inició su programa de AQ a mediados de la década de 1980, mediante la construcción de una planta de producción cerca de la aldea de Rabta. El equipamiento provino, mayoritariamente, de compras a empresas europeas y japonesas. Las primeras suministraron equipos para la fabricación de agentes, mientras que Japan Steel Works construyó una planta para fabricar bombas de aviones capaces de ser llenadas con agentes químicos. La URSS proveyó equipo de protección personal, pero no así ni agentes ni tecnología.[193]

En marzo de 2004, Libia presentó su declaración inicial a la OPAQ. En ella declaró unas 3.500 carcazas de bombas aéreas vacías, casi 24 toneladas de mostaza de azufre y más de 1.000 toneladas de intermediarios para la fabricación de agentes. También declaró que poseía una instalación de producción inactivada en Rabta, así como dos instalaciones de almacenamiento y unos vehículos de carga de agente[194].

En noviembre de 2017, la OPAQ certificó la destrucción completa del stock declarado de agentes. La planta de Rabta fue modificada para producir fármacos.[195]

Uso por agentes no abiertamente vinculados a un estado

El empleo de AQ por parte de agentes no estatales, o por lo menos sin una probada vinculación estatal ha comenzado a ser noticia en los últimos años. Ejemplos de este tipo de empleo son acciones como el asesinato del periodista Georgi Ivanov Markov en Londres el 11 de septiembre de 1978[196], usando ricina; o el intento de asesinato del candidato a presidente de Ucrania[197] Viktor Yushchenko, en 2004, utilizando una dioxina[198] (TCDD)[199].

De los hechos relevantes, quizás el más conocido sean las acciones del culto de origen japonés Aum Shinrikyo a mediados de los años 90. Este culto apocalíptico, cuyo nombre significa Verdad Suprema, fue creado por Chizuo Matsumoto, que se hacía llamar "*Shoko Asahara*", que significa "Luz Brillante". Esta secta incursionó en todos los campos de las ADM, preparándose para una batalla cataclísmica luego de la cual sus seguidores serían los triunfadores y dominarían el mundo por venir.

De las armas que trataron de desarrollar, las que fueron más efectivas, aunque no en la escala deseada por el culto, fueron las químicas. Con una inversión estimada de unos 60 millones de dólares estadounidenses actuales, trataron de desarrollar, ensayar, producir y diseminar sarín y otros agentes de guerra química. Previamente, habían tratado de comprar, munición química en los Estados Unidos, sin éxito[200]. Luego trataron con Rusia, también tratando de adquirir armas del arsenal soviético y de reclutar científicos del programa de AQ, también sin éxito. Por ello Aum inició su propio programa en 1993, dirigido por Masami Tsuchiya, un candidato a doctorado especializado en fotoquímica en la Universidad de Tsukuba[201].

---

193 https://www.washingtoninstitute.org/uploads/Documents/pubs/PolicyFocus9.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

194 https://www.opcw.org/media-centre/news/2004/03/initial-inspection-libya-completed. Último acceso el 20 de julio de 2020.

195 https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2018/11/c2304%28e%29.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

196 Caso del Paraguas Asesino. https://www.independent.co.uk/news/uk/crime/poison-umbrella-murder-case-is-reopened-851022.html. Último acceso el 20 de julio de 2020.

197 https://www.cbsnews.com/news/yushchenko-live-and-carry-on/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

198 2,3,7,8-tetraclorodibenzo[b, e][1,4]-dioxina.

199 https://www.cleveland.com/pdextra/2008/07/ukraine_president_blames_forme.html. Último acceso el 20 de julio de 2020.

200 https://archive.org/stream/globalproliferat01unit/globalproliferat01unit_djvu.txt. Último acceso el 20 de julio de 2020.

201 Smithson, A.: *Rethinking the Lessons of Tokyo*. https://www.stimson.org/2000/ataxia-chemical-and-biological-terrorism-threat-and-us-response/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

A través de dos empresas ficticias, el culto comenzó a adquirir los precursores necesarios para fabricar sarín. Cuando finalmente el culto fue intervenido policialmente, se encontraron cientos de toneladas de más de 200 productos disponibles para sus investigaciones sobre distintos tipos de agentes, principalmente neurotóxicos[202].

Luego de ensayos a escala laboratorio, la secta decidió la construcción de una planta de producción de Sarín, a la que llamó Satyan 7 con equipamiento correspondiente al estado del arte en 1993. Además de la planta, se construyó un laboratorio analítico de última generación. Asimismo, Aum entre 1993 y 1994 poseía un campo de pruebas en Australia, la Banjawarn Station, de más de 400.000 hectáreas, donde habría realizado ensayos con sarín sobre ovejas[203].

En octubre de 1994, en la ciudad de Matsumoto, en un atentado contra tres jueces que estaban investigando sus actividades, dispersaron Sarín desde un camión, afectando un área en donde fallecieron siete personas y alrededor de 600 debieron recibir atención médica.[204] [205] [206]

En marzo de 1995, avisados de que la policía iba a allanar Satyan 7, Asahara seleccionó tres líneas de subterráneo para atacar alrededor de las 8 a.m., hora en que muchos oficiales de policía se dirigirían a realizar el cambio de turno. Se utilizaron seis trenes en esas líneas para depositar bolsas plásticas que contenían sarín y que, perforadas con la punta de paraguas que los miembros del culto llevaban, comenzaron a emitir el gas en el ambiente circundante, mientras los atacantes descendían de los trenes y escapaban. Como resultado del ataque, más de 5.500 personas fueron atendidas en hospitales, y doce de ellos fallecieron[207].

Otros dos eventos más próximos en el tiempo han sido la utilización de VX en el asesinato de Kim Jong-nam, hermano del líder supremo de la RDPC, en el aeropuerto de Kuala Lumpur, en Malasia, el 13 de febrero de 2017[208] [209]; y el intento de asesinato del coronel del GRU Sergei Viktorovich Skripal, en Salisbury, Reino Unido, en marzo de 2018, que resultó en su internación, la de su hija y la de un policía que actuó en los primeros momentos del ataque. Este fue realizado con Novichok, uno de los agentes de la última generación de neurotóxicos rusos. Otra persona afectada con el mismo agente falleció en un evento relacionado.[210] [211] [212]

Tipos

Como expresamos al comienzo de este documento, las armas químicas consisten en las sustancias químicas tóxicas o sus precursores; y las municiones, equipos o medios empleados para su fabricación, preparación, almacenamiento y empleo. Los productos químicos tóxicos inducen la muerte, lesiones o incapacidad temporal. Los precursores forman parte de la producción de productos químicos tóxicos.

---

202 Ídem.

203 https://fas.org/irp/congress/1995_rpt/aum/part06.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

204 https://oem.bmj.com/content/oemed/54/10/697.full.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

205 https://www.ajemjournal.com/article/S0735-6757(97)90201-1/pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

206 https://www.latimes.com/archives/la-xpm-1995-06-02-mn-8610-story.html. Último acceso el 20 de julio de 2020.

207 https://fas.org/irp/congress/1995_rpt/aum/part05.htm. Último acceso el 20 de julio de 2020.

208 https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/EC/84/en/Malaysia_ec84_statement.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

209 https://www.theguardian.com/world/2017/feb/14/kim-jong-un-half-brother-reportedly-killed-malaysia-north-korea. Último acceso el 20 de julio de 2020.

210 Op. Cit. Trentádue, C.: *Guerra de Nervios*

211 https://www.opcw.org/media-centre/news/2018/04/opcw-issues-report-technical-assistance-requested-united-kingdom

212 https://www.sciencemediacentre.org/expert-reaction-to-nerve-agent-being-substance-identified-in-case-of-russian-ex-spy-and-his-daughter/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

Es importante hacer notar que los agentes que se encuentran prohibidos son los que afectan a los seres humanos y a los animales, y no alcanzan las prohibiciones específicas a los agentes que podrían usarse contra vegetales.

Aunque muchas sustancias encajan en la descripción de productos químicos tóxicos, en la práctica sólo se han seleccionado relativamente unas pocas con miras a desarrollar armas. De hecho, más de 12 millones de nuevas moléculas se registran cada año, a un ritmo que se ha acelerado en los últimos años, lo que permite prever que las sustancias factibles de ser usadas como agentes químicos, con propiedades fisicoquímicas adecuadas para lograr efectos de incapacitación o letalidad, no solo es creciente, sino que es, a los efectos prácticos, casi infinita[213].

A fin de que una sustancia química sea adecuada para utilizarla como arma, ésta debe ser suficientemente tóxica a fin de inducir los efectos buscados cuando se la aplica en dosis pequeñas, debe ser fácil de producir en grandes cantidades, tener estabilidad suficiente para preservar su toxicidad durante el almacenamiento y sobrevivir al proceso de diseminación.

Cada agente químico combina de forma única un conjunto de características y propiedades que incluyen letalidad, modo de acción, velocidad de acción, toxicidad y persistencia.

1. Letalidad es la propiedad referida a la capacidad de un arma química de causar muertes en condiciones operacionales; las dosis subletales pueden causar incapacidad. Por el contrario, los agentes no letales están diseñados para disminuir la eficiencia en combate del oponente, aunque una dosis alta del mismo agente podría ser mortal.
2. Rutas de absorción se refiere a las vías por las que los agentes entrarán y afectarán a los organismos vivos. Incluyen inhalación, exposición dérmica, exposición a través de los ojos o membranas mucosas o ingestión oral.
3. Modo de acción es el mecanismo biológico por el cual un agente ejerce un efecto (por ejemplo, la inhibición de una enzima).
4. Velocidad de acción se refiere al tiempo entre la exposición y el efecto. Mientras que algunas AQ son de acción rápida, como el cianuro de hidrógeno, otras son más lentas, como el mostaza.
5. Toxicidad es la medida de la cantidad de una sustancia necesaria para lograr un efecto determinado. Por ejemplo, 3.200 miligramos de fosgeno por metro cúbico de aire matarán el 50 por ciento de un grupo de seres humanos que respiren dicho gas durante un minuto; mientras que se requiere que 10 mg/m^3 del agente nervioso VX causen la misma tasa de mortalidad después de una exposición de un minuto. Varias son las medidas de toxicidad existentes en la literatura de sustancias químicas como, por ejemplo:
    a. Dosis es la cantidad de agente recibida por el sujeto.
    b. LD-50: la dosis que mata el 50 por ciento de la población expuesta.
    c. ID-50: la dosis que incapacita el 50 por ciento de la población expuesta.
    d. Ct: una medida de exposición a un aerosol o vapor. La concentración en el aire y el tiempo de exposición determinan la dosis recibida, al igual que la frecuencia respiratoria. La concentración se expresa en mg/m3 y el tiempo en minutos, de modo que el Ct se expresa en mg-min/m^3 [214].

---

213 El Chemical Abstract Service tenía registrados hasta el año 2019, 150 millones de sustancias, a un ritmo de más de 12,5 millones en los últimos años, mientras que el número total calculado ronda en 1063 sustancias para pesos moleculares menores a 500 Da (capaces de penetrar a través de la piel) y 10180 con pesos superiores a 500 Da. https://www.cas.org/blog/innovation-in-small-molecule-discovery-accelerating. Último acceso el 20 de julio de 2020.

214 US Army Handbook on the Medical Aspects of NBC Defensive Operations, Field Manual (FM) 8-9, Part III-Chemical, capítulo 1, pág. 3.

6. Persistencia es el tiempo que un agente permanece activo una vez liberado en el entorno. Los agentes no persistentes son bastante volátiles, se evaporan rápidamente y se disipan en cuestión de minutos a aproximadamente una hora. Los semipersistentes permanecerán durante horas hasta un día. Los persistentes, que tienden a ser densos y aceitosos, pueden durar varios días o hasta semanas. La persistencia de las armas químicas se ve afectada en gran medida por el medio ambiente predominante (suelo, vegetación, etc.) y las condiciones meteorológicas (temperatura, velocidad del viento, estabilidad atmosférica, humedad y estabilidad). Los agentes con puntos de ebullición bajos y alta presión de vapor tienden a ser no persistentes, mientras que los agentes con puntos de ebullición altos y bajas presiones de vapor tienden a ser persistentes.

TABLA 5: PERSISTENCIA DE ALGUNOS AGENTES BAJO DISTINTAS CONDICIONES AMBIENTALES

Nombre del Agente	Tiempo		
	Soleado- Brisa ligera – c. 15°C	Ventoso – Lluvioso – c. 10°C	Calmo – Soleado Nevado – c. -10°C
Sarín	¼ a 4 horas	¼ a 1 horas	1 a 2 días
Tabún	1 a 4 días	½ a 6 días	1 día -2 semanas
Soman	2 ½ a 5 días	3 a 36 horas	1 a 6 semanas
Mostaza (b)	2 ½ a 5 días	3 a 36 horas	1 a 6 semanas
Agentes V	3 a 21 días	1 a 12 horas	1 a 16 semanas

Período durante el cual el suelo contaminado intencionadamente con los agentes puede presentar un peligro de contacto potencial.
Densidad de contaminación en el rango de 18-60 g/m2. A temperaturas superiores a 20°C el gas mostaza puede persistir durante 1,5 a 4 días.

Fuente: FOI

Clasificación de agentes químicos

Las sustancias químicas tóxicas usadas en la producción de armas químicas pueden clasificarse de acuerdo con varios criterios como, por ejemplo, su volatilidad o su uso militar. Sin embargo, comúnmente se agrupan, de acuerdo con sus efectos, de la siguiente manera: **agentes asfixiantes, agentes incapacitantes, agentes neurotóxicos, agentes sanguíneos, agentes vesicantes, agentes de control de disturbios** y, como una categoría aparte, aunque por sus efectos podrían incluirse en alguna categoría de las anteriores, las **toxinas**.

Los agentes **asfixiantes**, hoy también llamados como "agentes que atacan el tejido pulmonar", atacan el tracto respiratorio de seres humanos y animales, particularmente los pulmones, produciendo edema pulmonar. Esto causa una asfixia gradual y eventualmente la muerte de los afectados. A este grupo pertenecen entre otros, el cloro, usado ampliamente en la Primera Guerra Mundial, y de fácil obtención en nuestro país y la región; y el fosgeno, producido en nuestro país y en Brasil. También dentro de este grupo se encuentra el perfluoroisobutileno (PFIB) que es un subproducto de la combustión del teflón.

Los agentes **incapacitantes** no matan o lesionan, más bien hacen que su blanco sea incapaz de llevar a cabo acciones rutinarias. Causan efectos físicos o fisiológicos sólo temporales, que frecuentemente desaparecen después de un tiempo, aunque esto puede suceder desde horas a varios días. Si bien la mayoría de los agentes tienen efectos incapacitantes, el uso actual del término se refiere a aquellos que producen sus efectos alterando el funcionamiento del sistema nervioso central; normalmente, en las dosis operacionales, no son mortales; permiten la recuperación sin tratamientos y sin efectos permanentes; y son logísticamente factibles, es decir, que las cantidades necesarias para producir efectos son pequeñas, baratas y fáciles de adquirir y mantener en condiciones operacionales. Uno de ellos es el BZ, que deprime algunas funciones del sistema ner-

vioso central (SNC), lo que causa pérdida de memoria, disminuye la capacidad de resolución de problemas, hace perder la atención y la comprensión de instrucciones. El BZ es producido como intermediario en la fabricación de productos antiespasmódicos gástricos y ha sido usado para carga de AQ por varios países.

Los agentes **neurotóxicos** son sustancias químicas de alta toxicidad. Generalmente son incoloros, inodoros e insípidos y son fácilmente absorbidos por el sistema respiratorio, ojos, piel y el aparato digestivo sin causar irritación y así no alertan a la víctima de su presencia. Son usualmente letales, aun después de una corta exposición. Producen sus efectos interfiriendo con la transmisión de impulsos en el sistema nervioso. Fueron desarrollados a partir del período entre las dos guerras mundiales, durante ellas y hasta el presente. Están relacionados con insecticidas organofosforados, algunos de los cuales han sido prohibidos por sus efectos en humanos y animales (por ejemplo, el Amitón, que ha sido clasificado como agente o el Parathion). Tienen una amplia gama de persistencias como podemos ver en la Tabla 5. Han sido usados en operaciones irregulares por grupos subnacionales y sospechados por servicios de inteligencia nacionales[215]. Algunos de sus precursores son usados en la industria, por ejemplo, para la producción de retardadores de llama en plásticos.

TABLA 6: ALGUNOS AGENTES NEUROTÓXICOS INVESTIGADOS PARA USO MILITAR

Código	Nombre IUPAQ	Registro CAS	Otros
GA	N,N-dimetilfosforamidocianidato de O-etilo	77-81-6	Tabún
GB	metilfosfonofluoridato de O-isopropilo	107-44-8	Sarín
GD	metilfosfonofluoridato de O-pinacolilo	96-64-0	Somán
GE	etilfosfonofluoridato de isopropilo	1189-87-3	-
GF	metilfosfonofluoridato de ciclohexilo	329-99-7	Ciclosarín
GV	2-[dimetilamino(fluoro)fosforil]oxi-N,N-dimetiletanamine	141102-74-1	También GP
VE	2-[etoxi(etil)fosforil]sulfanil-N,N-dietiletanamina	21738-25-0	-
VG	2-dietoxifosforilsulfanil-N,N-dimetiletanamina; ácido oxálico	78-53-5	Amiton (pesticida)
VM	2-[ciclohexiloxi(metil)fosforil]sulfanil-N,N-dietiletanamina	21770-86-5	-
VR	S-[2-(Dietilamino)etil] O-isobutil metilfosfonotioato	159939-87-4	RVX, Vx
VS	S-[2-(Diisopropilamino)etil] O-etil (S)-metilfosfonotioato	73835-17-3	-
VX	S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfonotiolato de O-etilo	50782-69-9	-

Los agentes **sanguíneos** inhiben el intercambio de oxígeno que normalmente sucede entre los glóbulos rojos y el tejido corporal. Actúan rápidamente y la exposición a ellos es generalmente letal. Los cianuros son los agentes importantes en este grupo (cianuro de hidrógeno y cloruro de cianógeno). Los cianuros tienen gran uso industrial, pues son de uso generalizado en síntesis químicas, galvanoplastia, extracción de minerales, teñido, impresión, fotografía y agricultura; además, se utilizan en la producción de papel, textiles y plásticos. No es producido en la Argentina, pero sí se importan sus sales (cianuro de sodio y cianuro de potasio) en grandes cantidades, principalmente para su empleo en la minería.

215 Atentados de Aum Shynrikio, atentado contra el hermano de Kim Il Yung; atentado contra Shripal.

Los **vesicantes** producen quemaduras y ampollas severas en la piel, ojos y pulmones. La exposición a los agentes vesicantes causa daño y dolor y puede conducir a la muerte por asfixia. Causan especial daño a los pulmones, llenándolos de fluido e hinchándolos hasta que el torrente sanguíneo no puede abastecerse de oxígeno (edema pulmonar). Esto causa una asfixia gradual y eventualmente la muerte. Pueden ser agrupados en mostazas, arsenicales y urticantes. Como vimos, en el caso de las mostazas del azufre, si bien no tienen aplicaciones industriales, si las tienen sus precursores, no siendo compleja su manufactura a partir de ellos.

Al igual que los agentes incapacitantes, los agentes de **control de disturbios** provocan sólo efectos fisiológicos temporales tales como la disrupción de la vista o de la respiración, que normalmente no causan perjuicios serios. Comparados con los agentes incapacitantes, estos agentes actúan más rápido, aunque sus efectos son menos duraderos. Los agentes lacrimógenos y los vomitivos pueden incluirse en esta categoría, aunque al presente, sólo son usados los primeros. Los lacrimógenos más comunes son el CS (O-clorobenzilideno malononitrilo) y los capsaicinoides (gas pimienta o gas OC).

Las **toxinas** son venenos producidos por organismos vivos o sus equivalentes sintéticos. Son muy venenosos y la exposición a ellos puede ser letal. Como vimos, están cubiertas tanto por las prescripciones de la CAPT y la CAQ. Ejemplos de estas son la ricina y la saxitoxina. La primera es extraída de las semillas del ricino, común en nuestro territorio; mientras que la segunda es producida por algas microscópicas comunes, también existentes en nuestro litoral atlántico. Una toxina de uso común en la industria es la toxina botulínica, producida por el clostridium botulae, materia prima fundamental del bótox. Esta es la sustancia tóxica más potente conocida por el ser humano, y no hay hasta la fecha compuesto con una LD_{50} menor.

Producción de los agentes químicos

La cantidad de agentes químicos a producir determina el tipo de instalaciones necesarias para hacerlo. Si la producción se prevé para fines militares, las plantas de producción estarán vinculadas a las plantas de carga en la munición, por lo que ocuparán amplios espacios de terreno, consumirán cantidad y variedad de servicios y dispondrán de instalaciones de aislamiento y protección para el personal que trabaje en ellas y para el medio circundante (bancos de filtros de aire, sistemas de purificación de efluentes, etc). Por otra parte, si el fin de la producción es para operaciones irregulares, por ejemplo, con fines de sabotaje o terrorismo, las cantidades involucradas estarán en el orden de los kilos o aún menores, y serán suficientes las instalaciones de un laboratorio con equipamiento elemental para obtenerla. Mientras que cientos de toneladas pueden ser necesarias para su uso en la batalla, el ataque de gas Sarín realizado por Aum Shinrikyo demostró que sólo se necesitan pequeñas cantidades para aplicaciones terroristas o no convencionales. Y las instalaciones que estaban preparadas para producir ricina en Londres en 2002, cuando los miembros de un grupo extremista fueron detenidos, se encontraban en la cocina de un departamento del Gran Londres.

La mayoría de las sustancias químicas tóxicas puede producirse de varias formas. El proceso de producción puede ser más o menos oneroso, dependiendo del tipo de agente.

La producción de agentes sanguíneos y asfixiantes es relativamente simple y no requiere de instalaciones especiales o equipo más allá de lo que se utiliza en una planta química industrial típica. Muchos agentes de este tipo ya son producidos como parte de actividades comerciales e industriales alrededor del mundo y están fácilmente disponibles en el mercado.

La producción de agentes vesicantes es un poco más compleja debido a que en un inicio hay mayor riesgo de accidentes, pero no es particularmente difícil. Los agentes vesicantes se han fabricado desde la Primera Guerra Mundial y los procesos para su producción están bien docu-

mentados y comprendidos. En particular, el mostaza del azufre sin destilar (HS) puede ser preparado con tecnología rudimentaria a partir de sus precursores, y estos no son difíciles de obtener en el mercado internacional.

A diferencia de los agentes sanguíneos, vesicantes y asfixiantes, los agentes neurotóxicos son mucho más complicados de sintetizar. Involucran procesos de producción complejos y requieren de un equipo especializado con materiales altamente resistente a la corrosión. Aun para producciones en escala laboratorio, la toxicidad de este tipo de compuestos requiere de precauciones rigurosas de seguridad y un grado de capacitación importante.

Las toxinas generalmente se extraen de los seres vivos que las producen. El proceso de extracción puede ser complicado, pero sigue siendo más fácil que la producción de agentes neurotóxicos. Las toxinas también pueden ser producidas sintéticamente, pero ello es difícil de lograr a gran escala.

Naturaleza dual

De todas formas, el cada vez más fácil acceso a los conocimientos y al equipamiento necesarios para producir cualquier producto químico, como asimismo la globalización del comercio, han proporcionado a docenas de naciones la infraestructura técnica para la producción de armas químicas. Aparte del tamaño de la industria química mundial, en términos de valor monetario, los innumerables usos de sus productos en los objetos de uso cotidianos y la economía globalizada aseguran que el flujo de productos químicos y tecnologías asociadas continuará aumentando para satisfacer requerimientos de la sociedad e imponer nuevos productos.

Además del problema de controlar el flujo de los equipos, la naturaleza de doble uso de los productos químicos se presta a la dinámica de proliferación de armas químicas. Hay docenas de sustancias precursoras que, si bien tienen aplicaciones civiles legítimas, también podrían ser usadas con fines militares. Las listas de control de productos de la CAQ[216] y también las listas de control común del Grupo Australia[217] están destinadas a dar una idea de los elementos a controlar, pero los controles podrían ser insuficientes ante gobiernos dispuestos a vulnerar las prohibiciones, o gobiernos que no sean miembros de los organismos citados o (y este es el caso más preocupante) organizaciones subnacionales decididas a emplear este tipo de herramientas.

Muchos de los precursores utilizados en la producción de agentes neurotóxicos (por ejemplo, amoníaco, etanol, isopropanol, cianuro sódico, fósforo amarillo, dicloruro de disulfuro, fluoruro de hidrógeno y azufre) se producen y consumen en cantidades del orden de los millones de toneladas al año en el sector comercial, lo que los hace casi imposible de controlar de manera efectiva.

Asimismo, se han publicado técnicas de producción de muchas AQ en la literatura abierta, incluidas las patentes y también sobre los productos químicos involucrados, lo que incluye datos sobre cinéticas de reacción, catalizadores y parámetros de funcionamiento[218].

En 1993, la Oficina de Evaluación de Tecnologías del Congreso de Estados Unidos (US Congress, Office of Technology Assessment), en su informe al Congreso sobre AQ, expuso los indicadores que darían idea de que un país estuviese decidido a establecer una capacidad de producción de AQ. Estos eran:

---

216 https://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/annexes/annex-chemicals/annex-chemicals. Último acceso el 20 de julio de 2020.

217 https://www.dfat.gov.au/publications/minisite/theaustraliagroupnet/site/es/control_list_precursors.html. Último acceso el 20 de julio de 2020.

218 US Congress, Office of Technology Assessment, *"Technical Aspects of Chemical Weapon Proliferation," Technologies Underlying Weapons of Mass Destruction* (Washington, D.C.: Government Printing Office, diciembre de 1993), págs. 30 – 31.

> Adquirir el equipo y los materiales necesarios para producir AQ;
> Producir agentes en pequeñas cantidades en una instalación piloto para determinar los detalles del proceso de producción y luego escalar hasta una planta de producción;
> Comprar o producir las municiones y sistemas de dispersión necesarios;
> Llenar municiones o sistemas de dispersión con agente;
> Establecimiento de instalaciones de almacenamiento y redes logísticas de apoyo para el almacenamiento, el transporte, la manipulación y el uso de armas químicas;
> Entrega de municiones químicas a los sistemas logísticos militares para el almacenamiento y el transporte;
> Adquirir defensas químicas individuales y colectivas y equipos de descontaminación y capacitar a las tropas sobre cómo operar en un entorno químico; y
> Desarrollo de doctrina de empleo y planes de batalla estratégicos y tácticos para el uso de armas químicas.

Aunque no todas las naciones que optaron por este tipo de herramientas siguieron todos los pasos citados, estos nos dan una idea de cuales deberían ser los escalones de un programa de AQ.

Debemos recalcar que los pasos citados son aplicables a estados que están desarrollando un programa de AQ con fines militares. No lo son cuando esos mismos gobiernos deciden usar estas AQ para operaciones encubiertas de sabotaje o asesinatos.

Esos pasos tampoco son aplicables a individuos, grupos criminales o terroristas que podrían decidir usar agentes químicos para obtener sus objetivos a diferentes escalas. Desde un extremo, el caso de Aum Shinrikyo hasta el caso de los ataques en Iraq con cloro[219] son instructivos sobre este tema. Como se mencionó anteriormente, esta secta produjo armas químicas en una instalación llamada Satyam No. 7, situada en Kamikuishiki, Japón. Mientras que la secta logró producir pequeñas cantidades de sarín, las autoridades también descubrieron que intentó desarrollar otros agentes nerviosos como soman, Tabún y VX. Para esto invirtieron en el orden de 30 millones de dólares estadounidenses de la época, 10 millones para la planta y el resto en insumos[220].

Procesos

A continuación, y sólo para dar una idea muy superficial sobre el tema, veremos algunos ejemplos de particularidades de los procesos de producción de algunos agentes.

Producción de algunos agentes asfixiantes

El cloro es un producto químico comercial común producido en todo el mundo tanto para el tratamiento del agua como ingrediente en una serie de reacciones químicas. Normalmente se produce por electrólisis de salmuera (Proceso cloro-álcali). Existen varios procesos químicos, sin embargo, que podrían ser utilizados para su producción. Nuestro país lo produce. Existen equipos de producción modular modernos que se consiguen localmente con capacidades del orden de 10 kilos por hora.

El cloruro de carbonilo (fosgeno) es hoy un producto químico comercial producido en todo el mundo. Su uso principal es como agente clorador en reacciones químicas orgánicas. Debido principalmente a sus propiedades tóxicas, normalmente se produce en la planta donde se utiliza posteriormente y poco se ofrece para la venta en el mercado abierto. En nuestro país

---

219 https://www.reuters.com/article/us-irak-chemicals-qaeda/u-s-says-irak-chlorine-bomb-factory-was-al-qaedas-idUSPAR44485120070224. Último acceso el 20 de julio de 2020.

220 https://www.stimson.org/wp-content/files/file-attachments/atxchapter3_1.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

está prohibida la circulación de este producto fuera de la instalación de producción. Brasil también lo produce. El fosgeno se produce combinando cloro y monóxido de carbono en presencia de un catalizador. El uso principal es como materia prima para la formación de intermediarios en la producción de poliuretanos (principal uso en nuestro país) y en la producción de policarbonatos.

Producción de algunos agentes neurotóxicos

Generalmente, la producción de agentes nerviosos implica procesos que han existido durante más de 50 años y están muy dentro de las capacidades de los países con industrias químicas o farmacéuticas moderadamente avanzadas. Estos mismos métodos de producción son muy similares a los de pesticidas organofosforados. Se ha estimado que costaría entre 50 y 90 millones de dólares construir en la actualidad una planta de producción de agentes G, aunque una instalación que no incluyera una capacidad de manipulación de residuos podría costar 30 millones de dólares[221]. Para ilustrar los métodos de producción, se resaltan tres agentes nerviosos: los primeros de la serie G (Tabún, sarín/somán) y el último de la serie V (VX).

Agentes G

Tabún (GA)

El primer agente G producido es uno que técnicamente no pertenece a la serie. Tabún es un compuesto organofosforado con esencialmente los mismos efectos toxicológicos (aunque menos potentes), como los otros llamados agentes neurotóxicos. Sin embargo, es estructuralmente muy diferente. La primera planta de producción fue construida en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial. A capacidad máxima, la planta operó a una tasa de producción de 1.000 toneladas al mes hasta que se cerró en noviembre de 1944. Además de ésta, el único productor conocido de Tabún en cantidades significativas fue Irak durante el conflicto Irán-Irak. Las instalaciones iraquíes de Tabún en Al Muthanna no fueron operadas durante la Guerra del Golfo.

El Tabún se produce a partir de oxicloruro de fósforo (POCl3); cianuro de sodio; dimetilamina; y alcohol etílico. El etanol y el cianuro de sodio son de uso comercial, mientras que la dimetilamina y el oxicloruro de fósforo se utilizan en la producción de productos farmacéuticos, pesticidas, combustibles líquidos para proyectiles autopropulsados y aditivos de combustibles. La producción de Tabún no requiere el uso de materiales corrosivos ni produce intermediarios altamente reactivos. La producción implica mezclar los precursores y un disolvente portador en un recipiente de reacción equipado con un sistema de lavado de hidróxido de sodio para neutralizar el HCl gaseoso que es un subproducto.

Sarín (GB)/Somán (GD)

Aunque los rusos capturaron intactas las instalaciones alemanas de Tabún al final de la Segunda Guerra Mundial, decidieron producir sarín (GB) que, aunque más difícil de producir que el anterior, es más eficiente.

Existen muchas vías de producción del Sarín. El proceso elegido por casi todos los que produjeron este agente utiliza un material intermedio, el llamado Diclor (DC – óxido de diclorometilfosfina) que luego es parcialmente fluorado y el producto resultante reaccionará con un alcohol para producir el agente elegido.

---

221 Actualizado a partir de las cifras de ref. 55.

Los últimos pasos implican la presencia de ácidos fluorhídrico y clorhídrico, por lo que se requiere que la reacción se produzca en reactores hechos en materiales no corrosivos especialmente construidos.

Agentes V

Los agentes V fueron originalmente sólo producidos por los británicos. La producción piloto se llevó a cabo en un sitio subsidiario del Laboratorio Porton Down llamado Nancekuke a través de un método llamado "proceso de agua". A fines de la década de 1950 se propuso una segunda técnica llamada "proceso de transesterificación" y se construyó una planta en los Estados Unidos para utilizarlo. Este es un proceso batch que se lleva a cabo en cuatro etapas, con sólo el paso final con materiales tóxicos. El primer intermediario de la producción es el dicloruro metil fosfonoso, el que es producido en un paso tecnológicamente complejo. También aquí el equipamiento deberá ser producido con materiales anticorrosión especiales.

Agentes sanguíneos

El cianuro de hidrógeno o "ácido prúsico" es un producto químico producido comercialmente que se utiliza tanto en plástico de resina acrílica y otra producción química orgánica en todo el mundo. El cianuro de hidrógeno se produce comercialmente por la reacción de amoníaco y metano en presencia de oxígeno catalizada por platino. Después de la reacción, generalmente se destila, condensa y se manipula en estado refrigerado. Dada la volatilidad del producto final y la reactividad del oxígeno, los equipos deben estar preparados para contener fugas, pero no son difíciles de fabricar. Además, las empresas que producen acrilonitrilo, materia prima de ciertos plásticos, lo obtienen como subproducto.

El cloruro de cianógeno también es usado comercialmente, aunque en mucha menor escala, particularmente como reactivo para síntesis orgánicas.

Agentes vesicantes

Mostazas del azufre

La mostaza original producida en la Primera Guerra Mundial era de mala calidad, y contenía sólo alrededor del 70 por ciento del material vesicante real; el resto era azufre elemental y otras impurezas. El Proceso Levenstein desarrollado por los británicos fue una simple reacción de burbujeo de etileno seco en dicloruro de diazufre. Las impurezas formadas en esta reacción son difíciles de separar del producto principal y en años posteriores fue necesario desarrollar métodos de destilación al vacío y extracción de disolventes para purificar el producto. La mostaza de azufre también se puede producir mediante la cloración de tiodiglicol. Casi todos los países que se han aventurado en la guerra química de una manera u otra han producido mostaza de azufre.

Dada la extrema corrosividad de los agentes cloradores como HCl, los equipos utilizados en este proceso deberán usar reactores y tuberías resistentes a la corrosión. Se ha estimado que la construcción de una planta de producción de mostaza de azufre, con capacidades de manejo de aire, costaría alrededor de 15 millones de dólares estadounidenses[222].

Durante la Segunda Guerra Mundial, en los Estados Unidos se produjeron más de 82.000 toneladas de mostazas del azufre. Alemania, en plena operación, estaba produciendo 3.100 toneladas de mostaza al mes, y en Rusia había al menos cuatro instalaciones dedicadas a la producción de mos-

222 Actualizado a partir de las cifras de ref. 55.

taza durante toda la guerra. La más reciente producción de mostaza conocida ocurrió tanto durante la guerra Irán-Iraq como en la Guerra del Golfo.

Los medios de dispersión

Una vez producidas, las sustancias químicas tóxicas son almacenadas en contenedores o cargadas en municiones. Los contenedores de almacenamiento necesitan tener una gran hermeticidad y ser resistentes a la corrosión.

Las AQ requieren una cantidad y un peso comparativamente grandes del agente para lograr el mismo resultado inmediato que una ojiva de alto explosivo comparable contra tropas preparadas. A partir de estadísticas de la Primera Guerra Mundial, cuando son empleadas contra tropas no preparadas, la efectividad es cuatro veces mayor que la de la munición explosiva pero, con los agentes de la época, en promedio, cuatro veces menos mortales[223].

Al igual que sus contrapartes biológicas, no tienen valor si no pueden alcanzar sus blancos. Considerando la definición de AQ adoptada en este trabajo, los medios allí enunciados podrán incluir los mismos tipos que las armas biológicas, es decir, aviones de ataque, misiles crucero, misiles balísticos, vehículos pilotados a distancia o aeronaves pulverizadoras, bombas convencionales por gravedad o guiadas por láser, proyectiles de artillería, o métodos no convencionales.

Cualquiera sea el medio empleado, las municiones deben ser diseñadas para llevar el agente al blanco de forma segura y diseminarlo de manera efectiva.

En general, hay tres tipos principales de municiones de armas químicas: las explosivas, las térmicas y las atomizadoras.

Las municiones explosivas usan una carga explosiva (burster en inglés) para romper la envuelta del proyectil y dispersar la sustancia química sobre el objetivo. No son muy eficientes ya que parte de la sustancia puede ser incinerada por la explosión inicial y porque no es posible controlarlas para lograr el adecuado tamaño de partícula. Sin embargo, son fáciles y baratas de producir ya que se adaptan de municiones comunes y convencionales.

Las municiones térmicas se basan en la pirotecnica para diseminar la sustancia tóxica en aerosol. Son más efectivas que las municiones explosivas ya que el tamaño de partícula es susceptible de un mayor control; pero casi todas las sustancias tóxicas son muy sensibles al calor y tienden a degradarse rápidamente si son expuestas demasiado tiempo a este.

Las municiones atomizadoras emplean presión aerodinámica para dispersar las sustancias químicas tóxicas en aerosol. Tienen la ventaja de ofrecer buen control sobre el tamaño de partícula y son particularmente aptas para la diseminación en grandes áreas. Sin embargo, si no son empleadas a baja altura, las gotitas de aerosol producidas pueden evaporarse o ser llevadas por el viento antes de poder alcanzar su blanco.

Los efectos de las armas químicas dependen de varios factores, como la diseminación efectiva, las condiciones meteorológicas y el nivel de defensa de que dispone el objetivo.

La diseminación apropiada es crucial para las armas químicas. A menos que las sustancias tóxicas sean distribuidas eficientemente sobre el blanco, su impacto directo será probablemente insignificante. Generalmente, las sustancias tóxicas serán distribuidas en forma de aerosol o de líquido. Para ataques desde fuera del área del blanco, en los que se espera que la sustancia viaje alguna distancia antes de dar con él, se emplearán aerosoles compuestos de partículas menores de 10 micrones de diámetro. De esta forma, los aerosoles podrán ser arrastrados por el viento y atacar el sistema respiratorio. Si el tamaño de partícula fuese demasiado grande, las gotitas se suspenderán en el aire

---

223 Medema, J.: *History of CW.* OPCW 1st Course of Inspectors. TNO. 1997

antes de llegar al blanco o serán bloqueadas por las defensas naturales del aparato respiratorio. Si son demasiado pequeñas, las partículas se dispersarán muy rápido y el blanco será expuesto a dosis demasiado débiles para producir el efecto deseado. Para ataques al blanco cuando la sustancia cae directamente en él, lo que se utilizará serán líquidos compuestos de partículas de por lo menos 70 micrones de diámetro. Los líquidos en esta forma son útiles cuando el efecto deseado es el percutáneo. Aquí también obtener el tamaño de partícula correcto es esencial para que el ataque sea efectivo. Las partículas muy pequeñas serán arrastradas por el viento y no alcanzarán el objetivo. Aquellas muy grandes no penetrarán la piel.

Durante un ataque con AQ, se genera una mezcla de gotas líquidas y gas. Las gotas más grandes caen y causarán contaminación del terreno, mientras que las pequeñas gotas permanecen suspendidas como un aerosol. La relación entre la contaminación del suelo y la nube primaria dependerá del agente químico empleado, la adición de espesantes (si los hubiese), el método de dispersión utilizado, y la altura de dispersión.

Las etapas para desarrollar sistemas de dispersión avanzados son las siguientes:

> el uso de aditivos químicos para estabilizar o aumentar los efectos de un agente;
> el diseño y la producción de municiones para la dispersión del agente; y
> el llenado, almacenamiento y transporte de dichas municiones.

El agregado de aditivos químicos tiene varios objetivos. En primer lugar, buscará que el agente siga siendo suficientemente tóxico para producir bajas y lo suficientemente estable como para soportar las presiones mecánicas y térmicas generadas por la dispersión usando un artefacto explosivo o de pulverización. También se pueden añadir estabilizadores para reducir la degradación de agentes químicos expuestos a altas temperaturas o que vayan a estar almacenados por largos períodos de tiempo[224]. Los estabilizadores funcionan absorbiendo los ácidos liberados por descomposición química, de manera similar a los estabilizadores de las composiciones de propulsantes. Los depresores de punto de congelación reducen el punto de solidificación - congelación de líquidos (tema que afecta principalmente al mostaza) para permitir su uso a bajas temperatura. Los espesantes aumentan la viscosidad y la persistencia de agentes líquidos. Las partículas portadoras (carriers) aumentarán la concentración en el aire de agentes químicos poco volátiles. Durante la Segunda Guerra Mundial, Alemania investigó sobre el uso potencial de polvo de sílice como portador de mostaza. Esta investigación descubrió que una gran cantidad de mostaza de azufre podría ser absorbida por el polvo y dispersada como una nube de polvo. Finalmente, antioxidantes como la sílice coloidal previenen el aglomerado de agentes químicos[225].

Idealmente, en una instalación de producción de AQ con fines militares, los agentes químicos pasarán directamente de la etapa de fabricación a una planta de llenado de municiones, donde serán cargados en las cabezas de combate disponibles para su dispersión. Las operaciones de carga pueden ser extremadamente peligrosas y deberían ser llevadas a cabo dentro de instalaciones selladas con atmósfera controlada y con depresión, de tal manera que, de producirse alguna fuga, permanezca en el interior del edificio y no contamine el medio. Por lo general, las máquinas de llenado son completamente cerradas y de operación automática. El desafío técnico principal en las operaciones

---

224 El mostaza producido por Iraq durante la guerra con Irán se había degradado en un período de 15 años hasta que sólo quedaba un 30 por ciento de agente, mientras que el producido por Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial mantenía al momento de su destrucción a fines de los 90, más de un 95 por ciento de agente puro.

225 US Congress, Office of Technology Assessment, "Technical Aspects of Chemical Weapon Proliferation," Technologies Underlying Weapons of Mass Destruction (Washington, D.C.: Government Printing Office, December 1993), https://ota.fas.org/reports/9344.pdf. Último acceso el 20 de julio de 2020.

de llenado es asegurar que los productos químicos peligrosos lleguen y permanezcan en el interior de los contenedores adecuados (munición de artillería, morteros, bombas o spray-tanks) sin fugas ni contaminación de otras partes de la instalación.

Iraq cargó su munición química en una línea de montaje automatizada cerrada en el complejo de producción de Al Muthanna. Las municiones de armas químicas también pueden llenarse manualmente, aunque este esfuerzo sería intensivo en mano de obra y sustancialmente más peligroso que el proceso automatizado. Tanto Irán como Iraq utilizaron el llenado manual para cargar armas químicas en municiones durante la Guerra Irán-Iraq. El llenado manual requiere que los trabajadores usen equipo de protección personal completo para llenar la munición con agentes que eran cargados con una manguera unida a recipiente de almacenamiento[226].

Como dijimos anteriormente, las condiciones meteorológicas también tendrán impacto en el efecto de las armas químicas. Condiciones climáticas desfavorables pueden frustrar un ataque con armas químicas. Un fuerte viento puede arrastrar la sustancia fuera del blanco o dispersarla antes de que tenga efecto, mientras que la lluvia es capaz de volverla inefectiva.

Finalmente, el nivel de protección de que disponga el blanco también será determinante para los efectos de las armas químicas. Si no existe protección, las armas químicas pueden tener efectos devastadores, lo que afecta particularmente a la población civil que rara vez podrá ser protegida de manera efectiva contra estas armas.

La detección temprana y equipo de protección personal y colectivo adecuados consiguen invalidarlas en gran medida. La defensa más común contra las armas químicas es la máscara de gas. También se cuenta con defensas colectivas tales como vehículos y áreas protegidos, en cierta medida, con tratamientos profilácticos y terapéuticos contra la exposición a estas armas.

TABLA 7: INFLUENCIA DE FACTORES METEOROLÓGICOS EN LA EFICIENCIA DE AQ[227]

	Influencia del clima	
	Nube primaria	**Contaminación del Suelo**
Factores que Disminuyen la Efectividad	Dirección variable del viento	Alta temperatura del suelo
	Velocidad del viento	Alta velocidad del viento
	Aire inestable (turbulencia)	Aire inestable
	Temperatura (<0°C) -	Precipitaciones intensas
	Presencia de lluvia	-
Factores que Aumentan la Efectividad	Dirección del viento estable	Temperatura por debajo de 0°C, pero por encima del punto de solidificación del agente
	Velocidad del viento <3 m/s>	Baja velocidad del viento
	Aire estable (inversión)	Aire estable (inversión)
	Temperatura 20 °C	Lluvia muy ligera
	No precipitación	-

Es posible usar las armas químicas contra blancos militares o civiles. Su uso tiene por igual ventajas y desventajas. Entre las ventajas cabe mencionar su costo, más bajo que el de las convencionales; pueden ser usadas contra blancos dispersos o fortificados, contra blancos cuya localización específica es desconocida, para vedar áreas, atacan al personal, pero dejan el equipo y la infraestructura intactos para uso futuro; y son aptas para operaciones sorpresivas o terroristas. Entre las desventajas es preciso mencionar que las armas químicas requieren una capacidad

226 Ibid 62.

227 Swedish National Defense Research Unit (FOA), *Briefing Book on Chemical Weapons*, 1992.

operativa complicada, tienen efectos impredecibles, pues no necesariamente están confinados al área del blanco, no destruyen equipo, por lo que dejan a las fuerzas enemigas intactas si fallan; imponen otros problemas ya que su uso complica la conducción de todas las demás operaciones militares y su uso viola el derecho internacional, lo que puede acarrear sanciones internacionales. En el ámbito militar, lo más probable es que las armas químicas sean usadas en situaciones tácticas, por su eventual efectividad para apoyar actividades militares convencionales. En operaciones ofensivas pueden emprenderse ataques sorpresa de corta duración —pero de alta intensidad— con sustancias no persistentes para debilitar las defensas enemigas a lo largo y a la retaguardia de las áreas marcadas para la penetración, mientras que el uso de agentes persistentes ayuda a asegurar los flancos contra un contraataque o para entorpecer la retirada de las fuerzas enemigas. En operaciones defensivas pueden usarse agentes no persistentes para romper áreas de montaje, puestos de comando y emplazamientos de apoyo al fuego del enemigo, mientras que el empleo de agentes persistentes sirve para dirigir a las fuerzas enemigas hacia trampas de defensa. También pueden utilizarse armas químicas en batallas navales o para atacar bases aéreas. En cualquier caso, el uso de armas químicas complica y entorpece severamente todas las operaciones militares y, en condiciones de igualdad, todo esto puede ser ventajoso para la parte que prefiere un menor ritmo de combate. Además, como las armas químicas tienen el potencial de infligir grandes bajas, su uso resulta ventajoso para la parte numéricamente inferior si esta diferencia no puede ser superada por otros medios.

En el caso de blancos civiles, las armas químicas serían las más adecuadas para ataques terroristas. La liberación de sustancias tóxicas en áreas cerradas contra civiles desprotegidos causa un gran impacto. Un ejemplo de esto lo dio el ataque de sarín perpetrado por la secta Aum Shinrikyo en el metro de Tokio en junio de 1995. También pueden imaginarse ataques estratégicos contra áreas civiles, pero en un grado bastante menor. A menos que se logre que sean totalmente sorpresivos, esos ataques difícilmente son efectivos más allá de una desorganización menor de las actividades cotidianas normales.

Como armas de destrucción en masa, las armas químicas pueden ser atractivas para los actores estatales y no estatales que buscan tener capacidad de ADM. Comparadas con las armas nucleares son bastante más fáciles de desarrollar, producir y mantener. Sin embargo, sus efectos impredecibles y las otras desventajas enumeradas anteriormente las hacen inferiores a las armas nucleares desde el punto de vista militar. Las armas químicas han sido producidas por varios Estados y muchos otros tienen la capacidad para producirlas. Desde 1993, sin embargo, las armas químicas han sido prohibidas por el derecho internacional y todos los países de la región han ratificado ese tratado.

Marco legal

Como en el caso de las armas bacteriológicas, desde el punto de vista legal, todos los países de la región han firmado numerosos acuerdos que prohíben la tenencia, empleo o previsión de uso de este tipo de armas, algunos de los cuales son el *Compromiso de Mendoza* de 1994, firmado en esa ciudad entre nuestro país, Brasil y Chile y al cual se adhirieron más tarde Bolivia, Paraguay, Uruguay y Ecuador, declarando la renuncia de estos estados a las ADM; la *Declaración de Ushuaia* de 1998, firmada inicialmente por las naciones del Mercosur, declarando la región libre de ADM, extendiéndose en 2002 al resto de Sudamérica; el *Protocolo sobre la prohibición del uso en la guerra, de gases asfixiantes, tóxicos o similares y de medios bacteriológico*s de 1925, que prohibía el empleo de AB y AQ, pero no prohibía la investigación y desarrollo, ni el almacenamiento de estas armas.

Finalmente, la *Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, Producción, Almacenaje y Uso de Armas Químicas y sobre su destrucción* es un tratado que busca eliminar una clase completa de armas de destrucción masiva, con un régimen de verificación internacional, mediante inspecciones y evaluación de datos, que lo hace único en su tipo. Este último ha sido ratificado por 193 países que incluyen el nuestro y los de la región y ha logrado verificar la destrucción del 98 por ciento de los arsenales declarados de todos los estados parte de la misma, y ahora está en curso de terminar la destrucción del remanente, como también la destrucción o conversión de las plantas de producción vinculadas. Excepto Israel, que ha firmado mas no ha ratificado la convención, la República Democrática Popular de Corea (Corea del Norte), y Egipto quedan como estados no parte de este tratado internacional.

La CAQ prohíbe específicamente el uso de agentes de control de disturbios en operaciones militares. Los define en su Artículo II como:

> *Cualquier sustancia química no enumerada en una Lista, que puede producir rápidamente en los seres humanos una irritación sensorial o efectos incapacitantes físicos que desaparecen en breve tiempo después de concluida la exposición al agente*[228].

Es decir que cualquiera de ellos, no importa qué tan baja sea su toxicidad, no podrán ser usados durante operaciones militares, aunque sí en operaciones de imposición de la ley, de acuerdo con lo que especifica el mismo artículo cuando define las "fines no prohibidos":

> *Mantenimiento del orden, incluida la represión interna de disturbios*[229].

Estos dos puntos deberían ser reflejados explícitamente en la doctrina de las Fuerzas Armadas, a fin de evitar interpretaciones erróneas en el futuro.

Debemos mencionar otro instrumento legal internacional que se ocupa de las armas de destrucción masiva, que es la Resolución 1540 del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas[230], del año 2004, que bajo el Capítulo VII[231] de la Carta de las Naciones Unidas hace su cumplimiento obligatorio a los estados miembro de la ONU. Esta resolución impone a los estados, entre otras cosas, que adopten medidas concretas para evitar el acceso a cualquiera de las ADM a organizaciones no estatales; que también emitan leyes a este respecto; y que impongan mecanismos específicos de control para evitar la proliferación de estas armas.

Esta resolución trata de compensar la debilidad de los tratados internacionales en el sentido de que ellos son sólo de aplicación por parte de estados y no de agentes subnacionales de cualquier índole.

Asimismo, otro de los llamados mecanismos informales de control de armamentos y no proliferación, relacionado a las AQ es el llamado Grupo Australia[232]. En base a la difusión mundial de tecnologías que han sido etiquetadas como de "doble uso", (equipos que tiene aplicaciones civiles y militares), este Grupo ha establecido, para los 42 países que son miembros, mecanismos para que los estados miembro armonicen sus controles de exportaciones e intenta regular el flujo de esas tecnologías de doble uso, con la negación del acceso a potenciales estados o entes subnacionales

---

228 CAQ, Art II, par 7.

229 CAQ, Art II, par 9. d).

230 https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1540%20(2004)&referer=/english/&Lang=S. Último acceso el 20 de julio de 2020.

231 https://www.un.org/es/sections/un-charter/chapter-vii/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

232 https://australiagroup.net/en/. Último acceso el 20 de julio de 2020.

considerados proliferantes. El Grupo de Australia mantiene una lista de equipos biológicos de doble uso cuya exportación debe ser controlada[233]. Nuestro país es el único estado parte de la región. La implementación de estos mecanismos está a cargo de la *Comisión Nacional de Control de Exportaciones Sensitivas y Material Bélico,* creada por el decreto 603/92, más conocida como la Comisión 603.

Conclusiones

De las ADM, las AQ son probablemente las más fáciles de acceder, ya sea por actores estatales o no. Es por eso que han sido las que mayor cantidad de veces han sido usadas en el pasado y aún hoy, pese a los sistemas implementados para su prohibición y control, presentan un riesgo real que no debería ser subestimado.

Si bien la probabilidad de empleo en conflictos entre estados es baja, no es nula. Cualquier estado que vea amenazada seriamente su integridad por parte de otro actor estatal, y que disponga de una industria química medianamente desarrollada y profesionales capacitados en su operación, podrá verse tentado a recurrir a este tipo de armas, cuando el riesgo de ser destruidos sea mayor que la condena moral por parte del resto de las naciones.

De la misma forma, la facilidad relativa de obtención de agentes químicos tóxicos los hace interesantes para que durante operaciones no convencionales, tropas irregulares o agentes no estatales conduzcan campañas de sabotaje, terrorismo o asesinatos.

Cualquiera sea la intención de un estado respecto del uso de estas armas, es conveniente capacitar al personal de sus fuerzas armadas y de seguridad, en particular a los primeros respondedores en casos de probable empleo contra la sociedad no combatiente, para poder identificar el agente que podría estar siendo usado, y actuar en consecuencia.

La doctrina militar de algunos países para atenuar los efectos de estas armas, particularmente las químicas y las biológicas, establece cuatro etapas para proteger las fuerzas que operen en un área definida, basadas en el concepto de evitar la exposición al agente o agentes tóxicos: observación, configuración, protección y sostén.

La observación de AQ o AB en área de interés se logra mediante la vigilancia, la detección, la identificación, el monitoreo y el reconocimiento. La configuración incluye el conocimiento de la situación sobre el espacio de batalla y la gestión, evaluación y registro de amenazas. La protección del personal incluye el pretratamiento médico, la provisión y entrenamiento en el uso del equipo de protección personal y el equipo de protección colectiva. El sostén de las fuerzas después de ataques químicos o de ADM, incluye el tratamiento médico y la descontaminación.

La sola idea del empleo de agentes químicos en conflictos es perturbadora. Debido a que las armas químicas inspiran un miedo desproporcionado a su poder destructivo, son muy atractivas para aquellos que llevan a cabo una guerra asimétrica. Los ataques de Aum Shinrikyo, el ataque con gases a la población kurda en Halabja por Saddam Hussein en 1988 o el intento de asesinato de Sergei Viktorovich Skripal fueron diseñados para explotar esos temores.

La sociedad internacional ha sido hasta hoy exitosa en sus esfuerzos para eliminar este tipo de armas, pero para prevenir su reaparición será necesario tener en cuenta los desafíos que imponen la rápida evolución y convergencia de la química, la biología y otras disciplinas científicas y tecnologías asociadas; y el peligro potencial de que se empleen algunos de esos desarrollos para la producción de armas químicas existentes y nuevas. Esto, combinado con la facilidad del acceso a productos comerciales de uso dual en el mercado globalizado y la popularización del conocimiento especializado.

---

233 https://australiagroup.net/es/listas.html. Último acceso el 20 de julio de 2020.

Otro conjunto de desafíos se refiere a la naturaleza cambiante del conflicto que ya no está enmarcado en el contexto de alianzas militares opuestas en un mundo bipolar, sino que las fronteras entre la guerra, la guerra civil, las revoluciones e insurgencias, el terrorismo y el crimen organizado se difuminan.

Para finalizar, y recordando la frase de León Trotsky con la que abrimos este documento, coincidimos con lo que expresaba en 2018 el doctor Michael Crowley[234]:

> *"El entorno de seguridad internacional inestable y la naturaleza cambiante de los conflictos armados podrían alimentar el deseo de algunos estados de retener y utilizar las armas químicas existentes, así como aumentar el interés por crear nuevas armas. Los armamentos del mañana bien pueden tratar de aprovechar los avances revolucionarios en las ciencias químicas y de la vida y las disciplinas asociadas como la nanociencia y la neurociencia para sus fines malignos. Las comunidades gubernamentales y científicas internacionales deben revisar, actualizar y fortalecer colectivamente las medidas mundiales en vigor para protegernos a todos de los ataques químicos".*

234 Michael Crowley, Lijun Shang, Malcolm Dando: P*reventing chemical weapons as sciences converge.* Science, 2018; 362 (6416): 753.

Glosario

Las abreviaturas de los agentes se encuentran en los anexos correspondientes o las tablas

Abreviatura	Original	Significado
1ra GM		Primera Guerra Mundial
2da GM		Segunda Guerra Mundial
AB		Armas Biológicas
ADM		Armas de Destrucción Masiva
AEF	American Expeditionary Forces	Fuerzas Expedicionarias Norteamericanas
AQ		Armas Químicas
CABT		Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción y el Almacenamiento de Armas Bacteriológicas (Biológicas) y Toxínicas y sobre su Destrucción
CAMR	Centre for Applied Microbiology & Research	Centro para Microbiología Aplicada e Investigación
CAQ		Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, Producción, Almacenaje y Uso de Armas Químicas y sobre su destrucción
CDES	Chemical Defence Experimental Station	Estación Experimental para la Defensa Química
CDRE	Chemical Defence Research Establishment	Establecimiento de Investigación para la Defensa Química
CESP	Centre d'expérimentation semi permanent de Béni-Ounif	Centro de Experimentación Semi permanente de Béni-Ounif
CWS	Chemical Warfare Service	Servicio de Guerra Química
DANC	Decontaminating Agent, Non-Corrosive	Agente descontaminante no corrosivo
EPP		Equipo de Protección Personal
GosNIIOKHT	Gosudarstvennyy nauchno-issledovatel'skiy institut organicheskoy khimii i tekhnologii	Instituto Estatal de Investigación de Química Orgánica y Tecnología
H.G.L	Hauptgasschutzlager	
IGTiP	Institut Gigiyeny Truda i Profzabelevanii	Institutos de Higiene Laboral y Enfermedades Ocupacionales
MKhP	Narkomkhimprom	Primera Administración Principal del Comisariado Popular de la Industria Química
NII RKHBZ	NII Radiatsionnoy Khimicheskoy i Biologicheskoy Zashchity	Instituto Científico y de Investigación en Defensa Radiológica y Química
NRC	National Research Council	Consejo Nacional de Investigación
OTAN		Organización del Tratado del Atlántico Norte
RKKA	Raboche-krestiánskaya Krásnaya ármiya	
RVS		Consejo Militar Revolucionario
Soyuzorgsintez		Asociación de Síntesis Orgánica de la URSS
UNMOVIC	United Nations Monitoring, Verification and Inspection Commission	Comisión de Monitoreo, Verificación e Inspección de las Naciones Unidas
UNSCOM	United Nations Special Commission	Comisión Especial de las Naciones Unidas
URSS		Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas
VOKhIMU	Voenno-khimicheskoe upravlenie	Directorado de Química Militar
Voyska RKhB zashchity	Voyska radiatsionnoy, khimicheskoy i biologicheskoy zashchity Vooruzhonnykh sil Rossiyskoy Federatsii	Fuerzas de Protección QBN
VPK(b)		Partido Comunista de Toda la Unión (bolcheviques)
WO	War Office	Ministerio de Guerra

Anexo

Categorías de Agentes Químicos y algunas características

	Estado físico a 20°C	Persistencia	Estado de agregación típico	Ruta de entrada efectiva	Uso en contra
Neurotóxicos	Líquido	Baja a Alta	Vapor, aerosol, líquido	Pulmones, ojos, piel	Humanos y Animales
Vesicantes	Líquido, Sólido	Alta	Vapor, aerosol, líquido	Pulmones, ojos, piel	Humanos y Animales
Asfixiantes	Líquido	Baja	Vapor	Pulmones, ojos, piel	Humanos y Animales
Sanguineos	Líquido, Sólido	Baja	Vapor	Pulmones	Humanos y Animales
Toxinas	Sólido	Baja	Aerosol, líquido	Pulmones, tracto intestinal	Humanos y Animales
Lacrimógenos y hostigamiento	Líquido, Sólido	Baja	Vapor, aerosol	Pulmones, ojos	Humanos y Animales
Incapacitantes	Líquido, Sólido	Baja	Aerosol, líquido	Pulmones, piel	Humanos y Animales
Herbicidas	Líquido, Sólido	Baja a Alta	Aerosol, líquido	Follaje y raíces	Plantas

Fuente: Fuente: U.S. House of Representatives, Subcommittee on National Security Policy and Scientific Developments, Committee on Foreign Affairs, Chemical and Biological Warfare: U.S. Policies and International Effects, 1969

Clasificación de agentes químicos y algunos ejemplos de cada clase

Agente	Subclase	Nombre Común	IUPAC	Cód. Est.	Otos códigos
Asfixiantes		Fosgeno	Cloruro de carbonilo	CG	Zusat; Gren Cross;
		Difosgeno	Cloroformato de triclorometilo	DP	Substancia D
Incapacitantes	Depresivos del SNC	Bencilato de 3-quinuclidinilo	Éster-1-azabiciclo (2,2,2) oct-3-il-alfa-hidróxi-alfa-fenilo	BZ	Perstoff; Surpalite; Gren Cross
		Cannabinoles	Tetrahidro-6,6,9-trimetil-3-pentil -6H-dibenceno[b,d]piran-1-o	THC	Oksilidin
		Fentanilo	N-(1-(2-feniletil)-4-piperidinil) -N-fenil-propanamida		Fentanyl
Neurotóxicos		Tabún	Etil N,N-dimetilfosforamidocianato	GA	Le-100
		Sarín	Metilfosfonofluoridato de O-isopropilo	GB	Zarin
		Somán	Metilfosfonofluoridato de O-pinacolilo	GD	Zoman
		Ciclosarín	Metilfosfonofluoridato de ciclohexilo	GF	
		VX	S-[2-(Diisopropilamino) etil] metilfosfonotioato de O-etilo	VX	
		Vx	Varias composiciones de origen soviético	Vx	V gas
Sanguíneos	Cianurados	Cianuro de hidrógeno	Cianuro de hidrógeno	AC	Cyclone B; Zyklon B
		Cloruro de cianógeno	Cloruro de cianógeno	CK	Mauguinite; CC; Klortsian
	Arsenicales	Arsina	Trihidruro de arsénico	SA	Arthur

Continúa en pag 67 >

Agente	Subclase	Nombre Común	IUPAC	Cód. Est.	Otos códigos
Vesicantes	Mostazas	Mostaza destilada	Sulfuro de bis (2 – cloroetilo)	HD	HS; Kampstoff Lost; gas mostaza; Yperita; Yellow Cross
		Mostaza de nitrógeno	2-Cloro-N-(2-cloroetil)-N-etiletan -1-amina	HN-1	Ethyl S; NH-Lost
			2-Cloro-N-(2-cloroetil)-N-metiletano -1-amina	HN-2	Dichloren; Chloromethine; mustine; embikhin
			2-Cloro-N,N-bis(2-cloroetil)etan -1-amina	HN-3	TO
	Arsenicales	Lewisita	Dicloruro de 2-cloroetenilarsonoso	L	Lyvizit
		Fenildicloro-arsina	Dicloruro fenilarsonoso	PD	Sternite; DJ; Pfiffikus
		Etildicloro-arsina	Dicloruro etilarsonoso	ED	Dick
		Metildicloro-arsina	Diclorometilarsina	MD	Methyl-Dick; Medikus
	Urticantes	Oxima de fosgeno	N-(diclorometiliden) hidroxilamina	CX	Fosgen Oksim
	Lacrimógenos	Gas CS	(2-Clorobenzilideno) malononitrilo Tricloro(nitro)metano	CS	CS1; CS2; CSX
		Cloropicrina	10-Cloro-5,10-dihidrofenarsazinina	PS	Klorpikrin; NC; G8; Klop
Agentes de control de disturbios	Vomitivos	Adamsita		DM	Adamsit; R15

Algunas toxinas posibles de usar como AQ y fuentes de obtención

Fuente	Toxina	Fuente	Toxina
Bacterias		**Hongos**	
Bacilus anthracis	Toxina del ántrax	Aspergillus flavus	Aflatoxina
Clostridium botulinium	Botilínicas (A, B, C, D, E)	Género fusarium	Tricotecenos
Cornyebacterium diphteria	Diftérica		
Escherichia coli	Enterotoxinas LT y ST	**Plantas**	
Shigella dysenteriae	Disentérica	Abrus precatorius (Regaliz americano)	Abrina
Staphylococcus aureus	Enterotoxinas estafilocócicas A, B, C, D, E	Ricinus communis (Ricino o castor)	Ricina
Vibrio cholerae	Toxina del cólera	Nerium oleander L (Laurel de jardín)	Oleandrina y Conesina
Dinoflagelados		Rhododendron ponticum (Rododendro común)	Grayanotoxin
Alexandrium tamarense, Alexandrium catenella y otros	Saxitoxina	**Animales**	
Algas		Phyllobates terribilis (rana dorada venenosa)	Batracotoxina
Anabaena flos aquae	Anatoxina A (VFDF)		
Microcystis aeruginosa	Microcistina (FDF)		

Anexo
Ejemplos de algunas armas químicas

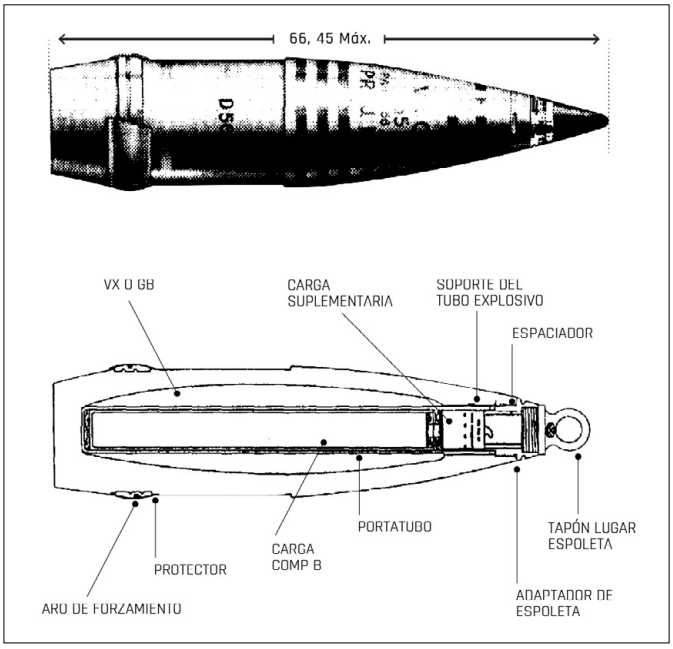
1. PROYECTIL, 155 milímetros: VX (Persistente) o GB (No-Persistente): M121A1

Carga
2,72 kilos de VX o 2,95 kilos de GB

Peso del proyectil
45 kilos (sin espoleta con tapón)

Carga rompedora de Composición B
1,14 kilos

Carga suplementaria del tren de fuego
140 g de TNT



2. ROYECTIL DE MORTERO, 4,2in: GAS, M2A1 AND M2

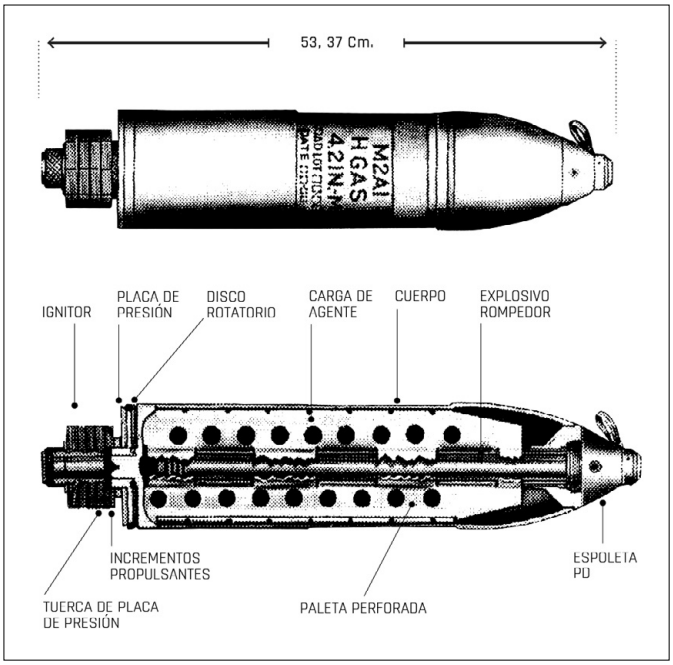
Nota
La paleta perforada hace que el relleno líquido gire con el proyectil para reducir la posibilidad de desestabilización del vuelo.

Carga Persistente
HD; HT o H

Carga No Persistente
CK, CG

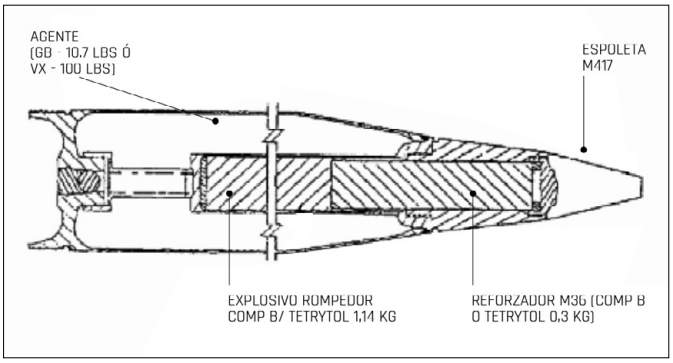
Peso de carga
dependiendo del agente entre 2,6 kilos hasta 3,6 kilos

Peso del proyectil
11,19 kilos



3. CABEZA DE COMBATE COHETE M55, 115 milímetros; GB o vx

El cohete M55 consta de dos partes: cabeza de combate M56 y motor cohete M67, con propulsante doble base. El cohete es embalado en un tubo de fibra de vidrio M441 que sirve para transporte y disparo desde lanzador M91.



Peso del cohete
26 kilos

Longitud del cohete listo para disparo
1981,2 milímetros

Carga GB 4,9 kilos

Carga VX 4,5 kilos

Alcance
11.000 metros

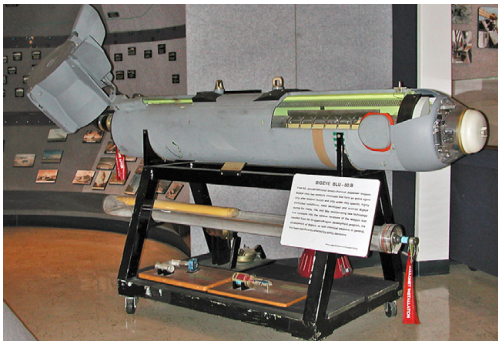
LANZADOR MULTIPLE M91 DE 45 TUBOS

Reemplazo del mortero de 4,2 pulgadas como principal medio químico a partir de los 60.

4. BOMBA DE AVIACIÓN: BLU-80/B, BIGEYE

La BIGEYE fue un AQ de 500 libras diseñada para ser usada por varios aviones de la Armada y la Fuerza Aérea de Estados Unidos. Corresponde al programa Binario Internamente Generado (Binary Internally Generated) - BIG y a la serie de bombas de 500 libras (227 kilos)

El interior del arma consistía en dos contenedores separados de compuestos químicos no letales, almacenados por separado y ensamblados sólo inmediatamente antes del vuelo. Al momento de lanzar la bomba, un dispositivo



rompía la membrana de separación de los dos componentes, lo que permitía que se mezclaran y se obtenga el VX.

La bomba tenía la capacidad de dispersar unos 82 kilos de agente. Tenía una longitud de 2,29 metros y un diámetro de 337 milímetros. La bomba planeaba desde que era soltada por el avión hasta el blanco con una envergadura de 438.1 milímetros. No tenía ningún sistema de guía interna, o propulsión.

5. CABEZA DE COMBATE DE MISIL SCUD B:

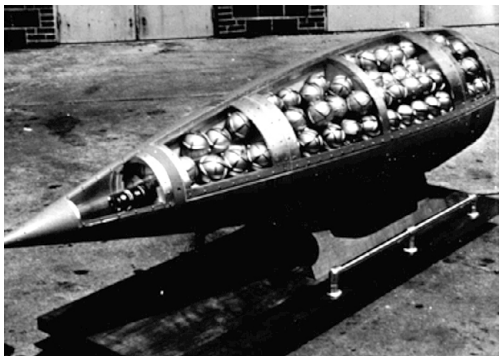
Cabeza de combate de un misil SS 1C-SCUD B, modelo R-17. Esta es la denominación de la OTAN sobre este tipo de vector. La denominación de la Autoridad Principal de Misiles y de la Dirección de la Artillería del Ministerio de Defensa de la Federación de Rusia - *Glavnoye raketno-artilleriyskoye upravleniy*e – normalmente abreviado como GRAU, es 9K72[235].

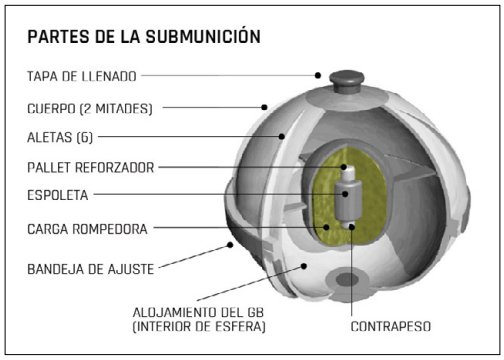
El R-17 es un vector de 300 kilómetros de alcance, libre, con un CEP de entre 300 y 900 metros a combustible líquido.

Puede transportar una cabeza de combate con distintas variantes, nuclear seleccionable de 5 a 70 kt; explosiva con submuniciones o carga única; o química con 555 kilos de Vx.

6. SUBMUNICIÓN M139

La M139 es una submunición esférica de 4.5 pulgadas (114,3 milímetros) de diámetro cargada con GB pensada para ser usada en la cabeza de combate del cohete Little John y también en un modelo de Honest John. Las seis paletas en el exterior de la submunición hacen que, una vez lanzada de





235 https://web.archive.org/web/20130331080952/http://inbsite.com/missiles1.html y https://web.archive.org/web/20071215141138/http://www.janes.com/security/international_security/news/misc/sws_scud010426.shtml. Último acceso el 20 de julio de 2020.

la cabeza de combate, produzcan una rotación de la esfera, que arma la espoleta que está ubicada en el centro de la carga y que inicia por impacto. El explosivo (burster) está en el centro y el GB llena los dos compartimentos exteriores.

En la foto anterior se ve el modelo de producción de la cabeza de combate M190 (E19R2) GB del Honest John, que contenía 356 submuniciones M139 (E130R2)[236].

(*) **Carlos Hugo Trentádue:** es ingeniero militar de la especialidad química y oficial retirado del Ejército Argentino, donde alcanzó el grado de coronel de Artillería. Fue director de dos plantas productoras de materiales energéticos. Se desempeñó durante diez años en la Organización para la Prohibición de Armas Químicas, donde fue inspector, jefe de equipos de inspección y finalmente director de departamento en la división de Verificación. Es docente e investigador universitario. Autor de numerosos artículos y presentaciones. Es miembro activo de la Sociedad de la Industria Química del Reino Unido. También es integrante del Área de Prospectiva en Energía Eléctrica de la UTN- FRGP, y del Grupo de Interés en Energías del Mar Argentino.

236 https://extras.denverpost.com/news/bomblet1203.gif. Último acceso el 20 de julio de 2020.

1.3

Armas de destrucción masiva Las armas biológicas

Por el Coronel A (R) OIM Carlos Hugo Trentadue*

Se creyó que la amenaza de las armas biológicas había desaparecido con la firma de la convención de prohibición correspondiente en 1972, pero lamentablemente varias naciones y grupos subnacionales han continuado con el desarrollo de este tipo de herramientas desde entonces y hasta hoy se sospecha que algunos países las poseen y estarían dispuestos a usarlas en caso de verse amenazados.

Asimismo, en este momento nuestro país y el mundo se encuentran sometidos a los alcances de un virus que ya ha costado cientos de miles de muertos y un incalculable daño económico, lo que nos da un ejemplo del poder de este tipo de agresivos, al mismo tiempo que demuestra que las amenazas biológicas no conocen ni respetan fronteras.

Este trabajo busca, de manera sintética, presentar los antecedentes históricos del desarrollo de estas armas, sus características, el impacto de la tecnología sobre ellas, su doctrina de empleo y el marco legal que las intenta controlar.

Temario

1. Introducción ____ **74**
2. Historia ____ **74**
3. Tipos ____ **89**
4. Producción ____ **92**
5. Los medios de dispersión ____ **94**
6. Avances en las ciencias biológicas y tecnologías relacionadas ____ **99**
7. Marco legal ____ **103**
8. Conclusiones ____ **105**
9. Glosario ____ **107**
10. Anexos ____ **108**

Las armas biológicas

"En los grandes laboratorios del Ministerio de la Paz... trabajan incansablemente los equipos técnicos. Unos se dedican sólo a planear la logística de las guerras futuras;... otros buscan gases más mortíferos o venenos que puedan ser producidos en cantidades tan inmensas que destruyan la vegetación de todo un continente, o cultivan gérmenes inmunizados contra todos los posibles antibióticos"

1984 - George Orwell[1]

Introducción

Las armas biológicas (AB) hacen uso deliberado de los materiales patógenos para causar la muerte o daños a seres humanos o animales. Incluyen tanto el uso de organismos vivos o los subproductos inanimados de los organismos vivos (toxinas) como armas.

Adoptaremos como definición de las armas biológicas la que usa la Convención sobre Armas Biológicas y Toxínicas (CABT)[2, 3], de la cual nuestro país es signatario, en su artículo 1:

1. *Agentes microbianos u otros agentes biológicos, o toxinas, sea cual fuere su origen o modo de producción, de tipos y en cantidades que no estén justificados para fines profilácticos, de protección u otros fines pacíficos;*
2. *Armas, equipos o vectores destinados a utilizar esos agentes o toxinas con fines hostiles o en conflictos armados.*

En particular, las toxinas han sido clasificadas tanto como agentes biológicos y como agentes químicos. Esto ha motivado que las toxinas estén prohibidas tanto por la Convención sobre Armas Químicas (CAQ) de 1993, como por la CABT de 1972.

Por los alcances del presente trabajo nos concentraremos en los organismos y sustancias cubiertos por el punto 1 de la definición, es decir los agentes patógenos.

Es interesante hacer notar que la definición de AB, y como veremos más adelante la de las armas químicas, cubre cualquier tipo de agente, es decir no existe una lista exclusiva de ellos, sino que **cualquier** agente biológico o toxina utilizado con la intención de causar algún daño, no necesariamente mortal, contra humanos, vegetales o animales está cubierto por esta definición.

Junto con las armas químicas y las armas nucleares, las modernas armas biológicas generalmente se clasifican como armas de destrucción en masa (ADM).

Historia

Desde hace mucho tiempo el hombre ha hecho uso de la enfermedad como instrumento de guerra. Uno de los episodios más citados respecto de esto ocurrió en 1346, en Kaffa (ahora Feodosiya, Ucrania), durante el sitio de la ciudad, que era un enclave genovés en la península de Crimea, por parte de hordas tártaras. Debiendo abandonar el sitio sin haber podido conquistar la ciudad, debido a una epidemia de peste que afectó a los sitiadores, cuerpos de víctimas que habían muerto a causa de ella, fueron catapultados sobre los muros de la ciudad, donde rápidamente se propagó la enfermedad,

---

1 George Orwell (su verdadero nombre era Eric Arthur Blair) en su libro *1984*. Penguin Books Ltd. EEUU. Edición 1981

2 *Convención sobre la prohibición del desarrollo, la producción y el almacenamiento de armas bacteriológicas (biológicas) y toxínicas y sobre su destrucción.* Puede verse en http://disarmament.un.org/treaties/t/bwc/text traducido en http://www.iri.edu.ar/publicaciones_iri/manual/Ultima-Tanda/Desarme/18.5.%20Convenci%F3n%20sobre%20la%20prohibici%F3n%20del%20desarrollo-1972.pdf. Último acceso el 17 de mayo 2020

3 El *GLOSARIO DE TÉRMINOS DE EMPLEO MILITAR PARA LA ACCIÓN MILITAR CONJUNTA*, (PO 02) Edición 2015 define al agente biológico como: Microorganismo y sustancia tóxica derivada de organismos vivos, empleado para producir la muerte o la enfermedad en el hombre, en los animales o en las plantas.

lo que motivó que los sitiados escaparan por vía marítima y llevaran con ellos la peste a Europa, lo que causó una innumerable cantidad de víctimas[4].

A continuación, trataremos de dar un pantallazo general sobre el desarrollo y en algunos casos el empleo de AB durante el siglo XX. Si bien la clasificación de la información se aplica a todas las ADM, respecto de las armas biológicas este tema es más relevante, en algunos casos por la total desaparición de registros, por el hecho de que algunos de los registros existentes aún se encuentran cubiertos por diferentes grados de reserva o por la dificultad de separar enfermedades que ocurrieron naturalmente de alegaciones de empleo.

Con la consideración anterior podemos considerar que los orígenes modernos de las armas biológicas se remontan a la época de la Primera Guerra Mundial y al intento de **Alemania** de utilizar agentes patógenos con fines de sabotaje. El programa, contrario a las órdenes vigentes en las fuerzas armadas de ese país que consideraban ilegal su empleo, utilizó solamente patógenos antianimales, y el Estado Mayor alemán rechazó propuestas de diseminar bacilos de plaga (Yersinia pestis) sobre Londres y puertos británicos[5]. Es de hacer notar que alrededor de ocho millones de caballos y un número indeterminado de mulas y burros murieron en el conflicto, de los cuales sólo el 25 por ciento murió por heridas causadas en combate[6]. Las operaciones desarrolladas involucraron agentes secretos que trataron de infectar caballos que eran exportados para los ejércitos aliados con ántrax y muermo. Los saboteadores operaron principalmente en Estados Unidos, Rumania, Francia y España; Noruega y también en Argentina.[7,8] Francia habría tenido un programa similar e infectó con Burkholderia mallei, la bacteria causante del muermo, caballos que se encontraban en Suiza para ser enviados a Alemania[9].

1918 - 1945

Al término de la Primera Guerra Mundial, casi todos los países que luego participarían en la segunda llevaron adelante programas ofensivos o defensivos de AB. Francia, Hungría, Italia, Japón, Polonia y la Unión Soviética establecieron programas de AB, aunque de distinta magnitud y alcance. El programa japonés fue, por mucho, el más grande, posiblemente con más personal y recursos que todos los demás combinados.

Durante la Segunda Guerra Mundial (2da GM) el único estado que utilizó armas biológicas en operaciones militares fue Japón en China, al mismo tiempo que grupos de resistencia antinazis empleaban AB para operaciones de sabotaje en la Europa ocupada. Estas experiencias mostraron las limitaciones de las AB en aquella época.

Francia

En 1921, en **Francia**, a partir de indicios de que Alemania estaba investigando en el campo de las AB, se creó la Comisión de Bacteriología para diseñar una política de guerra biológica. Además de

---

4 Frischknecht F.: *The history of biological warfare.* EMBO Rep. 2003 Jun; 4 (Suppl. 1): S47–S52 . Debe hacerse notar que hoy se sabe que la peste entró a Europa no sólo por esta vía sino por varias. Pero que cualquiera haya sido la vía de entrada costó la vida de entre la mitad y dos tercios de la población europea de la época. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1326439/ Último acceso el 23 de mayo 2020.

5 Rao, D. B. et al.: *Biological Warfare.* Discovery Publishing House, New Delhi. 2001.

6 Cooper, J.: *Animals in War.* Corgi Books, London, 2000.

7 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1198743X14626343. Último acceso el 23 de mayo 2020.

8 Seth Carus, W.: *Short History of Biological Warfare.* National Defense University Press, Washington, 2017. https://www.indexinvestor.com/resources/Research-Materials/Disease/Short_History_of-_Biowar.pdf. Último acceso el 23 de mayo 2020.

9 Seth Carus, W.: *The History of Biological Weapons Use: What We Know and What We Don't.* Health Security Volume 13, Number 4, 2015. Mary Ann Liebert, Inc. DOI: 10.1089/hs.2014.0092

contar con experiencia en infectología en el Instituto Pasteur, se beneficiaron de la activa participación de André Trillat, quien era en ese momento uno de los principales expertos del mundo en la diseminación de enfermedades por el aire y director de un instituto de investigación de la armada de ese país[10].

A mediados de los años treinta, los franceses comenzaron a desarrollar agentes antipersonales y antianimales en un laboratorio que se encontraba en la Poudrerie National du Bouchet[11]. El programa tuvo características tanto ofensivas como defensivas, realizando hasta ensayos de dispersión de agentes en el metro de París, se investigaron y desarrollaron métodos para atacar cultivos usando el escarabajo de la papa. Asimismo, se realizaron investigaciones a escala de laboratorio sobre patógenos como el ántrax, salmonella, cólera, la peste bovina (rinderpest) y algunas toxinas, y se llegó a desarrollar munición para dispersar toxina botulínica. Simultáneamente se desarrollaron medidas defensivas como un suero contra el ántrax. Las actividades de investigación en Le Bouchet continuaron hasta que las instalaciones fueron capturadas por los alemanes en 1940.[12]

Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas

En la **Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas** (URSS), comenzó un programa de armas biológicas alrededor de 1925 con la apertura de un laboratorio para investigar Bacillus anthracis (causante del ántrax) y Clostridium boltulinum (bacteria productora de la toxina botulínica, causante del botulismo) y evaluar la factibilidad de su empleo como AB. Los resultados obtenidos le permitieron establecer un programa de AB ofensivas para 1928.

Durante los años 30, la URSS creó una importante organización para apoyar este programa, entre otros, 35 institutos dependientes del Ministerio de Salud (que hasta 1946 fue llamado Comisariado de Salud del Pueblo - Народный комиссариат здравоохранения) y se fundaron varios centros específicos alrededor de Leningrado y Moscú. Además, varias estaciones de ensayos de campo, para realizar testeos a cielo abierto, de las cuales la isla Vozrozhdenia (Renacimiento) en el Mar Aral era la más importante, compartida por las Repúblicas Socialistas Soviéticas de Uzbekistán y Kazajistán.

Desde el fin de la Primera Guerra Mundial, los soviéticos tuvieron que soportar varias epidemias de origen natural, lo que, como contrapartida, obligó al desarrollo de una alta capacidad de investigación en el campo de la biología y se hicieron importantes avances en el control y prevención de enfermedades infecciosas, tales como el ántrax, la plaga y el cólera.

Como sucedió en otras naciones, los soviéticos montaron su programa de AB aprovechando sus experiencias y desarrollos en AQ. En particular, la URSS y Alemania, por el Tratado de Rapallo de 1922, habían acordado que Alemania compartiría información, entrenamiento y construcción de instalaciones sobre defensa contra AQ, todo ello a llevarse a cabo en territorio soviético[13]. Uno de los participantes de ese accionar conjunto fue Yacov Moiseevich Fishman que desde 1925 estaba a cargo de la agencia química militar soviética (Directorado de Química Militar – Voenno-khimicheskoe upravlenie – VOKhIMU). Desde ese puesto organizó e impulsó el desarrollo de un programa ofensivo de AB soviético y hoy se lo considera el principal arquitecto de este, y desde ahí delegó las funcio-

---

10 Spiers, E.: *A History of Chemical and Biological Weapons.* Reaktion Books, 2010.

11 Actualmente este laboratorio es donde se concentra la investigación para la defensa contra armas químicas y biológicas, en ese país, dependiente del Ministerio de Defensa francés: Centre D'étude Du Bouchet en Vert Le Petit.

12 https://www.nti.org/learn/countries/france/. Último acceso el 23 de mayo 2020.

13 Gasiorowski, Zygmunt J.: *"The Russian Overture to Germany of December 1924."* The Journal of Modern History, vol. 30, no. 2, 1958, pp. 99–117. JSTOR, www.jstor.org/stable/1872756. Último acceso 21 May 2020. Es de hacer notar que el acuerdo posibilitó la instalación de fábricas de aviones y tanques alemanes en la URSS como también la instalación de una fábrica de AQ. Esta colaboración se terminó en 1933 con el advenimiento del nazismo en Alemania.

nes defensivas en el ministerio de salud y en el Instituto de Defensa Química.[14] En 1936 se iniciaron los ensayos en la isla Vozrozhdeniye, con la participación de dos barcos y dos aviones.

Fishman fue exiliado por Stalin en una de sus "purgas" en 1937. No solo la purga afectó a Fishman, sino a muchos biólogos, médicos y militares, incluidos los directores de los institutos del área, a los que se los sometió a una farsa judicial (los llamados *show trials*) en los que confesaron haber cometido actos de sabotaje ordenados por Japón o Alemania. En las mismas circunstancias, el mariscal Mikhail Nikolayevich Tukhachevsky, jefe del Estado Mayor General de las Fuerzas Armadas soviéticas (Ejército Rojo de los Trabajadores y Campesinos -RKKA- Рабочая и Крестьянская Красная Армия), quien fuese un fuerte impulsor de las AQ y AB, también fue ejecutado. La consecuencia de esto fue la abrupta caída del impulso inicial que no se recuperaría hasta después de la guerra.

Un hecho comentado por Alibek[15] es un ataque con AB realizado por los soviéticos contra tropas del sexto Ejército alemán en 1942, durante su avance sobre Stalingrado. A fines del verano del 42, de pronto y fuera de todas las estadísticas de brotes anteriores de esta enfermedad, un gran número de personal alemán cayó enfermo con tularemia, en cantidades que obligaron a detener la ofensiva. Esta afección se propagó a la población civil de la zona y también luego a las tropas soviéticas en presencia. Este evento nunca fue reconocido oficialmente por la URSS, ni por Rusia[16].

De todas formas, ya para el inicio de la Segunda Guerra Mundial la URSS había ya investigado una variedad de patógenos y asimismo eran capaces de manufacturar agentes para provocar tularemia, tifoidea y fiebre Q.

Imperio del Japón

En **Japón**, país que no ratificó el Protocolo de Ginebra de 1925 hasta 1970, se estableció un programa ofensivo de armas biológicas a mediados de los años treinta. Las principales instalaciones japonesas estaban ubicadas en Beiyinhe y Pingfan en Manchuria. En el curso de la Segunda Guerra Mundial, los japoneses ensayaron agentes biológicos en prisioneros de guerra y trabajaron en varios diseños de bombas para la diseminación en gran escala de bacterias, así como en un artefacto con tanque de diseminación por vía aérea (Spray-tanks). Además, se cree que los japoneses utilizaron agentes biológicos contra los soviéticos en Mongolia en 1939, contra tropas chinas en 1942 y contra civiles chinos de 1940 a 1944.

Los orígenes del programa japonés datan de 1925, mientras se desarrollaban las negociaciones del Protocolo de Ginebra. Shiro Ishii, un capitán médico del ejército imperial japonés, que alcanzó el grado de cirujano general (equivalente a teniente general) durante la guerra, se convenció de que Japón necesitaba desarrollar armas biológicas, creyendo que estas debían ser muy eficaces si las potencias occidentales querían prohibirlas. En 1927, Ishii propuso la creación de un programa japonés de armas biológicas, y en 1928 comenzó una gira de dos años por Occidente, donde hizo una amplia investigación sobre los efectos de la guerra biológica y los desarrollos de la guerra química a partir de la Primera Guerra Mundial.

No fue hasta 1932, sin embargo, que el primer centro de investigación de armas biológicas se estableció en la escuela de medicina del ejército en Tokio. Otra instalación, aparentemente destinada a la experimentación humana, fue creado al año siguiente en Manchuria ocupada.

---

14 Guillemin, J.: *Biological Weapons, from the state -sponsored programs to contemporary bioterrorism.* Columbia University Press, New York. 2003.

15 El coronel Kanatzhan Kanat Alibekov, del ejército soviético y luego del ruso, es un médico, microbiólogo y experto en guerra bacteriológica, que ascendió dentro del aparato de guerra biológica soviético hasta ser Primer Subdirector de Biopreparat, la empresa estatal que controlaba todas las instalaciones de AB soviéticas y luego rusas. Desertó a los Estados Unidos en 1992, donde adoptó el nombre de Ken Alibek.

16 Leintenberg, M.; Zilinskas, R.: *The Soviet Biological Weapons Program.* Harvard University Press, Massachusetts. 2012

El programa se amplió aún más en 1936 con la organización de la Unidad 731 (conocida como la División para la Prevención de Epidemias y Purificación de Aguas del Ejército de Kwantung), que fue puesta a órdenes de Ishii, junto con el Taller de Prevención de Epidemias de Caballos del Ejército de Kwantung, más tarde conocido como Unidad 100[17].

Los japoneses desarrollaron métodos para difundir pulgas infectadas con Yersinia pestis, el organismo responsable de la peste, tanto mediante el uso de aeronaves con tanques rociadores, así como con bombas llenas de lodos con diversos agentes que al explotar generaban gotas infecciosas. También dejaron caer alimentos contaminados de aviones y vertieron lodos patógenos en los suministros de agua.

Ejemplo de este último método de diseminación ocurrió durante el llamado Incidente Nomonhan (Kahalkin-Gol), un enfrentamiento fronterizo contra la URSS, de mayo a septiembre de 1939. Tropas japonesas vertieron Salmonella typhi, el organismo responsable de la tifoidea, en un río, aguas arriba de las fuerzas soviéticas. No hay evidencia de que ningún personal soviético fuera infectado, pero al menos algunos de los soldados japoneses involucrados en la operación se enfermaron y murieron.[18]

La efectividad de estos ataques biológicos estuvo siempre ligada a la capacidad de respuesta de las autoridades sanitarias chinas. En octubre de 1940 se desarrolló un ataque contra la ciudad de Ningbo, en la provincia china de Zhejiang, en el que se utilizaron paquetes de arroz y trigo con pulgas infectadas con Y. pestis. Ante la aparición de los primeros afectados, se los aisló, se identificó a quienes estuvieron en contacto con ellos, se decretó una cuarentena en las áreas donde cayeron los paquetes, se tomaron precauciones especiales para enterrar de manera adecuada a los muertos y se llevó adelante una campaña de erradicación de ratas para prevenir una epidemia. Para diciembre no había más casos y el total de fallecidos fue de 106. En un ataque similar contra la ciudad de Quzhou, también en octubre de 1940, en la misma provincia, se tardó más de un mes en identificar la primera víctima y la epidemia se extendió hasta 1941, en la que murieron 275 personas.

El mayor empleo japonés de AB durante la guerra se produjo durante la campaña Zhe-Gan (Zhejiang-Jiangxi) en 1942. Esta operación fue una respuesta al bombardeo de Tokio realizado por Estados Unidos en la llamada Incursión Doolittle[19], que fue el primer ataque aéreo norteamericano contra territorio japonés. Los 16 bombarderos B-25 utilizados en la incursión, después de despegar del portaviones Hornet, bombardearon Tokio y volaron a la provincia de Zhejiang, la única zona costera que aún estaba bajo control chino, donde tratarían de aterrizar. La operación alarmó a los japoneses porque hizo les hizo pensar que los aliados podrían utilizar aeródromos en Zhejiang para montar ataques aéreos adicionales contra las islas japonesas. Por ello, organizaron una incursión masiva en Zhejiang para destruir la infraestructura que podría utilizarse para apoyar a los bombardeos[20]. Para la represalia, los japoneses asignaron 8 divisiones y 3 brigadas que operaron durante casi cinco meses en el área. La Unidad 731, a órdenes de Ishii participó en esta operación, inicialmente, en mayo, con ataques aéreos con AB. Y a medida que las tropas japonesas iniciaron su retirada en agosto, contaminaron pozos de agua con agentes biológicos para producir cólera, tifoidea y paratifoidea. También contaminaron con B. anthracis los sembradíos de arroz, liberaron pulgas infectadas con peste y distribuyeron comida contaminada con otros patógenos. Al finalizar la ope-

---

17 https://apjjf.org/-Tsuneishi-Keiichi/2194/article.html. Último acceso el 23 de mayo de 2020.

18 Seth Carus, W.: *Short History of Biological Warfare.* National Defense University Press, Washington, 2017.

19 Chung, C.; Gerrard, H.: *The Doolittle Raid 1942.* Osprey Publishing, Oxford. 2006.

20 https://www.smithsonianmag.com/history/untold-story-vengeful-japanese-attack-doolittle-raid-180955001/. Último acceso el 23 de mayo 2020.

ración, intencionalmente se alimentó a 3.000 prisioneros de guerra chinos con comida infectada con los agentes productores de la tifoidea y paratifoidea, y los liberaron luego para que contagiaran estas enfermedades en la población[21].

Luego de esta operación no hubo otras de envergadura.

Al término de la guerra, los principales responsables de la conducción del programa de AB japonés fueron llevados a Estados Unidos para trabajar en el programa biológico norteamericano.

Polonia

Polonia también inició un programa de AB en 1928, dependiente de sus servicios de inteligencia, convencidos de que la Unión Soviética tenía uno en marcha. Aparentemente el objetivo del programa era el de realizar operaciones de sabotaje contra fuerzas que ocupasen su territorio.

Inmediatamente antes de la invasión alemana, en septiembre de 1939, los principales investigadores huyeron del país después de haber destruido el laboratorio donde trabajaban. Los alemanes reportaron varias instancias de sabotaje bacteriológico durante la ocupación.[22]

Es interesante hacer notar aquí que Polonia fue el país que insistió en incluir a los agentes biológicos dentro del *Protocolo sobre la prohibición del uso en la guerra, de gases asfixiantes, tóxicos o similares y de medios bacteriológicos* de 1925 (más conocido como el Protocolo de Ginebra de 1925) debido a las experiencias sufridas durante la guerra mantenida con la Unión Soviética en 1919-1920 y el convencimiento de que la URSS estaba investigando sobre el tema[23].

Reino de Italia

Italia inició un programa de AB en 1934. Estaba dirigido por el teniente coronel médico profesor Hugo Reitano y se localizó en un amplio sector de un hospital militar en Roma. Se sabe que ensayaron la dispersión por aerosol de Serratia marcescens, bacilo causante de varias enfermedades en humanos[24]. También existen referencias de que Mussolini habría pedido en 1936 el empleo de AB en Abisinia (actual Etiopía) pero el mando militar consideró que los posibles beneficios militares del empleo de ese tipo de armas no compensarían el daño internacional en la opinión pública[25]. Este programa dejó de funcionar en 1940 y cuando los alemanes ocuparon Italia en 1943 no encontraron ninguna evidencia de su existencia.

Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte

En el **Reino Unido,** el Comité de Defensa Imperial estableció un Subcomité de Armamentos Biológicos en 1936 para preparar medidas contra un eventual ataque biológico. Este recomendó en 1938 la creación de un Servicio de Emergencia Bacteriológico para atender la percibida creciente amenaza alemana en este campo, que para esa época era totalmente infundada. El nombre elegido finalmente para este servicio fue el de Servicio de Laboratorio de Emergencias para la Salud Pública (Emergency Public Health Laboratory Service), título que se consideró más adecuado para enmascarar su verdadera función.

Lord Maurice Hankey, que había alcanzado el grado de capitán de artillería en los Royal Marines, y con una larga carrera vinculada a temas de defensa, estaba a cargo del subcomité y fue el

---

21 Op. cit. Seth Carus, W.: *Short History of Biological Warfare.*

22 Wheelis, M.; et al.: *Deadly Cultures: Biological Weapons since 1945.* Harvard University Press, Estados Unidos, 2006.

23 Malet, D.: *Biotechnology and International Security.* Rowman & Littlefield, Londres, 2016.

24 https://www.globalsecurity.org/wmd/world/italy/index.html. Último acceso el 23 de mayo de 2020.

25 Op. cit. Seth Carus, W.: *Short History of Biological Warfare.*

encargado de organizar todo el programa, que se inició al formar una Unidad Especial de Armas Biológicas en Porton Down[26] (Biology Department, Porton), en 1940. Porton Down era un establecimiento del Ministerio de Defensa dedicado a la investigación y desarrollo de armas químicas desde 1916 que, al finalizar la Primera Guerra Mundial, ocupaba unas 2500 hectáreas de terrenos e instalaciones más una granja para la cría de animales para experimentación de 100 hectáreas. La investigación en Porton Down se centró en armas anticultivos y antianimales. Lord Hankey involucró al doctor Sir Paul Fildes, experimentado microbiólogo perteneciente al Medical Research Council, para que rápidamente estableciese un programa de ensayos en el campo y reclutase el personal para llevarlos adelante. Se contaba con personal civil y militar británico y también con personal de Estados Unidos.[27]

A partir de los trabajos realizados por el sector de AQ de Porton Down, ya se tenía experiencia en los sistemas de dispersión de agresivos por medio de munición y, asimismo, se había establecido que la mejor vía de contaminación era por inhalación. También se determinó que las esporas del Bacillus anthracis, cuyo nombre de código era Agente N, eran capaces de soportar la detonación de la munición que los transportaba para su diseminación.

Pero para poder realizar pruebas en el terreno, se consideró que Porton Down era demasiado riesgoso, por su relativa cercanía a lugares poblados, por lo que se decidió en 1942, requisar una isla al norte de Escocia, la isla de Gruinard. Esta se encontraba lo suficientemente aislada para no poner en riesgo a personal y para mantener el secreto de las actividades a desarrollar allí. Entre 1942 y 1943 se realizaron ensayos de explosiones controladas a distancia, a nivel del suelo o a distintas alturas y se culminó con ensayos de bombardeo aéreo. En todos los casos se utilizaron animales vivos de la zona para medir los efectos. Los ensayos confirmaron que los explosivos no disminuían la virulencia de las esporas y llevaron a diseñar como medio más eficiente de dispersión, bombas de 500 libras con 100 submuniciones cada una. La isla permaneció cerrada al público por más de 48 años por el temor a la contaminación. A partir de 1986 se procedió a descontaminarla, para lo que fue necesario aplicar varias metodologías para hacerlo, hasta que finalmente se removió la capa superficial de las áreas más contaminadas y se vertieron 280 toneladas de formaldehido en el resto. Luego se instaló un rebaño de ovejas y al verificarse que estaban sanas después de cuatro años, se devolvió la isla a sus propietarios originales.

A partir de un viaje a Norteamérica por parte del Dr Fildes, desde mayo de 1942, los británicos unieron esfuerzos con Canadá y algunos meses después con Estados Unidos. Esta colaboración se mantuvo durante y después de la guerra y se materializó inicialmente por compartir toda la información de los ensayos realizados hasta ese momento. También se acordó que Estados Unidos sería el responsable de la producción a gran escala del Agente N y que las pruebas de campo para bombardeo de grandes áreas se llevarían adelante en Canadá, en la estación experimental de Suffield[28].

Uno de los objetivos fijados por el Subcomité de Armamento Biológico era tener la capacidad de represalia si el Reino Unido era atacado con AB. Para ello se diseñaron "tortas" de alimento para ganado contaminadas con ántrax (Agente N). Para 1943 se habían producido cerca de cinco millones de raciones de alimento para ganado que contenían ántrax y que nunca tuvieron que usarse, las cuales fueron destruidas al finalizar la contienda.

---

26 Actualmente es el mayor establecimiento dedicado a la defensa QB en el Reino Unido, bajo el nombre de Defence Science and Technology Laboratories (Dstl), parte del Ministerio de Defensa del Reino Unido.

27 Hammond, P.; Carter, G.: From *Biological Warfare to Healthcare: Porton Down, 1940-2000.* Palgrave Macmillan UK. 2001.

28 Lindsey, G.: *No Day Long Enough.* Canadian Institute of Strategic Studies. Toronto, 1997.

Reino de Hungría

Otro país que tuvo un programa de AB en este período fue **Hungría**. En 1938 se activó con el establecimiento de la Estación de Control de Salud (Egészségügyi Ellenőrző Állomás) de las Reales Fuerzas de Defensa Húngaras, dirigido por el coronel médico Dezso Bartos. La institución se instaló en un almacén de artillería convertido en Budapest. Si bien contó con poco personal, investigaron sobre varios patógenos antipersonal y antianimal. También desarrollaron algunas técnicas de dispersión, incluidas bombas de vidrio capaces de transportar de 1 a 50 kilogramos de un agente biológico (ya sea húmedo o seco). El programa cesó en 1944 cuando se destruyó la instalación durante un bombardeo aliado[29].

Alemania

En **Alemania**[30], un programa de investigación sobre AB fue recién iniciado en 1941, luego del inicio de la Segunda Guerra Mundial. Curiosamente también en el convencimiento de que sus adversarios en la guerra pasada estaban actuando en ese campo cuando, al ocupar Francia, descubrieron las actividades del "Laboratoire de Prophylaxie" dentro de la planta de producción de energéticos militares de Bouchet[31, 32] ya citada. Debido a ese descubrimiento, Alemania formó el comité "Blitzableiter" (Pararrayos) a cargo del profesor Heinrich Kliewe para coordinar un programa local de AB[33]. El centro de gravedad del programa alemán estuvo orientado a la defensa contra agresivos biológicos por orden expresa de Hitler, quien expresamente prohibió el desarrollo de medios ofensivos biológicos[34]. En 1943 se le dio mayor impulso nombrándose al coronel Walter Hirsch, de la agencia alemana de armamentos Waffenamt (WaA) y con el establecimiento de una estación de investigación en Posen[35]. La instalación funcionó hasta 1945, cuando fue capturada por los soviéticos. Las investigaciones realizadas incluyeron el estudio de agentes antipersonales y anticultivos y de tanques de diseminación.

Estados Unidos de Norteamérica

Estados Unidos comenzó a interesarse por las armas biológicas en 1941, previo a la entrada en el conflicto por parte de Estados Unidos, cuando el secretario de Guerra, Harry L. Stimson, pidió a la Academia Nacional de Ciencias que nombrara un comité para estudiar la guerra biológica, apropiadamente nombrado Comité de Guerra Biológica. En ese momento ya se sabía que los japoneses estaban usando agentes biológicos en China, aunque no está claro si los planificadores de defensa en Washington entendieron esto completamente.

Producido el ataque a Pearl Harbour, la preocupación de sabotaje biológico hizo que el mando de las islas en Hawái procediese a ordenar la instalación de guardias en los sistemas de suministro de aguas y la producción de depósitos de alimentos, y se prohibió tanto la comercialización de leche en polvo como de todo tipo de venenos[36].

---

29 Wheelis, M.; et al.: *Deadly Cultures: Biological Weapons since 1945.* Harvard University Press, Estados Unidos (2006).

30 Durante este período Alemania tuvo dos nombres oficiales, entre 1919 a 1933 República de Weimar y de 1933 a 1945, Iller Reich Alemán

31 Rao, D. B. et al.: *Biological Warfare.* Discovery Publishing House, New Delhi (2001).

32 Deichmann, U.: Biologists Under Hitler. Harvard University Press. Estados Unidos (1996).

33 Garrett, B.; Hart, J.: *The A to Z of Nuclear, Biological and Chemical Warfare.* The Scarecrow Press, Inc. Plymouth, UK. 2009

34 Deichmann, U.: *Biologists Under Hitler.* Harvard University Press. Estados Unidos (1996).

35 Garrett, B.; Hart, J.: *The A to Z of Nuclear, Biological and Chemical Warfare.* The Scarecrow Press, Inc. Plymouth, Reino Unido (2009).

36 Smart, J.: *History of Chemical and Biological Warfare: An American Perspective.*

En febrero de 1942[37], el Comité de Guerra Biológica recomendó que Estados Unidos tomara medidas para reducir su vulnerabilidad a las AB. Como consecuencia se formó el Servicio de Investigación de Guerra (War Research Service -WRS) bajo el liderazgo de George W. Merck, presidente de la Merck Company, con funciones de asesoramiento. En 1944 se transfirió la responsabilidad al Departamento de Guerra y se disolvió el WRS. El departamento dividió el programa entre el Servicio de Guerra Química (Chemical Warfare Service – CWS) y el Cirujano General del Ejército. El CWS asumió la responsabilidad de la investigación y la producción de agentes, así como el análisis de la inteligencia extranjera y las medidas de defensa. El cirujano general debía cooperar con el CWS en los medios defensivos.

En 1943 se adquirieron los terrenos para una estación de investigaciones, en Maryland, y se designó como Camp Detrick, el U.S. Army Biological Warfare Laboratories (USBWL), bajo la dirección del Dr. Ira Baldwin, donde se instalaron a partir de ese momento y hasta 1945, varias plantas piloto de producción, una dedicada a la toxina botulínica, otra a la producción de esporas de ántrax, una tercera dedicada a la producción de agresivos antivegetales, mientras una cuarta se dedicó a la producción de bacterias causantes de la brucelosis y la psitacosis. Se estudiaron al menos 18 diferentes agentes biológicos, incluidos los destinados a su uso contra cultivos y animales.

Una planta de producción de material militar en Vigo (Vigo Chemical Plant), Indiana, construida por el ejército en 1942 para la producción de explosivos y munición, y que se encontraba inactiva[38], fue elegida para encargarse de la producción industrial de agentes biológicos, reactivada y reacondicionada en 1944 y lista para producir esporas de ántrax en 1945. En esta planta es donde también se pensó instalar la producción de AB para los británicos, de función a los acuerdos alcanzados con ellos, quienes en 1944 colocaron una orden por 500.000 bombas de su diseño. De todas formas, la planta nunca entró en producción de agentes reales.

Por último, en 1943 se adquirieron los terrenos para dos campos de pruebas, uno en Mississippi y otro en Utah[39].

Dentro de los agentes anticultivos, en Estados Unidos se hicieron pruebas con bombas cargadas con esporas de los hongos (Cochliobolus miyabeanus) causantes de la enfermedad de manchas marrones del arroz (helmintosporiosis).

En 1944, se creó el Comité de Guerra Biológica (Chemical Warfare Comittee) con Merck como presidente, que hacia el final del conflicto empleaba cerca de 4000 personas y había insumido 60 millones de dólares de la época.

1945 al presente

Hacia fines de la Segunda Guerra Mundial, si bien ningún país había logrado un avance significativo, la factibilidad del empleo de agentes biológicos como medio de obtener objetivos político-militares quedó firmemente establecida. Después de la guerra, la investigación y desarrollo de armas biológicas continuaron, de manera notoria en Estados Unidos y la Unión Soviética, aunque no fueron los únicos estados que persiguieron esta vía; el de Iraq era el más conocido. Otros países tuvieron programas de esta naturaleza, pero ninguno de la magnitud o complejidad

---

37 Sidell, F. R.; et al.: *Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare.* Office of the Surgeon General, Walter Reed Army Medical Center, Wasington D.C. (1997).

38 Para esa época, la capacidad de producción de munición de Estados Unidos le alcanzaba para su propio abastecimiento y para proveer grandes excedentes a sus aliados, incluida la URSS. Joint Munitions Command: *History of the Ammunition Industrial Base - From Creation to Present Day.* JMC History Office, AMSJM-HI. 2010.

39 Moreno, J.: *Undue Risk.* Routledge. Nueva York (2001)

de las superpotencias. Sí ha habido casos en donde han sido empleados por terroristas o criminales, pero no se debe descartar el empleo de estos medios por fuerzas irregulares en el futuro.

Estados Unidos de Norteamérica

El mayor avance de Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial en este campo había sido el desarrollo de los sistemas de diseminación de aerosoles de pequeñas partículas de patógenos. Asimismo, aprovechó la experiencia de los investigadores del programa japonés de AB, a los cuales puso a trabajar en sus centros de investigación y desarrollo. Para los inicios de la Guerra de Corea, en 1950, se disponía de esporas de hongos de la familia Puccinia, causante de enfermedades en gramíneas (roya del trigo), en previsión de su empleo contra la URSS. Al mismo tiempo, varios agentes antipersonales fueron estandarizados, pero a partir de 1953 el Chief Chemical Officer, Mayor General Bullene, ordenó dar prioridad al ántrax[40].

En 1959 se desarrolló el uso de mosquitos infectados con virus de la fiebre amarilla. Los virus fueron desarrollados en monos Rhesus para luego infectar a los vectores. Se realizaron ensayos lanzando mosquitos no infectados desde aviones y helicópteros para demostrar la factibilidad de este medio de dispersión y se comprobó que al cabo de un día los mosquitos se habían dispersado en una amplia zona. Los laboratorios de Fort Detrick (que inicialmente había sido llamado Camp Detrick) tenían la capacidad de producir 500.000 mosquitos por mes y se desarrollaron los planes para construir una planta con 130 millones mensuales de capacidad[41].

Una instalación de producción de agentes biológicos fue construida cerca de Pine Bluff, Arkansas y completada en 1954, inicialmente designada Planta X-201 y más tarde como Laboratorios de Desarrollo de Producción (Production Development Laboratories). Además de poder producir la mayoría de los agentes estandarizados, podía proceder al llenado de munición.

La defensa contra ataques antianimales fue puesta a cargo del Departamento de Agricultura en 1954, mientras los medios ofensivos seguían a cargo del Departamento de Defensa.

Aunque se estudiaron varios agentes biológicos y se estandarizaron para su uso en armas, los sistemas de armas para su empleo en operaciones no fueron tantos. Entre otros, se desarrollaron las bombas con submuniciones (bombas racimo o clúster) M33 de 500 lb, que contienen 108 submuniciones M 114, cada una con una carga de 320 ml de Brucella suis. Otra arma era la bomba M115, también de 500 libras, pero dedicada a atacar cultivos, llamada la bomba de plumas, por su método de dispersión[42]. Adoptando un sistema usado por los japoneses durante la guerra, se desarrolló un sistema antivegetales consistente en un cilindro que contiene el agente y un sistema de iniciación de la dispersión del contenido; y un globo no tripulado para transportarlo a la zona del blanco, identificado como la E77[43].

Para conocer los efectos en condiciones operativas normales, en 1954, un grupo de voluntarios fueron expuestos a un aerosol que contiene Coixella burnetii, la rickettsia causante de la fiebre Q, en el campo de pruebas de Dugway (Dugway Proving Ground, en Utah)[44].

También a inicios de los años cincuenta se llevó a cabo una serie de experimentos de campo a gran escala en los que se diseminaban bacterias inocuas sobre áreas urbanas y rurales seleccionadas para probar la efectividad de los métodos de dispersión aérea de agentes biológicos.

---

40 *History of Chemical and Biological Warfare: An American Perspective*

41 Op. cit. Sidell, F. R.; et al.: *Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare*

42 Wheelis, Mark, et al.: *Deadly Cultures: Biological Weapons Since 1945,* (Google Books), Harvard University Press (2006).

43 Garrett, B.; Hart, J.: T*he A to Z of Nuclear, Biological and Chemical Warfare.* The Scarecrow Press, Inc. Plymouth, Reino Unido (2009).

44 Op. cit. Sidell, F. R.; et al.: *Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare*

El programa estadounidense de armas biológicas terminó el 25 de noviembre de 1969, cuando el presidente Richard Nixon anunció que, en lo sucesivo, Estados Unidos renunciaba a todas las formas de guerra biológica y ordenó el cierre integral de las instalaciones involucradas en la producción de agentes biológicos, así como la completa destrucción de las existencias de armas biológicas. Una declaración emitida por Nixon el 14 de febrero de 1970 amplió esa renuncia a las armas toxínicas. Desde entonces, la investigación biológica con fines bélicos en Estados Unidos se centró exclusivamente en el desarrollo de medidas defensivas[45].

Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas - Rusia

Los informes públicos del programa soviético de armas biológicas indican que durante la Guerra Fría, la Unión Soviética realizó un amplio esfuerzo de investigación y producción. Al final de la Segunda Guerra Mundial, los soviéticos tuvieron acceso a gran parte de las técnicas de fabricación avanzada de agentes de Alemania y del personal involucrado en el tema, y también con parte de las investigaciones sobre desarrollo de armas de Japón. A pesar de ello, no existe mucha información pública sobre que hayan logrado algún avance significativo antes de la década del 70.

La organización dedicada a las AB era considerable y llegó a tener más de 60.000 personas trabajando en el área. La conducción del sistema, en particular respecto de la doctrina de empleo y logística, dependía del Ministerio de Defensa, a través del Grupo Especial Biológico, dependiente de la jefatura de operaciones de éste. El XVto Directorado Principal (Glavnoye Upravleniye Ministerstvo Oborony) del Estado Mayor fue la principal organización militar responsable de las armas biológicas. A finales de la década del 60, el ejército soviético tenía un sistema para conducir operaciones ofensivas biológicas, organizado bajo la dirección de los generales Smirnov, Lebedinsky y Yevstigneyev. Incluía el personal, los sitios de prueba, los depósitos de municiones biológicas y tres grandes institutos de investigación militar-biológica, en Sverdlovsk (hoy llamado Ekaterimburgo), Kirov y Zagorsk (hoy llamado Sergiyev Posad) y también algunos centros productivos; el de Strizhi, en la región de Kirov, era el encargado de la producción de agentes virales y bacterias para AB, el último a ser construido a fines de los 80[46, 47].

Es de hacer notar que entre la gran cantidad de posibles patógenos investigados para aplicaciones ofensivas, en el Instituto de Investigación Científica sobre Saneamiento[48] localizado en Zagorsk, que pasó a depender del XVto Directorado en 1954, y que era identificado como Unidad 62992, se desarrollaron virus y rickettsias como agentes y también vacunas. Entre los agentes investigados, se estudió el virus Junín, productor de la fiebre hemorrágica argentina (mal de los rastrojos)[49].

Después de 1973 se creó un sistema civil paralelo, llamado Biopreparat, con la Agencia Principal de la Industria Microbiológica como núcleo[50]. El hecho de que la mayoría de su personal y, en particular la dirección, provenían del XVto Directorado, hacían que estuviese en realidad bajo su control. En los 80 pasó a depender del Ministerio de Industrias Médicas y Microbiológicas. Si bien su función visible era la de producir medicinas, sus plantas e institutos estaban involucrados en la investigación y desarrollo o producción de AB o eran consideradas en los planes de movilización

---

45 Wampler, R.: *The Nixon Administration's Decision to end U.S. Biological Warfare Programs.* National Security Archive Electronic Briefing Book No. 58 (2001).

46 https://fas.org/nuke/guide/russia/agency/15gumo.htm

47 Alibek, K.: Biohazard. Random House, Nueva York (1999).

48 Koblentz, G.: *Living Weapons: Biological Warfare and International Security.* Cornell University Press, Itaka (2009).

49 Op. cit. Alibek, K.: *Biohazard.*

50 https://fas.org/nuke/guide/russia/agency/15gumo.htm

industrial para esos fines. Dieciocho institutos, plantas de producción y laboratorios le dependían directamente. Uno de los más importantes, el Instituto de Biología Molecular Vector, en Koltsovo, produjo a través de ingeniería genética patógenos capaces de resistir múltiples antibióticos, alterar otros para que las vacunas existentes no otorgasen inmunidad y combinar materiales genéticos de distintas fuentes para obtener "quimeras", es decir patógenos con características agresivas y de contagio inexistentes en la naturaleza[51].

Además de las instalaciones mencionadas, el Ministerio de Agricultura tenía bajo su dependencia otras seis dedicadas a las AB ofensivas y defensa para cultivos y animales. Dentro del Ministerio de Salud existían dos directorados relacionados a AB. El segundo Directorado poseía una serie de laboratorios que, además, de sus funciones específicas tenían la tarea de identificar posibles agentes para ser usados en AB, mientras que el tercer Directorado tenía además de laboratorios, hospitales especialmente preparados para lidiar con temas de AB. Este directorado ejercía funciones de auditoría sobre los programas de AB y debía autorizar aquellos que estaban fuera de la órbita del ministerio de defensa, por ejemplo, los de Biopreparat[52]. Bajo su dirección también se llevó adelante un proyecto, llamado "Flauta" (fleyta en ruso), cuyo objetivo era inducir cambios de comportamiento, humor o muerte de sus afectados, del cual no se dispone de información aún desclasificada. [53, 54]

El 2 de abril de 1979 se produjo un brote de ántrax pulmonar en torno a una instalación militar en Sverdlovsk. En una declaración hecha pública el 29 de enero de 1992, el presidente ruso Boris Yeltsin reconoció que el brote fue causado por la liberación accidental de esporas de ántrax. Al mismo tiempo ordenó el cese de todas las actividades rusas relativas a las armas biológicas y la destrucción de cada arsenal de armas biológicas existente.

Sin embargo, el 20 de febrero de 2012, el presidente Vladimir Putin manifestó en un artículo público:

> *"En el futuro más lejano, se desarrollarán sistemas de armas basados en nuevos principios (…, genética, psicofísica y otras tecnologías). Todo esto, además de las armas nucleares, proporcionará instrumentos completamente nuevos para alcanzar objetivos políticos y estratégicos. Estos sistemas de armas de alta tecnología serán comparables en efecto a las armas nucleares, pero serán más "aceptables" en términos de ideología política y militar. En este sentido, el equilibrio estratégico de las fuerzas nucleares desempeñará un papel cada vez menor en el control de la agresión y el caos"*[55].

Iraq

Probablemente el más publicitado programa de AB, fuera del de las superpotencias, ha sido el de **Iraq**. Como estado parte de la CABT desde 1972, habiendo ratificado la misma, Iraq no debió haber iniciado o mantenido un programa de AB.

Pese a esto, y luego en modestos inicios en la década del 70, en 1983 Saddam Hussein decidió reactivar un programa de AB en el contexto de la guerra contra Irán[56], en las instalaciones de AQ de Al Muthanna, financiado por la Organización Estatal de Industrias Técnicas, bajo la dirección técnica

---

51 Op. cit. Koblentz, G.: *Living Weapons: Biological Warfare and International Security*

52 Leintenberg, M.; Zilinskas, R.: *The Soviet Biological Weapons Program.* Harvard University Press, Massachusetts (2012)

53 Op. cit. Koblentz, G.: *Living Weapons: Biological Warfare and International Security*

54 Idem

55 http://archive.premier.gov.ru/eng/events/news/18185/

56 https://www.cia.gov/library/reports/general-reports-1/iraq_wmd_2004/chap6.html#sect1

de la doctora Rihab Taha a partir de fines de 1984, quien recién había completado su posgrado en Gran Bretaña, bajo la conducción del teniente general Nizar Al Attar.

En 1985 y 1986 Iraq obtuvo cepas de referencia de varios patógenos de una variedad de fuentes extranjeras y comenzó una investigación básica sobre posibles agentes, como el B. anthracis para su uso en el esfuerzo de investigación de AB.

En 1987, el programa se trasladó de Al Muthanna a otro sitio en Al Salman (Salman Park). Bajo el control de Ahmad Murtada, director general del Centro de Investigación Técnica, se amplió el personal y la cantidad de agentes investigados. Los aspectos armamentísticos del programa fueron tomados por la Comisión Militar de Industrialización.

En 1988, abrieron instalaciones en Al Hakum (planta de producción de proteínas unicelulares). Esta fue la instalación de producción más importante de AB del programa iraquí. En esta planta se comenzó en 1989 con la producción de 8.000 litros de esporas de ántrax. Todo el sitio fue enmascarado como una planta de producción de alimento para aves de corral[57].

En mayo de 1988, se agregó un grupo de investigación de toxinas fúngicas, que incluían micotoxinas del tricoteceno y más tarde aflatoxina.

Se agregó una tercera instalación en ese mismo período a las capacidades de AB iraquíes, la planta de vacunas para la fiebre aftosa, localizada en Al Dawrah, que fue adaptada para producir toxina botulínica hasta que fuese evacuada tres días antes de la operación Tormenta del Desierto en 1991. El doctor Hazim Ali dirigió la planta desde mediados de 1990, renombrándola Al Manal y comenzó inmediatamente a investigar la posibilidad del uso como AB de varios virus, entre ellos el de la conjuntivitis hemorrágica, el de la viruela del camello y el rotavirus.

El equipamiento de las plantas en cuestión fue adquirido de empresas europeas (Alemania Occidental, Suiza e Italia) fundamentalmente aprovechando las características de doble uso de dichos elementos. También las cepas de partida de muchos de los agentes investigados fueron obtenidas de la misma forma de diversas fuentes, incluidos los Estados Unidos[58], Gran Bretaña.

El programa de AB, en estas tres instalaciones (Salman Park, Al Hakum y Al Manal), también estudió y desarrolló armas basadas en los patógenos del botulismo y la gangrena gaseosa, y produjo munición que contenía ántrax y aflatoxina con stocks de cerca de 500.000 litros de agentes.

Cuando se inició "Tormenta del Desierto", en enero de 1991, Iraq había producido grandes cantidades de esporas de ántrax, toxina botulínica, Clostridium perfringens, aflatoxina y pequeñas cantidades de ricina y, además, tenía AB operacionales desplegadas en cinco sitios. Al Hakam protegía los stocks de agentes a granel en contenedores móviles y cambiaba su localización de manera aleatoria durante las hostilidades. El bombardeo inicial del 17 de enero de 1991 destruyó el único avión equipado con un tanque de pulverización listo para su uso. A pesar de esto, el trabajo continuó completando otros tres tanques, con planes para otros ocho en preparación.[59]

La mayoría de las instalaciones fueron destruidas durante la Operación Tormenta del Desierto o durante las actividades de la Comisión Especial de las Naciones Unidas (UNSCOM, por sus siglas en inglés- *United Nations Special Commission*) que investigó la existencia de ADM en Iraq entre 1991 y 1999. Esta fue reemplazada por la Comisión de Monitoreo, Verificación e Inspección de las Naciones Unidas (UNMOVIC por sus siglas en inglés- *United Nations Monitoring, Verification and Inspection*

---

57 https://web.archive.org/web/20070927193201/http://www.csmonitor.com/specials/inspections/suspicions.html

58 Global Proliferation of Weapons of Mass Destruction: Hearings Before the Permanent Subcommittee on Investigations of the Committee on Governmental Affairs, United States Senate, One Hundred Fourth Congress, First Session, parte 2

59 https://www.cia.gov/library/reports/general-reports-1/iraq_wmd_2004/chap6.html#sect1

Commission), hasta su disolución en 2007, que verificó que nada quedaba de la previa capacidad en este (y otros) campos de ADM. Iraq nunca empleó sus municiones biológicas.

Otros programas de AB

China

No hay información pública sobre los programas de AB que China podría tener o haber tenido, más allá de las lógicas especulaciones que, dada la capacidad científico-tecnológica del país permiten inferir.

Egipto

En 1970 el presidente Anwar el Sadat manifestó que Egipto poseía AB, pero que no las usaría a menos que Israel lo hiciese[60]. Al no ser este un país que haya ratificado la CABT, no tiene ninguna obligación formal para no desarrollar AB; de todas maneras, no ha vuelto a aparecer el tema en ninguna publicación posterior.

Francia

Después de la Segunda Guerra Mundial, Francia retomó sus trabajos en esta área en 1947 y nunca superó la escala laboratorio, al decidirse en 1956 que el esfuerzo de investigación se orientase a AN.

Israel

Israel inició un programa de AB en los meses previos al establecimiento de este estado en mayo de 1948 y lo continuó durante el posterior estallido de hostilidades con los países árabes. Se sospecha que se usaron AB para prevenir la reocupación de territorios conquistados en 1948. Se atribuyeron brotes de cólera en Egipto en noviembre de 1947 y en el límite entre Palestina y Siria en febrero del 48 a Israel.[61]

Por declaraciones ante el Congreso de Estados Unidos, se sabe que el doctor Markus Klingerberg, subdirector del programa de AB de Israel fue detenido en ese país, en 1983 con cargos de espionaje a favor de la URSS. En ese momento se desempeñaba en un instituto en Ner Ziona, que desarrollaba trabajos altamente clasificados sobre AB y AQ[62].

Dado el avanzado estado de la investigación y desarrollo biológicos en Israel y la sobresaliente calidad de su industria militar, es razonable asumir que podría haber creado capacidades de AB altamente eficaces.

República Democrática Popular de Corea

No existe información confirmada de que la República Democrática Popular de Corea (Corea del Norte o RDPC) tenga un programa de AB con un nivel apreciable de desarrollo y como país miembro de la CABT sería ilegal su participación en un programa de esa naturaleza.

Estados Unidos estima que el programa se originó en la década de 1960, y un informe del gobierno ruso de 1993 afirma que los norcoreanos estaban probando armas biológicas en una isla. Los

---

60 https://fas.org/nuke/guide/egypt/bw/index.html

61 Normak, M., et al.: *Israel and WMD: Incentives and Capabilities.* FOI-R-1734. Umea (2005).

62 Global Proliferation of Weapons of Mass Destruction: Hearings Before the Permanent Subcommittee on Investigations of the Committee on Governmental Affairs, United States Senate, One Hundred Fourth Congress, First Session, parte 2.

rusos también mencionaron que la RDPC tenía existencias de cultivos del virus de la viruela, que debieron haber sido destruidos después de la erradicación de esa enfermedad, pero que no lo fueron[63].

Otras fuentes afirman que los norcoreanos tienen la capacidad e infraestructura para el desarrollo de AB. No está claro si esos informes diferencian la investigación legítima de un programa encubierto, especialmente porque las acusaciones a menudo se refieren a enfermedades endémicas de la península de Corea[64].

Sudáfrica

Dentro de su programa de ADM, **Sudáfrica** mantuvo un programa de AB a partir de 1981 hasta, oficialmente, 1995. Fue el llamado Proyecto Costa (Project Coast) y cubría tanto el campo biológico como el químico y sus objetivos fueron tanto ofensivos como defensivos[65].

El programa operó bajo la cobertura de varias empresas privadas para ocultar sus lazos con el gobierno, estaba dirigido técnicamente por el doctor Wouter Basson, (oficial de proyecto), quien también era el médico personal del Primer Ministro del país, Pieter Willem Botha. Gran parte de su trabajo se centró en el desarrollo de toxinas destinadas a asesinatos de opositores al régimen, con métodos muy elementales de dispersión de los agentes[66].

En particular, su principal ente de investigación y desarrollo biológico fue el Roodeplaat Research Laboratories (RDL), el cual era una instalación dedicada a la investigación y ensayo con animales de sustancias producidas por Delta-G Scientific, otra empresa del proyecto. RDL había sido creado por Daan Goosen, un veterinario, a instancias de Basson en 1983. De acuerdo con sus declaraciones, la parte más novedosa del programa fue la investigación y desarrollo sobre agentes antifertilidad para la población de color del país, aunque este proyecto nunca produjo resultados concretos[67].

El programa también era apoyado por la otra organización, Delta-G Scientific, que se centraba principalmente en los agentes químicos, pero también fabricó productos bioquímicos.

Basson fue arrestado en 1997 por haber producido varias drogas de consumo callejeros, como el éxtasis (MDMA)[68].

Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte

El **Reino Unido** continuó con sus actividades en el campo de AB luego de terminada la Segunda Guerra Mundial, con ensayos con los agentes productores de diversas enfermedades (plaga, brucelosis, tularemia, encefalomielitis equina y virus de la viruela).

Se desarrollaron cinco ensayos en alta mar, en los que se utilizaron animales y esparcieron aerosoles de diversos agentes (operaciones Antigua; Cauldron; Hesperus; Ozone; y Negation; entre 1948 y 1955).

El gobierno canceló todos los programas ofensivos de AB en 1956.

---

63 Op. cit. Normak, M., et al.: *Israel and WMD: Incentives and Capabilities*

64 Waldenström, L., et al.: N*orth Korea's Chemical and Biological Programmes in 2005: Real or Outdates Threats.* FOI -R 1679 -SE Umea (2005).

65 Un informe completo sobre este programa puede verse en el informe de la ONU: Gould, C.; Folb, P.: *Project Coast, Apartheih's Chemical and Biological Warfare Programme.* UNIDIR, Ginebra (2002).

66 Op. cit. Normak, M., et al.: *Israel and WMD: Incentives and Capabilities*

67 Op. cit. Waldenström, L., et al.: *North Korea's Chemical and Biological Programmes in 2005: Real or Outdates Threats*

68 Ídem.

Tipos

Como expresamos al comienzo de este documento, las armas biológicas consisten en los agentes biológicos y las municiones, equipo o medios empleados para su distribución.

Los agentes de armas biológicas actúan mediante sus efectos patógenos sobre los organismos vivos. Los agentes biológicos del futuro podrían también dañar equipos y provocar corrosión o degradación de sus componentes plásticos o de caucho. La mayoría de los agentes de armas biológicas son organismos vivos que pueden reproducirse y multiplicarse una vez dispersos. Esta característica les permite incrementar sus efectos a través del tiempo.

En comparación con otros tipos de armas, las AB tienen características diferenciales:

> Su efecto no es instantáneo y pueden pasar entre horas a semanas antes de que aparezcan los síntomas de la enfermedad causada por el patógeno o la toxina.
> Las dosis necesarias para obtener efectos son menores que las requeridas, por ejemplo, por los AQ, debido a que los agentes tienen la capacidad de multiplicarse dentro de los seres vivos afectados.
> Algunos agentes biológicos tienen la capacidad de transmitirse entre los individuos afectados (aunque no todos), lo que permitiría lograr efectos de epidemias de amplia dispersión tanto en efectos como en tiempo.
> Los AB, como los AQ en general, no atacan el equipamiento o las instalaciones. Sólo los seres vivos son afectados.

Los agentes que causan enfermedades contagiosas tienen la capacidad de desencadenar una epidemia, especialmente si las condiciones sanitarias locales son precarias. Desde el punto de vista de la guerra biológica, esos agentes son evidentemente más valiosos, porque tienen el potencial de infligir el mayor daño. Otras características inherentes que influyen en la idoneidad de los agentes biológicos para propósitos de guerra incluyen: infección, virulencia, toxicidad, período de incubación, letalidad y estabilidad.

Los agentes biológicos susceptibles de ser utilizados en armas se clasifican normalmente en cinco categorías: **bacterias, virus, rickettsiae, hongos** y **toxinas**. Otros agentes como los **priones** deberían ser incluidos en esta lista.

Los **virus** son microorganismos compuestos de moléculas de ácido nucleico revestidas de proteína. Algunos tienen también una capa de lípidos que los recubren. Son significativamente más pequeños en tamaño que las bacterias (entre 0,2µm y 0,02µm) y sólo pueden cultivarse dentro de células vivas. Los virus son abundantes en la naturaleza. Son capaces de mutar por sí mismos o pueden ser alterados genéticamente para aumentar su efectividad.

Al colonizar la célula huésped, produce en ella cambios que pueden causarle la muerte. Esto explica la patogenicidad de los virus. Las enfermedades virales generalmente no pueden ser tratadas con antibióticos. Algunos agentes virales utilizables en armas biológicas incluyen los virus de la *encefalitis equina venezolana (VEEV)*; del *Ébola*, del *Hanta*, de la *fiebre del Valle del Rift* y de la *fiebre amarilla*. El *virus Junín*, productor de fiebre hemorrágica del Mal de los Rastrojos, fue también evaluado por los Estados Unidos y por la URSS como arma.

Las **bacterias** son organismos unicelulares compuestos por citoplasma y una membrana celular. Son los seres vivos más abundantes del planeta. Varían en sus formas desde esferoides (cocos, como los estafilococos), barras (bacilos como la Escherichia coli) o espirales (espirilos o espiroquetas como el treponema pallidum) y tamaños que van desde los 0,5µm a varios cientos de µm.

En general se pueden desarrollar (cultivar) en medios artificiales, ya sean sólidos o líquidos, y se replican por división lineal. Algunas bacterias son patógenas y a pesar de que la mayoría puede

ser contrarrestada con antibióticos, se pueden seleccionar variedades resistentes a los tratamientos conocidos. Asimismo, algunas bacterias en determinadas condiciones, desfavorables para su desarrollo, pueden transformarse en esporas, siendo éstas más resistentes al calor, frío, humedad, productos químicos y hasta radiación, baste con recordar el ejemplo de la isla Gruinard que tardó 40 años en ser descontaminada por la presencia de esporas de ántrax.

Las bacterias pueden causar enfermedades en sus huéspedes principalmente a través de dos mecanismos, o la invasión de los tejidos o la producción de toxinas. Algunas usan los dos métodos, como por ejemplo la bacteria Shigella, una de las causantes de la disentería.

Algunos agentes bacteriológicos utilizables en armas biológicas incluyen: *bacillus anthracis (Ántrax), brucella suis (Brucelosis), yersinia pestis (Peste), vibrio choleare (Cólera), pasteurella tularensis (Tularemia) y salmonella typhi (Fiebre tifoidea).*

Las **rickettsias** son microorganismos con una estructura similar a las bacterias, pero, como los virus, no pueden reproducirse fuera de las células de organismos vivos. Las rickettsias son parásitos intracelulares, no forman esporas y tienen tamaños entre los 0,2 µm y 0,5 µm. Suelen vivir dentro de las células que revisten capilares sanguíneos y, en consecuencia, dichos vasos se inflaman o se obstruyen, o bien comienzan a perder sangre dentro de los tejidos que los rodean. De manera similar a las bacterias, las rickettsias son tratables con antibióticos. En general, son transmitidas por insectos. Las rickettsias que pueden ser utilizadas en armas biológicas incluyen *coxiella brunetti (fiebre Q), bartonella quintana (fiebre de las trincheras), rickettsia prowasecki (tifus epidémico) y rickettsia rickettsii (fiebre maculana).*

Los **hongos** son organismos que, en general, producen esporas y que se alimentan de materia orgánica. Los que han sido considerados para ser utilizados como AB en general han sido pensados como agentes antivegetales. Pueden crecer como organismos unicelulares, como las levaduras, o multicelulares, como el moho que crece en hifas agrupadas en micelios.

Algunas especies de hongos producen toxinas estables extremadamente venenosas como, por ejemplo los de la familia Fusarium, que al contaminar cereales pueden producir micotoxinas llamadas tricotecenos[69]. O los hongos de la familia Aspergillus, que pueden producir la aflatoxina, uno de los más poderosos carcinogénicos conocidos.

Las micosis son, en general, tratables con agentes antimicrobianos. Algunos agentes micóticos que son susceptibles de ser utilizados en armas biológicas incluyen al *colletotrichum kanawae, helminthosporiumoryzae, microcyclus ulei y puccinia graminis.*

Las **toxinas** son sustancias venenosas producidas o derivadas de animales, plantas o microorganismos. A diferencia de los otros tipos de agentes biológicos, las toxinas no son organismos vivos y, por lo tanto, son incapaces de reproducirse. Por lo general, consisten en una cadena de aminoácidos, que puede variar en peso molecular desde el orden de unos pocos cientos (péptidos), conocidas como toxinas no proteicas; o del orden de cien mil (proteínas), conocidas como toxinas proteicas. La saxitoxina (producida por algas marinas y luego ingerida por almejas y mejillones) y las micotoxinas llamadas tricotecenos, una familia de unos 100 compuestos tóxicos fabricados por ciertas cepas del moho fusarium que crecen en el trigo, mijo y cebada, son ejemplos de toxinas no proteicas. Mientras que la toxina tetánica o de la difteria son proteicas.

Algunas toxinas pueden ser producidas artificialmente. Estos compuestos químicos, cualquiera sea la manera de preparación, ya sea por biosíntesis o síntesis orgánica, están cubier-

---

69 Existieron alegaciones del empleo de tricotecenos, particularmente los identificados como T2, durante operaciones en la Guerra de Vietnam por parte de los Estados Unidos y en Afganistán por parte de la URSS. Estas acusaciones no fueron probadas.

tos tanto por la CABT como por la CAQ, dado que responden a la definición de armas dada por ambas convenciones.

TABLA 1- ALGUNAS ENFERMEDADES INFECCIOSAS QUE PUEDEN SER USADAS COMO AB[70]

Enfermedades		Período de incubación (días)[1]	Duración de la enfermedad (días)[2]	Dosis infecciosa[3]	Infección secundaria[4]	Mortandad en casos no tratados
Transmitidas por vía aérea	Diftheria	2-7	7-70	nd	leve	alta
	Tularemia	2-3	14-21	baja	alta	alta
	Influenza	1-3	7-14	baja	alta	leve
	Fiebre de Lassa	7-17	nd	nd	leve	alta
	Peste pulmonar	2-3	1-2	baja	alta	alta
	Meningitis bacterial	2-10	?-14	nd	leve	alta
	Ántrax (pulmonar)	1-5	3-5	moderado	alta	alta
	Fiebre Q	14-21	7-21	baja	leve	leve
Transmitidas por alimentos o agua	Campilobacteriosis	1-10	5-14	moderado	leve	leve
	Disenteria	2-3	5-14	baja	alta	leve
	Infecciones con Escherichia coli	2-6	7-14	baja	leve	leve
	Hepatitis A	10-40	35-42	baja	leve	leve
	Cólera	1-5	7-14	alta	leve	leve
	Salmonelosis	1-2	1-4	alta	leve	leve
	Fiebre tifoidea	7-21	14-28	baja	alta	alta
Transmitidas por insectos	Peste bubónica	2-7	14-21	baja	leve	alta
	Tifus	6-15	21-28	baja	leve	alta
	Fiebre Amarilla	3-6	7-10	baja	leve	alta
	Tularemia	1-10	14-21	baja	leve	baja
	Encefalitis equina venezolana	4-20	3-5	baja	leve	baja

(1) Los períodos de incubación dependen entre otros aspectos de la dosis infecciosa, de la vía de acceso y varían ampliamente.
(2) La duración de la enfermedad varía de individuo a individuo.
(3) Baja dosis infecciosa corresponde entre 1 103 organismos; moderada entre 104 – 106 organismos; y alta > de 107 organismos.
(4) Esto se refiere a la posibilidad de transmisión de individuos infectados a individuos no infectados.

Fuente: FOI Informerar om Biological Weapons

El producto tóxico más potente conocido por la ciencia actual es una toxina producida por el Clostridium botulinum, la toxina botulínica, principal ingrediente del producto cosmético bótox, que es entre mil y cien mil millones de veces más letal que el cianuro de hidrógeno.

70 Ver también la lista del CDC relacionada a bioterrorismo en https://emergency.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp

Algunas de las toxinas utilizables en armas biológicas incluyen *aflatoxinas, toxinas botulínicas, ricinas, toxinas de estafilococos áureos y saxitoxinas.*

Finalmente, los **priones** que son agentes causantes de enfermedades que no son ni bacterianos, ni micóticos, ni virales y no contienen ningún material genético. Un prión es una proteína que normalmente es inofensiva. Por causas que se estudian, a veces se doblan en una forma anormal, transformándose en un patógeno. Entonces coopta otros priones normales para convertirlos a su forma. Descubiertos en 1997, el Dr. Stanley B. Prusiner recibió el Premio Nobel de Medicina por ello. Se los considera responsables de varias enfermedades del sistema nervioso como la de la "vaca loca", la de Creutzfeldt-Jacob (versión humana de la anterior), el kuru y algunas formas de Alzheimer, entre otras. Hasta la fecha no hay evidencias de su empleo en relación con AB, por los que no los trataremos en este documento.

Métodos de producción de agentes biológicos

Los métodos de producción de agentes biológicos dependen de la escala que se intenta alcanzar. Un programa para la producción militar de AB requiere la conjunción de varios elementos. Estos incluyen experiencia en biotecnología, equipamiento, instalaciones de almacenamiento y una red de proveedores de equipos y cultivos de agentes. Además, sería necesario financiar dicho programa, así como amplias redes logísticas y organizativas.

Por ejemplo, la planta de producción de armas biológicas de Pine Bluff, en los Estados Unidos, mencionada anteriormente, llamada X-201, construida en los años 50, era una instalación que tenía diez pisos, tres de ellos subterráneos y estaba equipada con diez fermentadores para la producción masiva de patógenos bacterianos. Esta instalación y su planta de llenado de munición asociada requerían un suministro de agua de casi ocho millones de litros de agua por día, un suministro de energía eléctrica de cinco megavatios y una fuerza de trabajo inicial de alrededor de 900 personas. Los avances tecnológicos, tanto en equipamiento básico como en instrumentación y control, ya para la década de los 80 había reducido los requerimientos de personal. Una planta de mucho menor capacidad de producción, en 1987, por ejemplo, cuando los iraquíes iniciaron un programa de AB de alguna consideración en Salman Park pudo operar con un plantel de 18 técnicos y operarios.

Hoy las instalaciones para producir los agentes siguen la tecnología imperante para casi todas las empresas farmacéuticas que puede obtenerse en plantas multipropósito-multiproducto, de menor tamaño que la de Pine Bluff, pero de la misma o superior eficiencia en términos de variedad de productos finales y volúmenes de agentes producidos. Dado que la misma instalación puede ser usada para la producción de agentes biológicos, antídotos y vacunas, esto implica un serio problema para detectar plantas involucradas en la producción de AB.

Los objetivos de un ataque con AB determinan las cantidades requeridas de agente y el tipo de medio de dispersión de estos. Para acciones de sabotaje, serán suficientes cantidades del orden de gramos, mientras que para operaciones militares serán requeridas toneladas. Los requerimientos de experiencia en el campo de AB y del equipamiento necesario variarán acorde a los conocimientos y equipamiento elementales hasta complejas instalaciones industriales.

A pesar de los modestos éxitos de algunos individuos y grupos para desarrollar armas biológicas en pequeñas cantidades, los métodos de producción de agentes para fines militares se centran en los procesos y tecnologías existentes que se pueden aplicar para la producción a gran escala de AB. Estos incluyen técnicas de fermentación, división genética y recombinación de ácido desoxirribonucleico (es decir una molécula de ADN artificial formada de manera deliberada in- vitro por la unión de secuencias de ADN provenientes de dos organismos distintos que normalmente no se encuentran juntos - ADNr), medidas de contención, medidas de estabilización y otros avances en biotecnología.

Mientras que la tecnología de producción es particular a cada agente, la manufactura de agentes biológicos entraña generalmente la selección de los microorganismos que se van a utilizar, ya sea a partir de fuentes naturales o de cultivos mantenidos con propósitos médicos o de investigación; cultivar los microorganismos sembrando en el medio adecuado de crecimiento (en el caso de las toxinas, extrayendo el cultivo de una fuente animal o vegetal apropiada) hasta que se obtengan las cantidades deseadas; concentrar el cultivo para aumentar su potencia y hacerlo apropiado para fines bélicos; y estabilizar el cultivo para protegerlo de la degradación ya sea durante su almacenamiento o su utilización. Si la intención es producir agentes biológicos en forma de polvo desecado, el cultivo líquido obtenido según lo descrito es secado y luego molido en partículas microscópicas. Generalmente, los procedimientos para la producción de agentes biológicos específicos están bien documentados en la literatura disponible y el equipo necesario para producirlos es de uso dual. Esto significa que cualquier país que desee producir cierto tipo de agentes biológicos puede probablemente hacerlo con poco esfuerzo e infraestructura especializada.

Cultivo de agentes biológicos

La producción a gran escala de bacterias y hongos puede lograrse a través de su cultivo en fermentadores. La fermentación es un proceso de reproducción biológica natural que tiene un gran número de aplicaciones comerciales e industriales legítimas, y se utiliza en la producción, entre otros, de cerveza, pan, leche y queso. En los fermentadores, las bacterias normales pueden ser cultivadas, es decir pueden reproducirse rápidamente en grandes cantidades en un entorno natural; la fermentación controlada artificialmente acelera este proceso y los organismos biológicos unicelulares pueden reproducirse exponencialmente.

El primer paso en el proceso de fermentación es poner el agente en un fermentador, donde se mezcla con un medio líquido estéril "nutriente". Con la ayuda del nutriente, las células se reproducen exponencialmente en cuestión de minutos u horas.[71]

La fermentación representa el método más fácil y rentable para la producción de agentes biológicos, ya que esta tecnología está disponible tanto en el mercado, como también en empresas que hoy las usan con fines legítimos. Se encuentran disponibles fermentadores, separadores centrífugos y filtros en instalaciones e industrias de investigación médica, laboratorios de control de enfermedades, instalaciones de investigación y administración de vacunación, industrias y proveedores farmacéuticos, plantas de producción de pesticidas y herbicidas, y cervecerías.

Además del fermentador, será necesario equipamiento para esterilizar el medio nutriente, a fin de evitar contaminar los cultivos. Dependiendo de la toxicidad del agente cultivado, el sistema requerirá estar aislado del medio, para evitar que en caso de fugas se vea afectado el personal que trabaja en la instalación o la población circundante[72].

La producción de agentes virales y rickettsia requiere diferentes tecnologías de producción. Estos microorganismos solo pueden reproducirse dentro de células vivas, lo que impone dos técnicas para su cultivo: en animales vivos o en células de tejidos cultivadas.

Este último sistema ofrece un mayor control, pero mayores obstáculos técnicos. Las células deben adherirse a una superficie para crecer y también requieren un medio de cultivo complejo basado en suero sanguíneo obtenido de animales. Avances en biotecnología permiten hoy desarrollos que resultan en mayores concentraciones de células de mamíferos y una mayor recuperación del

---

71 En condiciones de laboratorio, las bacterias crecen hasta alcanzar densidades de 10^{14} bacterias por litro de nutriente. Por ejemplo, en el caso de la E. coli, esto ocurrirá en aproximadamente 10 horas.

72 Recordar el caso de la planta soviética de Sverdlovsk y la fuga de esporas de ántrax en abril de 1979 ya mencionadas.

producto buscado. La tecnología de fibra hueca ofrece un método aún más eficiente de cultivar células de mamíferos para el cultivo de virus o rickettsias. Bajo este proceso, las células se cultivan en la superficie exterior de fibras delgadas que se sumergen en medio de crecimiento; el aire se bombea a través de las fibras y se difunde a través de la pared de fibra para llegar a las células. Mientras que un solo biorreactor de fibra hueca equivale a varios miles de botellas de un litro (en términos de producción), ocupa menos de una vigésima parte del volumen. Por lo tanto, las nuevas técnicas de cultivo celular simplifican en gran medida la producción de virus y rickettsias y permiten rendimientos a gran escala desde instalaciones relativamente pequeñas.

TABLA 2 - TÉCNICAS PRINCIPALES DE PRODUCCIÓN DE AGENTES BIOLÓGICOS

Tipo de agente	Producción de baja tecnología	Producción de alta tecnología
Bacteria	Fermentación por lotes, producción en animales	Variedades genéticamente diseñadas, fermentación de flujo continuo
Rickettsia & Virus	Cultivo en huevos, cerebros de ratón o cultivo de tejidos (rodillos de botellas)	Cultivo en células de mamíferos cultivadas en microesferas o fibras huecas
Toxinas proteicas	Fermentación y purificación por lotes de una toxina bacteriana, o extracción de toxina de una fuente vegetal o animal	Clonación del gen toxina en el huésped microbiano, extracción
Toxinas no proteicas	Extracción de origen vegetal o animal	Clonación de una serie de genes, cada uno gobernando la producción de una de las enzimas necesarias para completar un paso en la vía biosintética

Fuente: Office of Technology Assessment, Technologies Underlying Weapons of Mass Destruction, 1993

Almacenamiento

Luego de la separación de los microorganismos de interés o de las toxinas, se debe proceder a su secado y posterior almacenamiento. Este, en general, se hace a bajas temperaturas, dependiendo del tiempo que se prevea deberá guardarse el material previo a su empleo, siendo el más seguro el de congelar el material a -170°C, que, aunque costoso y complejo, es el único que reduce la posibilidad de afectados entre el personal encargado de la custodia del material. Los programas militares de AB preveían la producción de los agentes cercana en el tiempo a su carga en los medios de empleo para evitar problemas de seguridad en la propia tropa.

Los sistemas de dispersión de AB

La fabricación de sistemas adecuados para la dispersión de los agentes biológicos, es decir, lo que normalmente entendemos como el arma en sí, es la tarea más difícil en la realización de las operaciones biológicas.

Los agentes biológicos pueden dispersarse mediante una variedad de municiones con explosivos, vaporizadores, aerosoles o vectores animales. Por su estado físico, lo más probable es que los agentes biológicos sean propagados como una suspensión líquida o como un polvo de los organismos o toxinas secos. Aunque la difusión de agentes biológicos por pulverización (aerosol) es simple y podría utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones para sabotajes, cuando se

trata de operaciones militares, es un proceso complejo y técnicamente desafiante y es quizás el obstáculo tecnológico más difícil de superar para crear un programa de AB. El principal desafío es mantener los agentes vivos el tiempo suficiente para producir los efectos previstos. El agente debe ser capaz de soportar las tensiones físicas implicadas en la diseminación sin perder viabilidad o toxicidad.

Munición Biológica generadora de aerosoles

Hay dos tipos básicos de municiones biológicas: municiones de fuente puntual y tanques de fuente lineal *(spray tanks).* Dentro de cada categoría, puede haber múltiples formas y configuraciones. Las primeras son típicas de artillería, tanto de tubo como de proyectiles autopropulsados; mientras las segundas son comúnmente usadas desde aeronaves. Cada tipo de munición puede ser diseñada para diseminar líquidos o polvos secos.

La munición de fuente puntual puede ser proyectiles de artillería o bombas de carga única o cargadas con submuniciones. Las submuniciones biológicas son generalmente de forma esférica o cilíndrica, están energizadas por una carga explosiva o gas a presión, y tiene una espoleta que es armada durante su patrón de vuelo. Las más eficientes por lo general tiene un volumen de agente entre 50 y 250 cm3. El número de submuniciones por kilómetro cuadrado de objetivo puede variar de unas pocas docenas, si contienen un agente como Francisella tularensis, a varios miles si contienen un agente como la toxina botulínica (A).

La ventaja de las submuniciones es que pueden saturar el objetivo. Cada una proporciona un aerosol que eventualmente se fusionará con los aerosoles del resto, por lo tanto, darán una cobertura más predecible en el objetivo, incluso en condiciones meteorológicas deficientes. Su mayor desventaja es que, alrededor del cinco por ciento del agente permanecerá en el lugar de caída, lo que permite su rápida identificación.

La munición de fuente lineal puede ser un tanque oblongo, similar en apariencia a un tanque de combustible suplementario de una aeronave o puede estar contenido dentro de la cabeza de combate de un misil crucero, que tiene sus propios mecanismos de control interno que dictan cuándo el agente es liberado. Los tanques de agente tanto seco como líquido varían en tamaño, conteniendo volúmenes de entre 100 y 1000 litros.

Las municiones que generan la dispersión del agente a través de una carga explosiva utilizan la expansión de gases generada por la detonación para dispersarlo. No son tan efectivas como otros métodos, ya que el estallido de los explosivos podría destruir a gran parte de los microorganismos o las toxinas. Otro problema de la munición explosiva es que son incapaces de controlar el tamaño de partícula de los agentes, que es crucial para una diseminación efectiva.

Otros métodos de dispersión

Los agentes biológicos también pueden alcanzar a sus blancos previstos, sean humanos, animales o vegetales, por medio de fuentes de infección vivas. Ejemplo de estos sistemas es el uso de insectos contaminados como vectores. Los mosquitos pueden ser usados para trasmitir la tularemia o malaria, pulgas para la peste bubónica, y piojos para el tifus. La desventaja de este sistema, además de las dificultades logísticas de la cría oportuna de los vectores, es que una vez desplegados, será muy difícil controlar que no salgan del área que se ataca, por un lado y por el otro, que desaparezca la infección cuando se ocupe con medios propios la zona.

Esto también es aplicable cuando el agente es el mismo insecto, como en el caso del escarabajo de la papa, previsto como agente anticultivos.

Por último, se han usado seres vivos para transmitir enfermedades de individuo a individuo.

Efectos de las AB

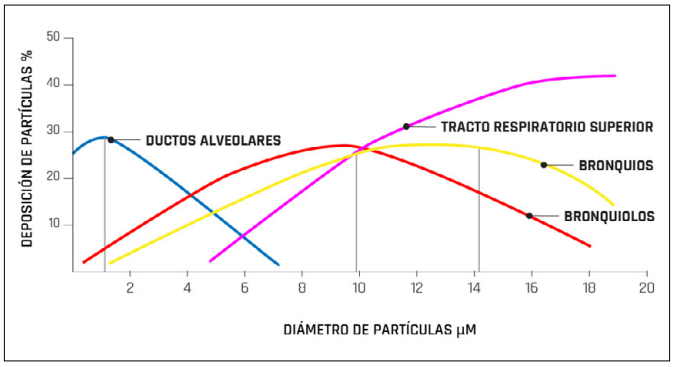
Los efectos de las armas biológicas dependen de varios factores, que incluyen el tamaño y calidad de los agentes empleados, la diseminación efectiva, las condiciones ambientales y la susceptibilidad del objetivo.

¿Qué se necesita para producir un volumen de patógenos a la escala necesaria para un ataque significativo o catastrófico? Dependiendo del tipo de patógeno, la cantidad necesaria para un ataque catastrófico podría variar de varios mililitros a tambores de 200 litros.

Diferentes tipos de agentes provocan diversos resultados. Por ejemplo, mientras que algunos agentes son letales, otros solamente incapacitan y mientras algunos son contagiosos y capaces de desatar una epidemia, otros no. Adicionalmente, algunos agentes son más susceptibles de tratamiento que otros. La calidad de los agentes utilizados también constituye una diferencia.

Por ejemplo, los agentes necesitan ser estabilizados para protegerlos de la descomposición natural mientras están almacenados y de las condiciones ambientales cuando son empleados. Dado que la mayoría de los agentes biológicos resultan ser frágiles organismos vivos, son muy sensibles a las condiciones ambientales. La exposición a la luz solar, a los contaminantes del aire, un inadecuado o rápido cambio del nivel de humedad y hasta el oxígeno pueden inactivarlos. Aunque la mayoría de los agentes pueden ser estabilizados efectivamente contra la exposición, los efectos de las condiciones ambientales son, a pesar de todo, difíciles de predecir y controlar.

ILUSTRACIÓN 1 - TAMAÑO DE PARTÍCULAS Y PENETRACIÓN EN EL SISTEMA RESPIRATORIO[73]



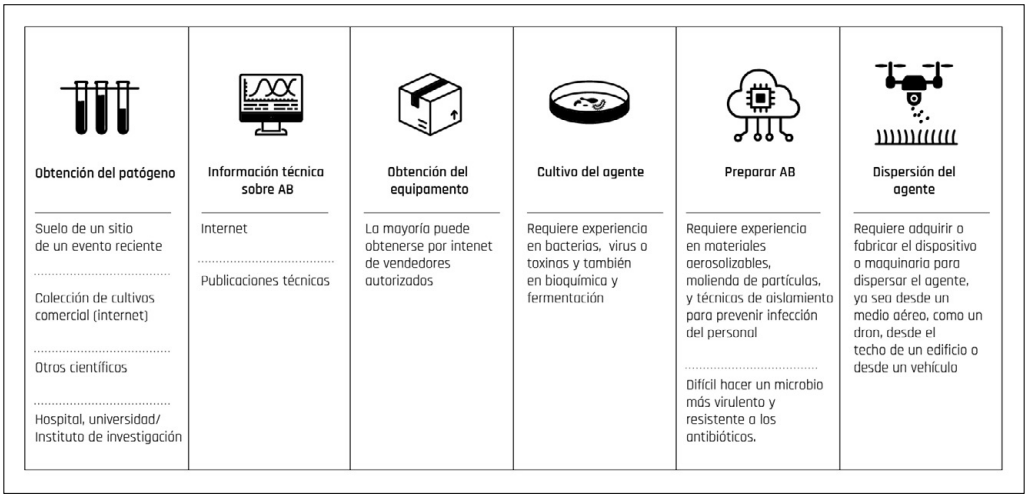
En condiciones de igualdad, un agente estabilizado tiene una mayor posibilidad de penetrar exitosamente su objetivo. Aquellos agentes que generan esporas, como el caso del Bacillus antracis, pueden sobrevivir largos períodos aún en condiciones de almacenamiento no ideales. Otros requieren de un proceso llamado micro-encapsulado donde cada microrganismo o la toxina son recubiertos de una capa protectora que puede ser de lípidos, almidón, goma, gelatina, etc.

Una diseminación exitosa desempeña un papel clave en la efectividad de las armas biológicas. Como se ha explicado, los agentes biológicos son más efectivos cuando se diseminan en forma de aerosol. Normalmente, con diseminación por aerosol se espera que entre el 40 y el 60 por ciento de los agentes sobreviva al proceso inicial de dispersión, mientras que en una diseminación explosiva probablemente sobreviva sólo cerca del 1 al 5 por ciento. En el caso de los agentes antipersonales, los aerosoles tienen generalmente la intención de contaminar el objetivo por las vías respiratorias. Para lograrlo, las gotas microscópicas que forman el aerosol deben tener un tamaño de partícula de aproximadamente 0,5-10µm de diámetro, porque de otra forma no serían capaces de penetrar efectivamente los pulmones, como muestra la Ilustración 1. En el caso

73 Adaptado de Al-Agamy, M.: *Tools of Biological Warfare.* Research Journal of Microbiology, 6: 193-245. 2011.

de los agentes vegetales, nuevamente se prefiere la dispersión por aerosol debido a sus mejores posibilidades de cubrir el área objetivo de manera apropiada.

ILUSTRACIÓN 2 - EJEMPLO DE LOS PASOS PARA CREAR UN AB AEROSOLIZABLE[74]



Finalmente, el nivel de protección disponible para los objetivos también tendrá importancia sobre los efectos de las armas biológicas. Alerta temprana, equipo de protección y tratamiento profiláctico y terapéutico pueden, en ciertas circunstancias, limitar los efectos de los agentes biológicos. Más ampliamente, la capacidad de los agentes contagiosos de diseminar una epidemia depende, a menudo, del nivel general de condiciones sanitarias que caracterizan el objetivo.

Doctrina de empleo

El empleo de AB ofrece tanto ventajas como desventajas

Por un lado, su costo de producción es más bajo que el de las armas nucleares, químicas o convencionales; pueden ofrecer una considerable flexibilidad táctica, ya que se dispone de una amplia gama de agentes que puede ser combinada en numerosas formas; y pueden atacar amplios objetivos durante períodos prolongados de tiempo dada su capacidad de multiplicarse y aun de provocar epidemias así como la de contaminar áreas por largo tiempo; pueden consumir recursos significativos del enemigo causando altos índices de mortalidad y exigiendo la movilización de recursos masivos en respuesta; pueden tener un impacto psicológico devastador sobre sus objetivos provocando el miedo de contaminación no perceptible y muerte inminente; y son idóneas para operaciones encubiertas porque pueden ser dispersadas discretamente y sus efectos tardan en desarrollarse. Asimismo, pueden ser usadas con fines de guerra económica, afectando cultivos o ganado y en función de nuevos desarrollos, contra blancos seleccionados en función de variaciones genéticas[75].

Por otro lado, las AB son esencialmente inseguras debido a que sus efectos son inciertos y nunca inmediatos, debido al período de incubación, que puede tomar desde horas hasta días después de la contaminación; su empleo conlleva el riesgo de contaminar incluso a los atacantes y pueden

74 Adaptado de Frinking, E.; et al.: *The increasing threat of biological weapons.* The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS). 2016.

75 The economist: *Improvised weapons - Hell's kitchens.* Science & technology. 21 de mayo de 2016.

complicar considerablemente otras operaciones militares, imponiendo regímenes onerosos de medidas precautorias. Su empleo está prohibido por varios tratados internacionales, lo que supone el riesgo de sanciones y la pérdida del apoyo de grandes sectores de la población, incluso de la propia.

Tomando cuidadosamente en consideración sus capacidades y sus limitaciones, las AB podrían ser empleadas tanto contra objetivos militares como civiles.

Militarmente, pueden ser útiles para atacar objetivos amplios y relativamente estáticos en la retaguardia del campo de batalla, como las áreas de concentración de tropas y los conglomerados de reserva, los emplazamientos de artillería y las bases de misiles, puestos de mando y de control, instalaciones logísticas, fortificaciones y bases navales o aéreas. Contra civiles, es posible emplear las armas biológicas para provocar epidemias en una escala masiva, para contaminar los abastecimientos de agua o alimentos o para llevar a cabo actos terroristas.

Las AB resultan quizás atractivas para Estados o actores subestatales que buscan adquirir capacidad de armas de destrucción en masa. Comparadas con las armas nucleares y químicas, las armas biológicas son considerablemente más fáciles de construir. Como se ha explicado, cualquier país o grupo subnacional decidido a producir algún tipo de agente biológico es capaz de hacerlo probablemente con una inversión mínima, pero su diseminación puede ser complicada. Por ejemplo, la secta japonesa *Aum Shinrikyo*, conocida por su ataque químico contra el subterráneo de Tokio en junio de 1995, había llegado a producir ántrax, pero fracasó en desarrollar un método viable de diseminación[76]. El primer laboratorio de cultivo para producción de toxinas de la secta se estableció en 1990 y luego fue reemplazado por dos laboratorios nuevos. En ellos la secta cultivó y experimentó con toxina botulínica, ántrax, cólera y fiebre Q. En 1993, el líder de la secta, Shoko Ashahara y un grupo de 16 doctores y enfermeras viajaron a Zaire con el propósito de obtener muestras de Ébola. O en 2002, un grupo de fundamentalistas musulmanes fue encontrado produciendo la toxina ricina en la cocina de un departamento en Londres.[77]

Si consideramos los métodos por los cuales los agentes biológicos pueden infectar a una población objetivo existen varias rutas para hacerlo. La inoculación directa, la infección de reservorios o la infección de vectores naturales y su dispersión en la población objetivo, o la infección de unas pocas personas, como vimos que sucedió con prisioneros chinos durante la Segunda Guerra Mundial, y la propagación de la infección a partir de ellos son algunos ejemplos posibles.

Si consideramos posibles acciones terroristas que buscaran infligir bajas masivas, ninguna de las posibilidades enunciadas en el párrafo anterior es actualmente muy probable para la mayoría de los agentes conocidos, con la excepción de la viruela, un virus que tiene la capacidad de propagarse de humano a humano.

Si se busca que los agentes alcancen directamente al huésped objetivo, se puede considerar el suministro de agua, los alimentos y los aerosoles como vectores potenciales de infección. El agua contaminada de pozos y tanques y cisternas de almacenamiento se ha asociado con brotes de enfermedades, pero la dilución, la cloración y el tratamiento habitual del agua antes del consumo hacen difícil alcanzar resultados por esta vía.

Los patógenos transmitidos por alimentos son una causa importante de morbilidad y mortalidad en casi todo el mundo[78]. Y esto es a pesar de que, durante tiempo de paz, la cadena de suministro de

---

76 http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol5no4/olson.htm

77 https://www.nti.org/gsn/article/one-suspect-convicted-in-uk-ricin-plot/

78 De acuerdo con la OMS, anualmente un 10 por ciento de la población mundial sufrirá enfermedades por ingestión de alimentos contaminados y más de 400.000 fallecerán por ello. https://www.who.int/news-room/detail/03-12-2015-who-s-first-ever-global-estimates-of-foodborne-diseases-find-children-under-5-account-for-almost-one-third-of-deaths

alimentos está bien controlada desde la producción hasta el consumo. En tiempos de conflicto esto puede verse alterado. La mejora de la vigilancia de enfermedades transmitidas por los alimentos y los nuevos métodos de tipificación molecular de organismos patógenos deberían proporcionar una barrera a la difusión de los alimentos contaminados. Si algunos casos son reconocidos y rastreados a una fuente de suministro, las advertencias y retiros pueden servir para protegernos. Un caso de estudio es el de infección por Salmonella no letal de unos pocos cientos de ciudadanos[79] en los Estados Unidos por un grupo de ideología extrema.

El uso de aerosoles es el más adecuado si se busca causar un gran número de víctimas. Como contrapartida, sus desventajas operativas son la dependencia de las condiciones metrológicas, la no disponibilidad de muchos agentes biológicos para la propagación aérea y las demandas técnicas.

Según un estudio de la OMS[80], se prevé que algunos agentes infecciosos produzcan entre 35.000 y 100.000 víctimas si se dispersan 50 kilos del patógeno con una fuente de línea, por ejemplo, con tanques de dispersión desde un avión o dron, y la nube formada pasa por la zona poblada.

Agente	Alcance (km a favor del viento)	Muertos provistos	Incapacitados
Fiebre del Valle del Rift	1	400	35000
Virus de la encefalitis por garrapatas	1	9500	35000
Tifus	5	19000	85000
Brucelosis	10	500	125000
Fiebre Q	>20	150	125000
Tularemia	>20	30000	125000
Ántrax	>20	95000	125000

En el caso de algunos de los agentes más estables, el alcance del viento descendente superaría los 20 kilómetros. La Oficina de Evaluación Tecnológica (1993) ha publicado cifras similares. Hay que tener en cuenta que los programas estadounidenses y soviéticos prepararon literalmente toneladas métricas, no kilogramos, de agente y que se disponían de dispositivos apropiados para la entrega de fuentes de línea o múltiples fuentes de puntos superpuestos (Alibek, 2001; Sidell et al., 1997). El impacto en los miembros infectados de la población dependería del agente utilizado y de la naturaleza de la respuesta (por ejemplo, la alacridad del reconocimiento de los pacientes iniciales, la infraestructura médica y de salud pública, las reservas de vacunas y antibióticos)

A pesar de su atractivo, las armas biológicas son percibidas generalmente como no experimentadas, inestables y no muy útiles y, por lo tanto, militarmente inferiores a las armas nucleares o químicas.

Avances en las ciencias biológicas y tecnologías relacionadas

Por lo general, se entiende que las tecnologías emergentes[81] tienen nuevos elementos que muestran un potencial disruptivo pero que aún no han desarrollado todo su potencial. Ese potencial disruptivo depende de la tecnología y la industria específicas, ya que puede significar el ofrecer nuevas

79 Török T.J.; et al.: *A large community outbreak of salmonellosis caused by intentional contamination of restaurant salad bars.* JAMA.;278(5):389-395. 1997. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9244330/

80 OMS: *Health aspects of chemical and biological weapons.* Primera edición (1970)

81 Para definiciones de tecnologías emergentes ver Rotolo, D.; et al.: *What is an emerging technology?* Research Policy, vol. 44, no. 10 de diciembre de 2015, pp. 1827–43, p. 1831.

capacidades, antes no disponibles, reemplazar máquinas existentes o mano de obra, cambiar las cadenas de suministro, reestructurar industrias, revolucionar o hacer obsoletas ciertas clases de sistemas de armas. Generalmente representa el cambio de un paradigma[82].

Las tecnologías colocadas habitualmente en esta categoría incluyen la fabricación aditiva, la inteligencia artificial, la biotecnología, la tecnología cuántica y la robótica[83].

Aunque el término tecnologías emergentes es de uso común, tiene limitaciones, particularmente en el contexto del control de armamento. La calificación emergente suele referirse a la tecnología como tal que, por definición, siempre se está desarrollando y no se detiene, mientras que en el contexto de este documento es usado para referirse a las aplicaciones emergentes de esa tecnología, en particular en el contexto militar.

Los avances científicos y tecnológicos en el campo de las ciencias biológicas, en particular en biotecnología y en biología sintética, han aumentado considerablemente el acceso y la probabilidad de que se utilicen enfermedades infecciosas como AB. Estos se relacionan tanto con la naturaleza y los costos de la investigación, como con la ampliación de los conocimientos especializados y la facilidad de acceso a ellos por parte de cualquier interesado.

Impacto de las biociencias

En 2011, el doctor Ron Fouchier "fabricó" un virus extremadamente peligroso por su potencial capacidad de infectar a humanos. Fouchier, un virólogo holandés del Erasmus Medical Center[84] de Rotterdam, afirmó que su equipo había "hecho algo realmente, muy estúpido" ya que produjo intencionalmente una mutación del virus H5N1[85]. Casi al mismo tiempo, el Dr. Yoshihiro Kawaoka de la University of Wisconsin-Madison, lograba injertar un pico del gen del virus H5N1 en la gripe porcina H1N1/09 y creaba otra cepa transmisible y virulenta.

A pesar de los sólo 600 casos humanos del virus H5N1 ("gripe aviar") en las dos décadas anteriores, la tasa de mortalidad excepcionalmente alta, de la enfermedad causada por este virus, superior al 50 por ciento, empujó al Consejo Asesor Científico Nacional para la Bioseguridad en los Estados Unidos (National Scientific Advisory Board for Biosecurity - NSABB)[86] a bloquear la publicación de las investigaciones de ambos equipos que se realizaban bajo los auspicios del Instituto Nacional de Salud de ese país (National Institutes of Health – NIH). Después de un acalorado debate en la comunidad científica, la Organización Mundial de la Salud finalmente autorizó a publicar los resultados[87]. Mientras que el artículo de Kawaoka apareció en la revista *Nature*[88], el estudio original de Fouchier apareció en *Science*[89]. Aunque ambos equipos generaron virus que no eran tan letales como sus formas conocidas, la preocupación de la comunidad científica era que la información divulgada en estos documentos pudiese permitir replicar las manipulaciones y armar un virus más contagioso.

---

82 Brimley, S.; et al.: *Game Changers: Disruptive Technology and U.S. Defense Strategy.* Center for a New American Security: Washington, DC, septiembre de 2013, pp. 4, 11.

83 US Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, 'Review of controls for certain emerging technologies', Federal Register, vol. 83, no. 223. 29 de noviembre de 2018. pp. 58 201–202.

84 https://www.erasmusmc.nl/

85 https://www.nytimes.com/2012/06/22/health/h5n1-bird-flu-research-that-stoked-fears-is-published.html

86 El NSABB es un comité asesor que aborda cuestiones relacionadas con bioseguridad e investigación de doble uso para los Estados Unidos. El NSABB cuenta con una amplia gama de conocimientos especializados, que incluyen biología molecular, microbiología, enfermedades infecciosas, bioseguridad, salud pública, medicina veterinaria, sanidad vegetal, seguridad nacional, biodefensa, aplicación de la ley, publicación científica y otros campos relacionados.

87 https://www.nytimes.com/2012/03/31/health/h5n1-bird-flu-research-is-safe-to-publish-panel-says.html

88 https://www.nature.com/articles/nature10831

89 https://www.sciencemag.org/site/special/h5n1/index.xhtml

En 2012, el Dr. Anthony Fauci, director del Instituto Nacional de Alergias y Enfermedades Infecciosas (National Institute of Allergy and Infectious Diseases), y actual director técnico del esfuerzo de Estados Unidos para controlar la pandemia del COVID-19, sostuvo que los beneficios en el avance de las vacunas de la investigación de Fouchier compensaban los riesgos.

La búsqueda de agentes patógenos aptos para el desarrollo de una AB no requiere necesariamente ingeniería genética: la viruela, la peste y el ántrax son lo suficientemente mortales en sus estados naturales. Pero la revolución de la biotecnología, en particular, las nuevas herramientas para analizar y cambiar específicamente el material genético de un organismo, ha elevado el riesgo de reaparición de AB debido a varios factores. Entre otros, por ejemplo, la expansión de la biotecnología en la investigación médica y en la producción de fármacos ha dado lugar a una disponibilidad mundial de conocimientos e instalaciones.

Desgraciadamente, la ingeniería genética no es simplemente una posibilidad teórica para ser usada en aplicaciones ofensivas, ya se ha aplicado en programas de armas, particularmente en la antigua Unión Soviética. Un ejemplo es el "ántrax invisible" de la URSS, resultante de la introducción de un gen en el *Bacillus anthracis* que altera sus propiedades inmunológicas[90, 91], lo que hace muy difícil la detección temprana de la infección y, por lo tanto, demora el inicio del tratamiento correspondiente. Las vacunas existentes demostraron ser ineficaces contra esta nueva cepa genéticamente diseñada.

Considerando el rápido desarrollo de la biología molecular, es sólo una cuestión de tiempo antes de que la síntesis artificial de agentes o nuevas combinaciones de agentes sea posible. Como ejemplo podemos ver que en 2001 se daba la noticia de que un equipo de investigación de una universidad estadounidense había sintetizado químicamente un virus artificial de la poliomielitis desde cero[92]. Comenzaron con la secuencia genética del agente, que está disponible en línea, ordenaron pequeñas secuencias de ADN a medida y las combinaron para reconstruir el genoma viral completo. En un último paso, el ADN sintetizado fue traído a la vida mediante la adición de un cóctel químico que inició la producción de un virus patógeno vivo.

En principio, este método podría utilizarse para sintetizar otros virus con secuencias de ADN igualmente cortas. Esto incluye al menos cinco virus que se consideran posibles agentes biológicos, entre ellos el virus del Ébola, el virus de Marburgo y el virus de la encefalitis equina venezolana. Sin embargo, cabe señalar que este método es complejo, y probablemente sólo unos pocos expertos altamente capacitados serían capaces de dominar esta técnica, al menos por el momento.

También, hace ya casi 20 años, investigadores de la University of Pennsylvania documentaron por primera vez que la secuencia de un gen relacionado con la patogenicidad del virus vacuna *(Vaccinia virus)* podría transformarse a través de la mutación dirigida de 13 pares de bases en la secuencia del gen de la viruela correspondiente[93]. Si esta técnica ya es aplicable a los genomas completos entonces deberá reconsiderarse la evaluación actual de la amenaza de la viruela, que fue declarada erradicada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1980. Teniendo en cuenta el peligro extremo que la viruela representa para una población humana, ahora en gran medida no vacunada, parece al menos cuestionable hacer que la secuencia de viruela esté disponible en línea en la web.

---

90 Pomerantsev A.P., et al.: *Expression of cereolysine ab genes in Bacillus anthracis vaccine strain ensures protection against experimental hemolytic anthrax infection.* Vaccine, 15, 1846–1850 (1997)

91 Abrami, L.; et al.: *Hijacking Multivesicular Bodies Enables Long-Term and Exosome-Mediated Long-Distance Action of Anthrax Toxin.* Cell Reports, 2013; DOI: 10.1016/j.celrep.2013.10.019

92 https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC124380/

93 https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC124380/

En función del hecho de que los microorganismos naturales son capaces de degradar casi todos los materiales y ya se están utilizando para tratamientos de descontaminación ambiental, se han discutido los posibles usos de la biotecnología para fabricar microorganismos que puedan atacar la infraestructura, la logística o los suministros del adversario. Los organismos naturales son bastante lentos y poco fiables, pero, con la ayuda de la ingeniería genética, el desarrollo de organismos más eficaces podría ser posible, probablemente como para ser utilizados como AB[94].

Un informe del director de Inteligencia Nacional de Estados Unidos de 2019[95], expresa que, referido a las características de edición genética y las AB:

> *"Es probable que los rápidos avances en biotecnología, incluida la edición de genes, la biología sintética y la neurociencia, presenten nuevos desafíos económicos, militares, éticos y reglamentarios en todo el mundo a medida que los gobiernos luchan por mantener el ritmo. Estas tecnologías son muy prometedoras para los avances en la medicina de precisión, la agricultura y la manufactura, pero también introducen riesgos, como la posibilidad de que los adversarios desarrollen nuevos agentes de guerra biológica, amenacen la seguridad alimentaria y mejoren o degraden el rendimiento humano".*

Con las generaciones futuras de tecnología similar a CRISPR y un conocimiento avanzado de la genética, no habría un fin teórico a la miseria que podría ser causada. Existe el potencial de crear cepas de enfermedades resistentes a los medicamentos, por ejemplo, o insectos protegidos por pesticidas, capaces de eliminar el cultivo básico de un país.

Con la evolución de tecnologías similares al CRISPR y un conocimiento avanzado de la genética, los riesgos implícitos son crecientes dado el potencial de crear cepas de enfermedades resistentes a los medicamentos, por ejemplo, o insectos resistentes pesticidas, capaces de eliminar el cultivo básico de un país.

Disminución de los costos vinculados

Los costos de sintetizar agentes biológicos han disminuido significativamente. Mientras que la determinación (incompleta) de la secuenciación de los «genomas humanos inaugurales» en 2001 tardó aproximadamente diez años y costó 3.000 millones de dólares[96], la secuencia completa del genoma humano se determinó en 4 meses y costó menos de un millón de dólares en 2008[97]. Actualmente, la síntesis de secuencias cortas de ADN puede costar menos de 1 dólar estadounidense[98].

Junto con la información sobre la composición genética de los agentes biológicos, el equipo para sintetizar y secuenciar genomas se ha vuelto más sofisticado, más barato y accesible. Por ejemplo, a través de organizaciones no gubernamentales como BioBricks, uno de cuyos objetivos es generar el ejercicio de la ingeniería aplicada a la biología de una manera abierta y ética, es posible compartir cualquier función estandarizada genéticamente codificada de forma gratuita[99], al mismo

---

94 Sayler, G.: *Field applications of genetically engineered microorganisms for bioremediation processes.* Curr. Opin. Biotechnol., 11, 286–289.2000. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10851144/
Stirling, F.; Silver, P.: Controlling the Implementation of Transgenic Microbes: Are We Ready for What Synthetic Biology Has to Offer? Mol Cell. 2020 May 21;78(4):614-623. doi: 10.1016/j.molcel.2020.03.034.

95 Director of National Intelligence de los EEUU: *Worldwide Threat Assessment of the US Intelligence Community.* Febrero de 2019. https://www.dni.gov/files/ODNI/documents/2019-ATA-SFR---SSCI.pdf

96 https://science.sciencemag.org/content/291/5507/1304

97 https://www.nature.com/articles/nature06884

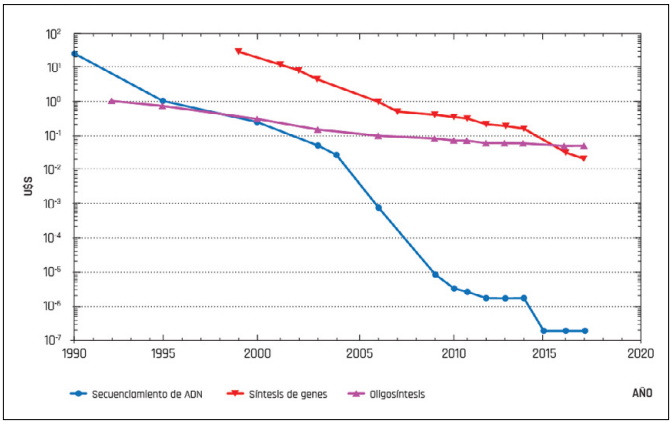
98 https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/DefenseTechnologyPapers/DTP-082.pdf?ver=2017-06-22-143029-967

99 Ver: The BioBrick™ Public Agreement en https://biobricks.org/

tiempo que tiene programas para compartir equipos como el Open Material Transfer Agreement[100] que facilitan el acceso.

El siguiente gráfico, la llamada curva de Carlson, muestra cómo han disminuido los costos de sintetizar material genético y secuenciación de ADN en los últimos años, esperando que estas tendencias continúen (nótese que la escala de precios es logarítmica).

ILUSTRACIÓN 3 - VARIACIÓN DE PRECIOS DE SECUENCIACIÓN DE ADN Y SÍNTESIS BIOLÓGICA - VALORES 2017[101]



Aunque este gráfico muestra la disminución de los costos de obtención de las moléculas necesarias para construir organismos, el ensamblaje de esos oligonucleótidos en un genoma requiere alta experiencia y equipos especializados. La experiencia hasta ahora ha demostrado que la importancia del conocimiento tácito (o implícito)[102] se pasa por alto comúnmente en los trabajos relacionados a las AB dado que el enfoque se centra en el acceso a materiales biológicos e información digital, más que en las prácticas humanas y las dimensiones institucionales[103].

Lo que no puede negarse, sin embargo, es que el desarrollo de métodos y equipos de síntesis más automatizados reducirá el umbral de experiencia necesario y el tiempo requerido para aprender su operación. Además, es ampliamente aceptado en estos días que cualquier estudiante avanzado de licenciatura en biología será capaz de diseñar un genoma funcional.

Marco legal

Desde el punto de vista legal, todos los países de la región han firmado numerosos acuerdos que prohíben la tenencia, empleo o previsión de uso de este tipo de armas, algunos de los cuales son el *Compromiso de Mendoza*[104] de 1991, firmado en esa ciudad entre nuestro país, Brasil y Chile y al cual se adhirieron más tarde Bolivia, Paraguay, Uruguay y Ecuador, en el que declaran la renuncia de estos estados a las ADM; la *Declaración de Ushuaia*[105] de 1998, firmada inicialmente por las naciones del Mercosur, que declara a la región libre de ADM, y se extendió en 2002 al resto de Sudamérica; el *Protocolo sobre la prohibición del uso en la guerra, de gases asfixiantes, tóxicos o similares y de medios bacteriológicos* de 1925, que prohibía el empleo de AB y AQ, pero no prohibía la investigación y desarrollo, ni el almacenamiento de estas armas y finalmente, la *Convención sobre la Prohibición*

100 https://biobricks.org/open-material-transfer-agreement/

101 Adaptado de http://www.synthesis.cc/synthesis/2016/03/on_dna_and_transistors

102 En la interpretación de Michael Polanyi: The Tacit Dimension. University of Chicago Press (2009).

103 Jefferson, C; et al.: *Synthetic biology and biosecurity: challenging the "myths".* Front Public Health. 2014; 2:115. doi:10.3389/fpubh.2014.00115

104 http://www.iri.edu.ar/revistas/revista_dvd/revistas/R2/R2DOC02.html

105 https://www.oas.org/csh/spanish/c&tdeclaracmercosurzonapaz.asp

del Desarrollo, la Producción y el Almacenamiento de Armas Bacteriológicas (Biológicas) y Toxínicas y sobre su Destrucción (CABT)[106]. Este último ha sido ratificado por 183 países, entre los que se incluyen el nuestro y los de la región.

La CABT entró en vigor en marzo de 1975 después de que 22 gobiernos la ratificaron. Fue el primer tratado multilateral de desarme que prohibió toda una categoría de armas de destrucción masiva. La Convención prohíbe el desarrollo, la producción, el almacenamiento y la adquisición de agentes biológicos o toxinas de cualquier tipo o cantidad que no tengan fines de protección, médicos u otros fines pacíficos, ni armas o medios de entrega de dichos agentes o toxinas. En virtud del tratado, todo ese material debía ser destruido en un plazo de nueve meses a partir de la entrada en vigor del Tratado. Cuenta actualmente con 183 estados parte y cuatro estados signatarios[107]. Desde la entrada en el Convenio, se han celebrado ocho conferencias de examen. Ciento veinticinco estados parte participaron en la Octava Conferencia de Revisión en noviembre de 2017.

Los rápidos avances en las ciencias biológicas y sus características de doble uso han puesto a la CABT entre las prioridades del régimen de desarme internacional. Uno de los desafíos para la convención es su capacidad para seguir el ritmo de estos acontecimientos. Con el objetivo de fortalecer la capacidad institucional de la Convención, la Octava Conferencia de Revisión de 2017 decidió celebrar reuniones anuales de los estados parte y reuniones de expertos hasta 2020 para preparar y proponer acciones que refuercen el poder de este instrumento.

El problema más importante es la falta de acuerdo para establecer un régimen de verificación, similar al de la CAQ, para el seguimiento de las fuentes mundiales de patógenos peligrosos, aunque sí tiene medidas de construcción de confianza políticamente vinculantes. Además, requiere que los estados parte se consulten entre sí y cooperen, bilateral o multilateralmente, para resolver las preocupaciones en relación con el cumplimiento. La CABT permite a los miembros presentarse ante el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas (CSNU) si creen que otros miembros están violando la Convención. Sin embargo, el poder del CSNU para investigar esas denuncias nunca ha sido invocado.

También todos los países miembros de las Naciones Unidas deben dar cumplimiento a la Resolución del Consejo de Seguridad 1540 (2004)[108] sobre proliferación de armas de destrucción masiva. Esta resolución impone a todos los estados abstenerse de suministrar cualquier tipo de apoyo a agentes no estatales que traten de desarrollar, adquirir, fabricar, poseer, transportar, transferir o emplear armas nucleares, químicas o biológicas y sus sistemas vectores, en particular con fines terroristas. La resolución obliga a todos los estados a adoptar y aplicar leyes eficaces con ese fin, así como también otras medidas eficaces para prevenir la proliferación de estas armas y sus sistemas vectores a agentes no estatales, en particular con fines terroristas. Nuestro país ha formado parte del Comité 1540, encargado de la verificación de esta resolución a nivel de la ONU y se puede ver un informe completo sobre las medidas que se aplican en nuestra legislación para su cumplimiento en el Informe en cumplimiento de la Resolución 1540 (2004) producido por el Instituto de Relaciones Internacionales del Ministerio de Relaciones Exteriores[109].

Además de los regímenes ya mencionados, la República Argentina es miembro del *Grupo Australia,* otro de los llamados mecanismos informales de control de armamentos y no proliferación,

---

106 https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/Res/2826(XXVI)&Lang=S

107 https://www.unog.ch/80256EE600585943/(httpPages)/7BE6CBBEA0477B52C12571860035FD5C?OpenDocument

108 https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1540%20(2004)&referer=/english/&Lang=S

109 http://www.iri.edu.ar/publicaciones_iri/anuario/CD%20Anuario%202005/Seguridad/68-arg-informe%20res%201504%20cs.pdf

relacionado a las AB, y también a las AQ[110]. En base a la difusión mundial de tecnologías que han sido etiquetadas como de "doble uso", (equipos que tiene aplicaciones civiles y militares), este Grupo ha establecido, para los 42 países que son miembros, mecanismos para que armonicen sus controles de exportaciones e intenta regular el flujo de esas tecnologías de doble uso, negando el acceso a potenciales estados o entes subnacionales considerados proliferantes. El Grupo de Australia mantiene una lista de equipos biológicos de doble uso cuya exportación debe ser controlada[111]. Nuestro país es el único miembro de la región. La implementación de estos mecanismos está a cargo de la Comisión Nacional de Control de Exportaciones Sensitivas y Material Bélico, creada por el decreto 603/92[112], más conocida como la Comisión 603.

Conclusiones

Los agentes biológicos que podrían ser usados para producir AB no son difíciles de obtener, ya sea por actores estatales o no y esto hace que hoy, pese a los sistemas implementados para su prohibición y control, presenten un riesgo real que no debería ser subestimado.

Aunque la probabilidad de su empleo en conflictos entre estados es baja, no es nula. Cualquier estado que vea amenazada seriamente su integridad por parte de otro actor estatal, y que disponga de medios de investigación y desarrollo en cualquiera de los campos relacionados a la biología, la medicina, la veterinaria, la industria farmacéutica o incluso la química, medianamente desarrollados y profesionales capacitados en su operación, podrá verse tentado a recurrir a este tipo de armas, cuando el riesgo de ser destruidos sea mayor que la condena moral por parte del resto de las naciones.

Como la historia nos enseña, la facilidad relativa de obtención de agentes biológicos los hace interesantes para que durante la ejecución de operaciones no convencionales, tropas irregulares o agentes no estatales los empleen para ejecutar campañas de sabotaje, terrorismo o asesinatos.

El hecho de que un puñado de sobres que se creía contenían esporas de ántrax en 2001[113] fue suficiente para causar gran alarma en nuestro país, lo que causó el análisis de más de 250 cartas y paquetes por día en el Hospital Muñiz y el Instituto Malbrán, durante varios meses, proporcionó una clara demostración del poder de la sola amenaza de las armas biológicas.

En una era de guerras asimétricas, las armas biológicas son perfectamente adecuadas debido a sus costos relativamente bajos de producción combinados con su potencial de amplificación a través de la comunicación, lo que causa un efecto desproporcionado en las poblaciones objetivo.

Los posibles escenarios en un horizonte no muy lejano son más difíciles de discernir simplemente porque el ritmo actual del avance en todos los campos vinculados sugiere que es probable que se desarrollen nuevas tecnologías en los próximos años que cambiarán el panorama ofensivo y defensivo de la guerra biológica.

Incluso sin imaginar nuevos agentes, como los que podrían ser generados por la biología sintética, la tecnología ya existe para mejorar significativamente la letalidad de las armas biológicas, y como vimos, algunos países han trabajado intensamente en ello. Cabe destacar que las modificaciones para aumentar la letalidad son sólo un resultado posible para la ingeniería de armas biológicas, ya que también podrían diseñarse para incapacitar en lugar de matar.

---

110 https://australiagroup.net/en/

111 https://australiagroup.net/es/listas.html

112 http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/10000-14999/12381/norma.htm y https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-603-1992-12381/normas-modifican

113 https://www.clarin.com/ediciones-anteriores/ataque-antrax-llego-pais-traves-carta_0_HyHxxpUlAKl.html https://www.lanacion.com.ar/opinion/historia-secreta-del-antrax-argentino-nid222778/

Dado el enorme universo de las amenazas microbianas, el poder de la biología moderna para mejorar la virulencia microbiana y la alta probabilidad de que las armas biológicas sigan amenazando a la humanidad, la pregunta que surge es qué debe hacerse para mejorar la protección de nuestras tropas.

Cualquiera sea la intención de un estado respecto del uso de estas armas, es conveniente capacitar al personal de sus fuerzas armadas y de seguridad, en particular a los primeros respondedores en casos de probable empleo contra la sociedad no combatiente, para poder identificar el agente que podría estar siendo usado, y actuar en consecuencia.

La doctrina militar de algunos países para atenuar los efectos de estas armas, particularmente las químicas y las biológicas, establece cuatro etapas para proteger las fuerzas que operen en un área definida, basadas en el concepto de evitar la exposición al agente o agentes tóxicos: observación, configuración, protección y sostén.

La observación de AQ o AB en área de interés se logra mediante la vigilancia, la detección, la identificación, el monitoreo y el reconocimiento. La configuración incluye el conocimiento de la situación sobre el espacio de batalla y la gestión, evaluación y registro de amenazas. La protección del personal incluye el pretratamiento médico, la provisión y entrenamiento en el uso del equipo de protección personal y el equipo de protección colectiva. El sostén de las fuerzas después de ataques químicos o de ADM incluye el tratamiento médico y la descontaminación.

Estas tendencias hacen que las actividades de no proliferación y contraproliferación sean aún más críticas como una herramienta más de la preparación para la defensa.

Cualquiera sea el futuro de los conflictos, parafraseando a Tucídides, no se puede confiar en la esperanza, que proporciona consuelo en el peligro, mejor es estar preparado para enfrentarlo.

Glosario

Abreviatura	Original	Significado
1ra GM		Primera Guerra Mundial
2da GM		Segunda Guerra Mundial
AB		Armas Biológicas
ADM		Armas de Destrucción Masiva
ADN		Ácido desoxirribonucleico
AQ		Armas Químicas
ARN		Ácido ribonucleico
CABT		Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción y el Almacenamiento de Armas Bacteriológicas (Biológicas) y Toxínicas y sobre su Destrucción
CAMR	Centre for Applied Microbiology & Research	Centro para Microbiología Aplicada e Investigación
CAQ		Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, Producción, Almacenaje y Uso de Armas Químicas y sobre su destrucción
CDC	Centers for Disease Control and Prevention	Centros para el Control y Prevención de Enfermedades de los EEUU
CRISPR	Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats	Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas
CWS	Chemical Warfare Service	Servicio de Guerra Química
MMDA	(RS)-1-(1,3-metilenodioxifen-5-il)-N-metilpropan-2-amina	3,4-Metilenedioximetanfetamina Éxtasis
NIH	National Institute of Health	Instituto Nacional de Salud
OMS		Organización Mundial de la Salud
RDL	Roodeplaat Research Laboratories	
RKKA	Raboche-krestiánskaya Krásnaya ármiya	
UE		Unión Europea
UNMOVIC	United Nations Monitoring, Verification, and Inspection Commission	Comisión de Monitoreo, Verificación e Inspección de las Naciones Unidas
UNSCOM	United Nations Special Commission	Comisión Especial de las Naciones Unidas
URRS		Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas
USBWL	United States Biological Weapons Laboratory	Laboratorio de AB de Estados Unidos
VEEV		Virus de la encefalitis equina venezolana
VOKhMU	Voenno-khimicheskoe upravlenie	Directorado de Química Militar
WRS	War Research Service	Servicio de Investigación de Guerra

Anexo

Algunas toxinas posibles de usar como AB y fuentes de obtención

Fuente		Toxinas
Bacterias		
	Bacilus anthracis	Toxina del ántrax
	Clostridium botulinium	Botilinicas (A, B, C, D ,E)
	Cornyebacterium diphteria	Diftérica
	Escherichia coli	Enterotoxinas LT y ST
	Shigella dysenteriae	Disentérica
	Staphylococcus aureus	Enterotoxinas estafilocócicas A, B, C, D, E
	Vibrio cholerae	Toxina del cólera
Dinoflagelados		
	Alexandrium tamarense, Alexandrium catenella y otros	Saxitoxina
Algas		
	Anabaena flos aquae	Anatoxina A (VFDF)
	Microcystis aeruginosa	Microcistina (FDF)
Hongos		
	Aspergillus flavus	Aflatoxina
	Género fusarium	Tricotecenos
Plantas		
	Abrus precatorius (Regaliz americano)	Abrina
	Ricinus communis (Ricino o castor)	Ricina
	Nerium oleander L (Laurel de jardin)	Oleandrina y Conesina
	Rhododendron ponticum (Rododendro común)	Grayanotoxin
Animales		
	Phyllobates terribilis (rana dorada venenosa)	Batracotoxina

Anexo

Comparación del criterio de categorías de agentes biológicos basado en la bioseguridad *(biosafety)*

De acuerdo con la OMS, ***Bioseguridad*** puede referirse al término del inglés "biosafety" que es el término utilizado para describir los principios, tecnologías y prácticas de contención que se implementan para prevenir la exposición no intencional a patógenos y toxinas, o su liberación accidental. O también puede referirse al término del inglés *"biosecurity"*, que se refiere a las medidas de seguridad institucionales y personales destinadas a prevenir la pérdida, el robo, el uso indebido, el desvío o la liberación intencional de patógenos y toxinas.

Grupo	OMS[114]	NIH[115]	UE[116]	China[117]
1	Un microorganismo que es poco probable que cause enfermedades a humanos o animales.	Agentes que no están asociados con enfermedades en humanos adultos sanos.	Uno que es poco probable que cause enfermedades humanas.	En circunstancias normales, no causa enfermedades humanas o animales.
2	Un patógeno que puede causar enfermedades humanas o animales, pero es poco probable que sea un peligro grave para los trabajadores de laboratorio, la comunidad, el ganado o el medio ambiente. La exposición en laboratorio puede causar infecciones graves, pero se dispone de tratamientos eficaces y medidas preventivas y el riesgo de propagación de la infección es limitado.	Agentes que se encuentran con enfermedades humanas que rara vez son graves y para los que a menudo se dispone de intervenciones preventivas o terapéuticas.	Uno que puede causar enfermedades humanas y podría ser un peligro para los trabajadores; es poco probable que se propague a la comunidad; generalmente hay profilaxis o tratamiento efectivo disponible.	Puede causar enfermedades humanas o animales, pero en circunstancias normales, no representa un peligro grave para las personas, los animales o el medio ambiente, el riesgo de transmisión es limitado, la infección de laboratorio rara vez causa enfermedades graves con un tratamiento y prevención eficaces.
3	Un patógeno que generalmente causa enfermedades graves humanas o animales pero que normalmente no se propaga de un individuo infectado a otro. Se dispone de tratamiento eficaz y medidas preventivas.	Agentes que están asociados con enfermedades humanas graves o letales para las que pueden estar disponibles intervenciones preventivas o terapéuticas (alto riesgo individual, pero bajo riesgo comunitario).	Uno que puede causar enfermedades humanas graves y presentar un grave peligro para los trabajadores; puede presentar un riesgo de propagación a la comunidad, pero por lo general hay una profilaxis o tratamiento eficaz disponible.	Puede causar enfermedades graves humanas o animales. Es relativamente fácil de propagar entre personas, animales y personas, entre animales, directa o indirectamente.
4	Un patógeno que suele causar enfermedades graves humanas o animales y que puede transmitirse fácilmente de un individuo a otro, directa o indirectamente. Por lo general, no se dispone de tratamientos eficaces y medidas preventivas.	Agentes que pueden causar enfermedades humanas graves o letales para las que no suelen estar disponibles intervenciones preventivas o terapéuticas (alto riesgo individual y alto riesgo comunitario).	Uno que causa enfermedades humanas graves y es un grave peligro para los trabajadores; puede presentar un alto riesgo de propagación a la comunidad; por lo general no hay profilaxis o tratamiento efectivo disponible.	Puede causar enfermedades muy graves en humanos y animales, incluidos los agentes biológicos no se ha encontrado en China.

114 Organización Mundial de la Salud. Laboratory biosafety manual (tercera edición, 2004) http://www.who.int/csr/resources/publications/biosafety/Biosafety7.pdf.

115 NIH Guidelines for Research Involving Recombinant or Synthetic Nucleic Acid Molecules (NIH Guidelines). Abril de 2019 https://osp.od.nih.gov/wp-content/uploads/2019_NIH_Guidelines.htm#_Toc3457033.

116 Directive 2000/54/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September2000. Disponible en: http://osha.europa.eu/en/legislation/directives/exposure-to-biological-agents/77.

117 Pathogenic microbiology laboratory bio-safety regulations (2004) https://www.files.ethz.ch/isn/116358/2007-08-beijing_on_biohazards.pdf

Anexo

Comparación de la lista de categorías de biodefensa y bioseguridad de algunas bacterias *(Rickettsia, Chlamydia)*

Para la evaluación de la bioseguridad de laboratorio, la consideración principal es la capacidad de los agentes biológicos para causar enfermedades y el riesgo de exposición en accidentes de laboratorio. Para la evaluación de la biodefensa, la consideración principal es el potencial de los agentes biológicos de ser usados en armas, por el terrorismo y el daño asociado con la liberación deliberada.

Las listas de categorías de agentes biológicos también tienen otros propósitos, como la lista de agentes selectos y toxinas de los Estados Unidos[118] y la lista de patógenos y toxinas humanas y animales del grupo Australia para el control de las exportaciones[119]. Sin embargo, su uso principal es que la bioseguridad evite que los bioterroristas obtengan o abusen de agentes biológicos.

Agentes	Categoría de bioseguridad			Categoría de biodefensa		
	NIH	UE	China	CDC	UE	Rusia
Bacillus anthracis	2	3	2	Categoría A	Muy alta amenaza	Grupo 1
Yersinia pestis	3	3	2	Categoría A	Muy alta amenaza	Grupo 1
Francisella tularensis	3	3	2	Categoría A	Muy alta amenaza	Grupo 1
Clostridium botulinum[a]	2	2	3	Categoría A	Muy alta amenaza	Grupo 1
Burkholderia mallei	3	3	2	Categoría B	Muy alta amenaza	Grupo 1
Burkholderia pseudomallei	3	3		Categoría B	Alta amenaza	
Rickettsia prowazekii	3	3	2	Categoría B	Alta amenaza	Grupo 1
Rickettsia rickettsii	3	3	2		Alta amenaza	
Coxiella burnetii	3	3	2	Categoría B	Alta amenaza	Grupo 1
Brucella species	3	3	2	Categoría B	Alta amenaza	Grupo 2
Staphylococcus aureus	2	2	3	Categoría B		Grupo 3
Clostridium perfringens		2	3	Categoría B		
Vibrio cholerae	2	2	2	Categoría B	Alta amenaza	Grupo 2
Salmonella species	2	3(2)	3	Categoría B	Alta amenaza	Grupo 3
Shigella species	2	3(2)	3	Categoría B	Alta amenaza	Grupo 3
Escherichia coli 0157:H7	2	3	3	Categoría B	Alta amenaza	
Chlamydia psittaci	2	3(2)	3	Categoría B	Alta amenaza	
Corynebacterium diphtheriae	2	2	3		Alta amenaza	Grupo 2
Legionella pneumophila	2	2	3		Alta amenaza	
Mycobacterium tuberculosis	3	3	2		Alta amenaza	

NOTAS: En caso de varias clasificaciones para distintas variedades de una misma especie, se ha colocado la más alta.

[a] Categorización de bioseguridad: Clostridium botulinum, Staphylococcus aureus y Clostridium perfringens están listados como toxina de Clostridium botulinum, Staphylococcal enterotoxina B, y toxina epsilon del Clostridium perfringens.

118 https://www.selectagents.gov/SelectAgentsandToxinsList.html

119 https://www.dfat.gov.au/publications/minisite/theaustraliagroupnet/site/en/human_animal_pathogens.html

Comparación de la lista de categorías de biodefensa y bioseguridad de algunos virus

Agentes	Categoría de bioseguridad			Categoría de biodefensa		
	NIH	UE	China	CDC	UE	Rusia
Variola virus		4	1	Categoría A	Muy alta amenaza	Grupo 1
Ébola virus	4	4	1	Categoría A	Muy alta amenaza	
Marburg virus	4	4	1	Categoría A	Muy alta amenaza	Grupo 1
Lassa virus	4	4	1	Categoría A	Muy alta amenaza	
Machupo virus	4	4	1	Categoría A	Muy alta amenaza	
Virus de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo	4	4	1		Muy alta amenaza	
Virus Guanarito	4	4	1		Muy alta amenaza	
Virus Junín	4	4	1		Muy alta amenaza	
Virus de la fiebre hemorrágica de Omsk	4	3	1		Muy alta amenaza	
Sabia virus	4	4	1		Muy alta amenaza	
Virus de la encefalitis equina venezolana	3	3	1	Categoría B	Alta amenaza	
Virus de la encefalitis del este	2	3	1	Categoría B	Alta amenaza	
Virus de la encefalitis del oeste	2	3	1	Categoría B	Alta amenaza	
Influenzavirus	3	2	2		Alta amenaza	Grupo 1
Virus de la encefalitis japonesa	3	3	2		Alta amenaza	Grupo 2
Virus de la Fiebre Amarilla	3	3	1		Alta amenaza	Grupo 2
Virus de la fiebre del valle del Rift	3	3	2		Alta amenaza	
Virus de la viruela del mono	3	3	1		Alta amenaza	
Virus de la enfermedad de la selva de Kyasanur	4	3	1		Alta amenaza	
Virus de la encefalitis de San Luis	3	3	1		Alta amenaza	
virus del Nilo Occidental	3	3	2		Alta amenaza	
Nipah virus			1	Categoría C	Alta amenaza	
SARS- coronavirus asociado (SARS-CoV)	3		2			
Hantavirus	3	3	2	Categoría C	Alta amenaza	
Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH)	3	3	2			Grupo 3
Rabia	2	3	2			Grupo 3
Dengue virus	2	3	3			

NOTAS: En caso de varias clasificaciones para distintas variedades de una misma especie, se ha colocado la más alta.

1.4

Armas de destrucción masiva Las armas nucleares

Por el Coronel A (R) Dr. OIM Osvaldo Enrique Azpitarte*

Temario

1. Historia 113
2. Tipos de armas nucleares 118
3. Efectos de las armas nucleares 123
4. Materiales físiles - Producción 127
5. Países poseedores de armas nucleares 131
6. Doctrina de empleo 133
7. Marco legal 140
8. La energía nuclear en América Latina 143
9. Conclusiones 150

Historia de las armas nucleares[1]

El advenimiento de la era nuclear y la posterior aparición de las armas nucleares fue posible a partir de una serie de descubrimientos que se sucedieron a partir de principios del siglo XX.

En 1911, Ernest Rutherford (Nueva Zelanda), a partir de la irradiación de una fina lámina de oro, propuso que el átomo estaba constituido por una zona central con carga eléctrica positiva donde se concentraba toda la masa y que los electrones, con carga negativa, giraban en órbitas alrededor de ese núcleo.

En 1913 el físico danés Niels Böhr perfeccionó el modelo de Rutheford con una hipótesis según la cual los electrones estaban distribuidos en capas definidas (o niveles cuánticos) a cierta distancia del núcleo. De este modo se definió la configuración electrónica de los distintos elementos químicos.

La tercera partícula fundamental, el neutrón, fue descubierto en 1932 por James Chadwick (Reino Unido). El neutrón es una partícula eléctricamente neutra con una masa ligeramente superior a

1 Rhode Richard, The Making of the Atomic Bomb, Simon and Schuster, New York, 1986

la de los protones. Este descubrimiento fue fundamental para la posterior postulación de la fisión nuclear, proceso en el que se bombardean átomos de uranio con neutrones, lo que provoca la ruptura de su núcleo y la liberación de energía. Si se bombardearan átomos con partículas cargas (protones), parte de su energía se perdería en vencer la repulsión electrostática.

A finales de 1938 un equipo de investigadores alemanes del Kaiser Wilhem Institut de Berlín, integrado por Otto Hahn, Fritz Strassmann, Lisa Meitner y Otto Frisch, descubrió la reacción de fisión nuclear, a partir de la identificación del elemento Bario como consecuencia de la fragmentación de los núcleos de uranio.

La reacción de fisión consiste en hacer incidir un neutrón sobre el núcleo de un átomo físil (U^{235} o Pu^{239}), que escinde al núcleo en dos fragmentos de fisión y libera energía en forma de energía cinética.

Posteriormente, el físico húngaro Leó Szilárd postuló el concepto de masa crítica y el de reacción de fisión en cadena, fenómeno que podría provocar una liberación de energía descomunal, como nunca se había visto.

En forma simultánea con el descubrimiento del proceso de fisión nuclear, y sobre la base de los experimentos de Ernest Rutherford, Mark Oliphant (Australia), en 1932, observó por primera vez la fusión de núcleos ligeros (isótopos de hidrógeno). Posteriormente, durante el resto de ese decenio, Hans Bethe (Alemania, Estados Unidos) estudió las etapas del ciclo principal de la fusión nuclear en las estrellas. La investigación de la fusión para fines militares se inició en la década de 1940 pero no tuvo éxito sino hasta 1952. La investigación relativa a la fusión controlada con fines civiles se inició en la década de 1950, y continúa hasta el presente.

Visto con perspectiva actual, el descubrimiento de la energía nuclear y su control podría haber supuesto inicialmente su aplicación a fines pacíficos, como la producción de energía eléctrica o de calor para procesos fabriles. Sin embargo, el desencadenamiento de la Segunda Guerra Mundial, en septiembre de 1939, hizo que, rápidamente, su aplicación se volcara a fines militares y las principales potencias involucradas se embarcaran en proyectos, entonces pruebas piloto, para producir armas nucleares.

Las primeras armas nucleares fueron desarrolladas por los Estados Unidos, a través del Proyecto Manhattan, del que trataremos luego. No obstante, el primer proyecto fue llevado adelante por los británicos.

"Tube Alloys" fue el nombre en clave del programa de investigación y desarrollo llevado adelante por el Reino Unido, con la participación de Canadá, para desarrollar armas nucleares.

En la Universidad de Birmingham, Rudolf Peierls y Otto Frisch, el primero alemán y el segundo austríaco, escribieron un memorándum explicando que una pequeña masa de uranio puro 235 podría ser utilizada para producir una reacción en cadena en una bomba con el poder de miles de toneladas de TNT. Esto condujo a la formación en 1940 del Comité MAUD, que dirigió el esfuerzo del Reino Unido para desarrollar armas nucleares. Constituido como Directorado, formó parte del Department of Scientific and Industrial Research. Debido a los altos costos involucrados y al hecho de que Gran Bretaña estaba librando una guerra dentro del rango de bombardeo de sus enemigos, el proyecto Tube Alloys fue finalmente absorbido por el Proyecto Manhattan y la mayoría de sus científicos e instalaciones fueron trasladados a los Estados Unidos.

En forma simultánea, en los Estados Unidos, Albert Einstein y Leó Szilárd escribieron una carta al presidente Franklin Roosevelt en la que le recomendaron comenzar el desarrollo de la bomba atómica. Einstein explicaba que muy pronto sería posible desencadenar una reacción nuclear en cadena que permitiría liberar enormes cantidades de energía. Mencionaba también la escasez de reservas de uranio de los Estados Unidos y que las minas de ese mineral se encontraban en la anti-

gua Checoslovaquia y en el Congo Belga. Le informó, además, que Alemania se había hecho cargo de las minas checas y había suspendido las ventas de uranio. Este hecho podría significar que los científicos alemanes del Instituto Kaiser Wilhelm podrían estar llevando a cabo, también, experimentos de fisión nuclear. En base a esto, le propuso a Roosevelt la colaboración entre científicos y la industria para desarrollar, lo más pronto posible, la mencionada bomba atómica.

Roosevelt ordenó a Lyman Briggs, de la National Bureau of Standards, que encabezase el "Comité Asesor de Uranio" para investigar las cuestiones planteadas por la carta de Einstein y Szilárd. El comité informó a Roosevelt, en noviembre de 1939, que el uranio "proporcionaría una posible fuente de bombas con una destructividad mucho mayor que cualquier cosa hasta ahora conocida".

Como resultado de las recomendaciones de ese comité, en 1942, los Estados Unidos lanzaron el programa de desarrollo de armas nucleares finalmente conocido como Proyecto Manhattan. Este fue, probablemente, el mayor emprendimiento de investigación y desarrollo, no en términos de costos, pero sí en términos de personal e instalaciones involucrados, durante la Segunda Guerra Mundial. Fue dirigido por los Estados Unidos con el apoyo del Reino Unido y Canadá.

El proyecto se puso bajo la dirección del General de División Leslie Groves del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.

El proyecto contemplaba la fabricación de los artefactos nucleares a partir del uso de dos materiales físiles: el Uranio 235 (U^{235}) y el Plutonio 239 (Pu^{239}). Se denomina material físil a aquel que fisiona cuando es bombardeado con neutrones de cualquier energía. El Uranio natural, el que se obtiene en las minas de uranio, está compuesto por un 0,7 por ciento de U^{235} y un 99,3 por ciento de U^{238}. El U^{238} solo fisiona con neutrones de muy alta energía, por lo tanto, no es físil y no sirve para fabricar un artefacto nuclear. El Pu^{239} es físil, aunque no es de origen natural. Se obtiene bombardeando el U^{238} con neutrones de baja energía. El U^{238} absorbe un neutrón y se convierte en Pu^{239}.

El desarrollo de los procesos de obtención del material físil puro fue muy costoso en términos materiales. Para ello fueron construidos dos centros de investigación y desarrollo:

- Oak Ridge (Tennessee), en donde se desarrolló y llevó a cabo el proceso de obtención de U^{235} puro. Utilizando un proceso físico denominado "difusión gaseosa", se pudo separar el U^{235} del uranio natural
- Hanford (Washington), en donde se instalaron reactores nucleares moderados con grafito, para bombardear uranio natural y producir Pu^{239}. El Plutonio puro se obtenía del combustible quemado extraído de los reactores, por un proceso químico denominado fosfato de bismuto.

En Los Álamos (Nuevo México) se construyó el laboratorio donde se desarrollaron las bombas atómicas, a partir del material físil obtenido en Oak Ridge y Hanford. Robert Oppenheimer (Estados Unidos) fue nombrado director del laboratorio, que reunía a cerca de mil científicos.

En la madrugada del 16 de julio de 1945, se llevó a cabo la primera explosión de una bomba atómica de plutonio, en el desierto de Álamo Gordo (Nuevo México), en el sitio de ensayo conocido como Trinity.

Las bombas atómicas de uranio y de plutonio estuvieron listas al mismo tiempo. La primera fue denominada Little Boy, y tenía una potencia de 14.5 kT (1 kT o kiloton equivale a 1000 toneladas de TNT). Constaba de dos masas de uranio-235 subcríticas, que se proyectaban una sobre otra con explosivos convencionales, para formar un conjunto crítico en el momento de la explosión. Fue lanzada el 6 de agosto de 1945 sobre la ciudad japonesa de Hiroshima. La segunda, denominada Fat Man, de 20 kT de potencia, consistía en una esfera hueca subcrítica de plutonio que colapsaba sobre su centro por la acción de explosivos convencionales en el momento de la explosión. Fue lanzada el 9 de agosto sobre la ciudad japonesa de Nagasaki.

El efecto devastador de las dos bombas destruyó prácticamente las dos ciudades y provocó más de 200.000 muertes en total.

El 15 de agosto, seis días después de la detonación de Nagasaki, el imperio japonés anunció su rendición incondicional a los Aliados, con lo que concluyó la Guerra del Pacífico y, por lo tanto, la Segunda Guerra Mundial.

Con respecto a Alemania, es interesante hacer notar que, pese al convencimiento por parte de los aliados respecto de que estaba persiguiendo la construcción de artefactos nucleares, en realidad ésta había abandonado el tema. Si bien a partir de 1939 en Alemania se empezó a investigar sobre la idea de aplicaciones militares de la energía nuclear, principalmente en el ámbito académico, con la conformación del Grupo de Trabajo para Física Nuclear (Arbeitsgemeinschaft für Kernphysik), conocido como el "Club del uranio", la incorporación a las fuerzas armadas de varios de sus miembros cortó los avances posibles de éste. En 1942, Walter Heisemberg, director-gerente del Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik, le expresó a los miembros del alto mando alemán que, durante la guerra, el país no estaba en condiciones de producir un arma nuclear. De acuerdo con las declaraciones posteriores de Albert Speer, Ministro de Armamentos y Producción de Guerra de Alemania, la impresión que tuvo de ese informe fue que el desarrollo y construcción de una bomba tomaría demasiado tiempo para tener algún tipo de influencia en el desarrollo de la guerra. La consecuencia directa de esa estimación fue que todo el programa quedó reducido a escala laboratorio y con el objetivo de producir un reactor nuclear.

La Unión Soviética, a partir de 1942, comenzó a prestar atención a este tipo de armas, principalmente basada en los informes que recibía de sus espías británicos. A principios de 1942, se puso a Ígor Vasílievich Kurchátov a cargo del programa nuclear soviético. Finalmente, el 29 de agosto de 1949, en el sitio de pruebas nucleares de Semipalatinsk (en ese momento - Campo de entrenamiento N° 2 del Ministerio de las Fuerzas Armadas), se probó la primera arma nuclear rusa, designada en la literatura como Izdeliye 501 (Artefacto 501) o Pérvaya mólniya (Primer Relámpago) o por el acrónimo RDS-1. Los soviéticos habían tenido gran éxito en penetrar los proyectos tanto británicos como norteamericanos, y recibieron casi toda la información relevante para el desarrollo de estas armas casi al mismo tiempo en que era obtenida en sus países de origen. El arma soviética fue una copia de la bomba estadounidense de plutonio detonada en el sitio Trinity y tuvo una potencia de 22 kilotones.

A partir de entonces se inició una carrera de armamentos nucleares entre la Unión Soviética y los Estados Unidos. Alarmados por la rapidez con la cual los soviéticos habían construido su bomba atómica y por el descubrimiento del espionaje soviético a su programa de armas nucleares, en 1950 los estadounidenses decidieron empezar a desarrollar armas a base de hidrógeno. Se esperaba que las armas de hidrógeno, llamadas comúnmente termonucleares, basadas en una combinación de fisión y fusión nuclear, incrementaran dramáticamente el poder destructivo de las bombas nucleares mediante el aumento de su potencia de kilotones a megatones. La idea de su desarrollo fue propuesta por el italiano Enrico Fermi a su colega húngaro Edward Teller en 1941 trabajando ambos dentro del Proyecto Manhattan. Este último luego se convirtió en el principal propulsor de este tipo de armas, lo que le valió el título de "padre" de las armas termonucleares, también llamadas bombas de hidrógeno, bombas H o bombas de fusión.

En 1952 Estados Unidos detonó la primera bomba de hidrógeno en el mundo. La fuerza de la explosión sobrepasó los diez megatones (millones de toneladas de TNT).

El primer diseño de fusión soviético fue desarrollado por Andrei Sajarov y Vitaly Ginzburg en 1949 (antes de que los soviéticos tuvieran una bomba de fisión de trabajo). En 1953, la Unión Soviética ensayó un artefacto estimulado por fusión, llamado RDS-6s, el cual tuvo una potencia de aproxi-

madamente 400 kilotones. Dos años después probó un artefacto termonuclear llamado RDS-37, con un diseño similar a los de Estados Unidos, con una capacidad aproximada de 1.5 MT. Finalmente, en octubre de 1961, los soviéticos ensayaron el concepto de explosiones por etapas cuando hicieron detonar la bomba llamada Tsar, con una potencia de 50 megatones, lo que fue hasta la fecha la mayor explosión nuclear en el mundo.

Al momento del colapso de la URSS, en 1991, los soviéticos poseían armas desplegadas en cuatro de sus repúblicas, Rusia, Ucrania, Bielorrusia y Kazakstán. Mientras Rusia decidió conservar su arsenal y trasladar las armas que se encontraban en Ucrania, las dos últimas naciones acordaron destruir las que se encontraban en su territorio.

El Reino Unido probó en 1952 un artefacto de fisión nuclear basado en plutonio de manera efectiva y en 1957, accionó un artefacto que incorporaba la fusión nuclear.

En Francia, la investigación y el desarrollo nucleares de la postguerra comenzaron en 1945 a cargo del Comisariado de la Energía Atómica (CEA). En 1954 se inició un programa de desarrollo de armas nucleares y en 1960 se llevó a cabo un primer ensayo de un explosivo de fisión nuclear con plutonio en territorio de Argelia, en ese entonces un departamento de la República Francesa. En 1968 Francia llevó adelante el proyecto Canopus, que consistió en la detonación de un artefacto termonuclear en el atolón de Fangataufa, próximo al atolón de Muroroa, en el Pacífico Sur, en los cuales se desarrollaron hasta 1996, alrededor de 200 ensayos nucleares.

Los esfuerzos de China para desarrollar armas nucleares empezaron en 1953, con la ayuda de la Unión Soviética. En 1955 China estableció el Ministerio de Industria Nuclear. Con el apoyo soviético, iniciaron investigaciones en Beijing en el Instituto de Física y Energía Atómica y se comenzó la construcción de una planta de enriquecimiento de uranio en Lanzhou, con el objetivo de obtener el material para armas nucleares. El 15 de octubre de 1957, la URSS acordó proveer a China una bomba atómica y la documentación para su producción. Sin embargo, para 1960 las diferencias entre ambos países hicieron que toda colaboración se detuviese y no se concretó la provisión. A pesar de la pérdida de la ayuda soviética, en octubre de 1964 China ensayó con éxito un arma nuclear, a la cual denominaron 59-6, en referencia al año y el mes en que Nikita Krushchev, en ese entonces premier soviético, se negó a la provisión de lo prometido.

Apenas 32 meses después de ese ensayo, China probó su primer dispositivo termonuclear el 17 de junio de 1967. Este es un logro notable dado que el lapso entre la primera prueba nuclear de Estados Unidos y su primera prueba termonuclear fue de 86 meses, para la URSS fue de 75 meses, para el Reino Unido 66 meses y para Francia 105 meses. El objetivo de China era producir un dispositivo termonuclear de al menos un megatón de rendimiento que pudiera ser lanzado por un avión o transportado por un misil balístico. Varias explosiones para probar diseños de armas termonucleares, características y aumento del rendimiento precedieron a la prueba termonuclear. El rendimiento de la prueba de 1967 fue de 3,3 megatones.

En 1974 la India llevó a cabo una explosión de un artefacto de plutonio de 12 kilotones. Esto demostró que la India tenía, en efecto, la capacidad para desarrollar armas nucleares, aunque se abstuvo de hacer ensayos durante más de dos décadas. En mayo de 1998 la India realizó una serie de cinco ensayos de varios artefactos nucleares explosivos. Es interesante destacar que uno de los dispositivos del ensayo de 1998 utilizó como explosivo nuclear una mezcla de Torio y Uranio 233.

Debido a la capacidad nuclear de la India y la derrota sufrida ante ese país en la llamada Guerra de Liberación de Bangladesh, en 1972 Pakistán inició un programa de desarrollo de armas nucleares, inicialmente en la órbita de la comisión de energía atómica de Pakistán (PAEC), integrado por los miembros de un "Grupo de Física Teórica" (TPG). Desde 1974 a 1983 pasó a ser llamado Proyecto 706, nombre código asignado durante el gobierno de Zulfikar Ali Bhutto. A un costo de 450 millones

de dólares estadounidenses, proporcionados por Libia y Arabia Saudita, incluyó la construcción de varios centros de ensayo y producción que operaban en el máximo secreto, al mismo tiempo que infiltraban el programa nuclear indio. Duró hasta que la PAEC llevó adelante su primer ensayo frío en 1983. Luego de la realización de numerosos ensayos de este tipo, finalmente en mayo de 1998 Pakistán detonó cinco artefactos nucleares.

Aunque no se ha confirmado ni negado oficialmente, se considera que Israel posee armas nucleares.

El último país en alcanzar capacidad nuclear ha sido Corea del Norte, el cual luego de retirarse del Tratado de No Proliferación Nuclear en 2003, hizo detonar una bomba nuclear de tipo desconocido en 2006 y otra en 2009.

Otro país que poseyó armas nucleares y que voluntariamente se desprendió de ellas ha sido Sudáfrica, que desarrolló este tipo de armamento y tuvo armas operacionales entre 1979 y 1991, año en que destruyó las seis bombas que había construido en la década anterior.

Tipos de armas nucleares[2, 3]

Las armas nucleares se clasifican, por su diseño, en tres tipos:

> De fisión
Son las llamadas bombas atómicas o A-bombs. Utilizan material físil (U^{235} o Pu^{239}).
Son las únicas que han sido utilizadas en guerra.

> De fusión
Son las llamadas bombas termonucleares o H-bombs. En realidad, son artefactos de fusión-fisión

> Combinadas
Son bombas de fisión-fusión en las que, por diseño, se maximizan ciertos efectos por encima de otros. Ejemplos: bomba limpia, bomba sucia, bomba de neutrones, bomba de cobalto, etc.

Generalidades

Las armas nucleares emplean dos tipos de reacciones nucleares: fisión nuclear y fusión nuclear.

Fisión nuclear

En la fisión nuclear, como muestra la figura, un átomo de un elemento pesado físil (U^{235} o Pu^{239}) es impactado por un neutrón, lo que da como resultado final dos fragmentos de fisión, dos o tres neutrones libres, y energía, que se manifiesta en energía cinética de los productos de la reacción.

La energía resultante es de aproximadamente 200 MeV y es la resultante de la pérdida de masa Δm dada por la ecuación de Einstein: $\Delta E = c^2 \times \Delta m$. Como comparación, la energía liberada por el quemado (oxidación) de un átomo de carbono es de 2 o 3 eV, es decir que fisionar un kilo de uranio libera la energía equivalente a quemar $100x10^6$ kg de carbón.

Una reacción de fisión en cadena se produce cuando los dos o tres neutrones producidos en la primera reacción, a su vez, provocan la fisión de dos o tres átomos de uranio adyacentes, lo

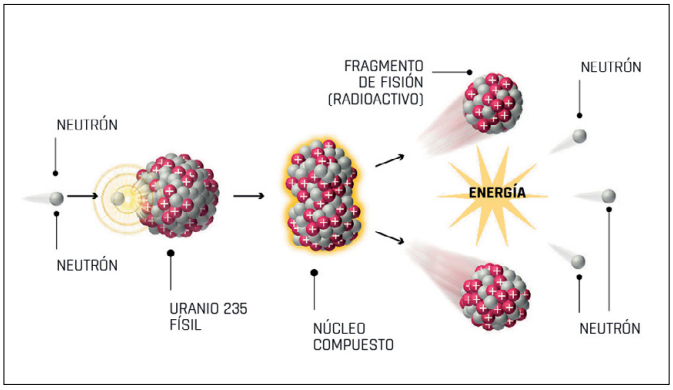
---

2 Arguello, Luis Roque, Tecnología de las Armas Nucleares y Radiológicas, Postgrado en Desarme y No-proliferación, Fundación NPS Global – No Proliferación para la Seguridad Global, 2012

3 Knief, Ronald, Nuclear Engineering, Theory and Technology of Nuclear Power, Taylor & Francis, Washington, 1984

que libera dos o tres neutrones en cada una, que fisionan seis a nueve átomos adyacentes y así sucesivamente, se propaga la reacción hasta que, teóricamente, se agota el material físil. Si se tiene en cuenta que cada reacción de fisión se lleva a cabo en un lapso de 10^{-12} segundos, una reacción en cadena puede liberar una enorme cantidad de energía en forma prácticamente instantánea.

FIGURA: REACCIÓN DE FISIÓN NUCLEAR



Se denomina "masa crítica" a la cantidad mínima de material físil requerida para mantener una reacción en cadena autosustentada, una vez iniciada con una fuente externa de neutrones. En general, una masa crítica tiene forma esférica, porque es la forma que, dada una cierta masa de material, ofrece la menor superficie libre. En una masa menor que la crítica (subcrítica), más neutrones escapan por la superficie libre que los que son producidos en la masa (volumen) y la reacción se detiene en forma natural. La masa crítica de U^{235} es una esfera de 56 kilos, y la de Pu^{239} es de 13 kilos.

Fusión nuclear

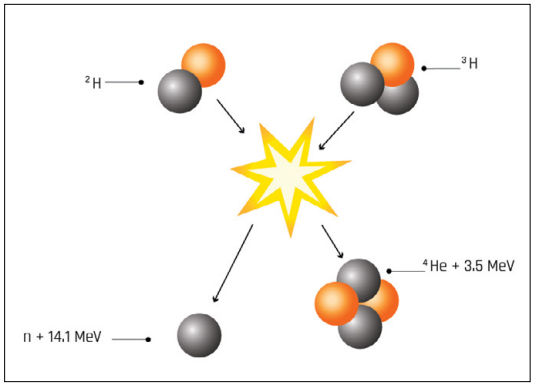
La reacción de fusión nuclear es la opuesta de la de fisión nuclear. En ella, dos núcleos livianos, generalmente isótopos de hidrógeno, se unen para formar un núcleo más pesado y estable, generalmente helio, liberando energía en forma de energía cinética:

$$H^2 + H^3 \rightarrow He^4 + 1\,n + \Delta E$$

El isótopo H^2 es conocido como Deuterio (D) y el de H^3 como Tritio (T).

La particularidad de estas reacciones de fusión es que para que se produzca esa fusión de núcleos se debe vencer la repulsión electrostática mutua, ya que ambos tienen carga eléctrica positiva. Para que esto pueda producirse, los núcleos deben tener una energía cinética altísima, lo que se produce a temperaturas de millones de grados centígrados. En ese estado, la materia pasa de estar en estado gaseoso (moléculas libres) al estado de plasma ionizado (electrones libres + núcleos libres). Esta condición se da, en forma natural, en el núcleo de las estrellas.

FIGURA – REACCIÓN DE FUSIÓN NUCLEAR



En la siguiente tabla, se muestran las reacciones de fusión más comunes.

FIGURA: REACCIÓN DE FISIÓN NUCLEAR

Reacción	Umbral de E del plasma (KeV)	Energía Específica (MeV)
$D + T \rightarrow He^4 + n^0$	10	17.6
$D + D \rightarrow He^3 + n^0$	50	3.2
$D + D \rightarrow T + p^+$	50	4.0
$D + He^3 \rightarrow He^4 + p^+$	100	18.3

Una energía de **10 KeV** equivale a una temperatura de aproximada de **100x10⁶ °C**, según la fórmula **E=3/2 kT** donde **k** es la constante de **Boltzmann (k=8.6x10⁻⁸ KeV/K)**

Una energía de 10 KeV equivale a una temperatura de aproximada de $100x10^6$ °C, según la fórmula *E=3/2 kT* en la que *k es la constante de Boltzmann* (k=$8.6x10^{-8}$ KeV/K)

En la reacción de fusión, no hay conceptos equivalentes a los de "reacción en cadena" o "masa crítica" de la reacción de fisión. Basta poner una cierta masa de gas en las condiciones de temperatura adecuadas para que se inicie la reacción. Como se verá más adelante, en un artefacto de fusión, esas condiciones de temperatura las genera un artefacto de fisión iniciador.

Bombas de fisión

Para fabricar una bomba de fisión se requiere una cantidad material físil (U^{235}, Pu^{239}, Pu^{241} o U^{233}) superior a la masa crítica, y un mecanismo de ensamblado.

Material físil

Se denomina material fisil a aquel que fisiona con neutrones de cualquier energía cinética. El U^{235} es el único material físil presente en la naturaleza. Se encuentra en el uranio natural con una abundancia isotópica del 0,7 por ciento. El resto del uranio natural es U^{238} que solo fisiona con neutrones de muy alta energía (Ecin > 1 MeV), y es lo que se denomina material fisionable, por lo que no sirve para construir un artefacto nuclear.

El U^{235} se obtiene del uranio natural a través del proceso físico de enriquecimiento, que puede ser por difusión gaseosa a través de una membrana porosa, o por ultracentrifugación. El grado de enriquecimiento necesario para construir un artefacto nuclear debe ser mayor a 90 por ciento en U^{235}. En aplicaciones civiles, los reactores nucleares utilizan uranio enriquecido a menos de 5 por ciento.

El otro material físil utilizado es el plutonio. Éste es un metal artificial (no existen minas de plutonio) que se obtiene de irradiar uranio natural o levemente enriquecido (LEU: Low Enriched Uranium) en reactores nucleares, mediante la absorción de neutrones en U^{238}:

$$1\,n + U^{238} \rightarrow U^{239} + \beta^- \rightarrow Np^{239} + \beta^- \rightarrow Pu^{239}$$

En realidad, lo que se obtiene del combustible quemado de un reactor nuclear, son varios isótopos de plutonio con las siguientes abundancias relativas aproximadas: 60 por ciento de Pu^{239} (físil), 30 por ciento de Pu^{240} (fisionable), 7 por ciento de Pu^{241} (físil) y 3 por ciento de Pu^{242} (fisionable). El proceso más común para extraer el plutonio del combustible quemado de un reactor nuclear es un proceso químico denominado PUREX (Plutonium Uranium Extraction), en el que se disuelve el combustible en ácido nítrico y luego se extrae el plutonio puro usando solventes de extracción.

También se puede fabricar un arma nuclear utilizando U^{233} físil. El U^{233} se obtiene de irradiar Torio (Th^{232}) en un reactor nuclear. El Torio es un elemento fisionable presente en la naturaleza en proporción incluso mayor que el uranio. En general no se utiliza el Torio porque el proceso químico de extracción del U^{233} es más complicado que el de obtener Plutonio. La India tiene abundantes reservas de Torio y es el único país que, hasta ahora, detonó un artefacto de U^{233}.

Mecanismo de ensamblado

El objetivo del mecanismo de ensamblado es:

- Mantener el material físil en una configuración subcrítica hasta el momento de la detonación.
- Llevar al material físil a una configuración supercrítica en el momento de la detonación, y mantenerlo en esa configuración el tiempo suficiente como para que la explosión inicial no separe las masas nuevamente a configuración subcrítica. Esto se logra comprimiendo el material físil mediante explosivos convencionales.
- Introducir neutrones en la masa superctítica mediante una fuente de neutrones.

Ensamble de cañón

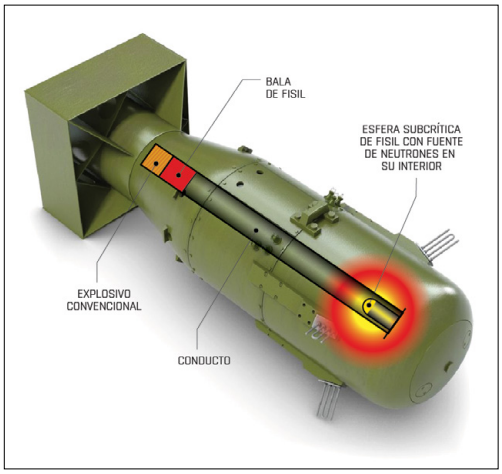
Consiste en dos masas subcríticas separadas por un conducto. La detonación de un explosivo convencional impulsa la bala de material físil dentro del conducto y la incrusta en la esfera subcrítica, formando una configuración supercrítica. La fuente de neutrones puede estar constituida por una mezcla de Polonio 210 (Po^{210}) y Berilio. El Polonio decae naturalmente emitiendo partículas α ($Po^{210} \rightarrow Pb^{206} + \alpha$) y el Berilio reacciona con las partículas α produciendo neutrones libres. Los neutrones libres producen la fisión en cadena de la masa supercrítica.

La eficiencia de este tipo de ensamblado es baja, de 1,5 por ciento, porque la compresión del conjunto supercrítico no es muy alta dada la relativamente baja velocidad que alcanza la bala de físil, lo que resulta en que queda material remanente sin fisionar.

La bomba atómica arrojada sobre Hiroshima, Little Boy, consistió en un ensamble cañón con U^{235}.

Dada su baja eficiencia, en la actualidad, el ensamble cañón solo se utiliza en armas tácticas de artillería, dado su menor tamaño relativo.

FIGURA – ENSAMBLE CAÑÓN

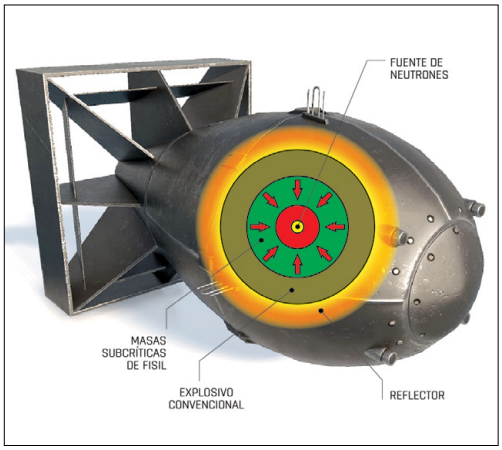


Ensamble de implosión

El explosivo convencional detona y comprime las masas subcríticas para formar una esfera supercrítica.

La eficiencia de este mecanismo es de alrededor del 20 por ciento, ya que permite una compresión mayor de la masa supercrítica. Como contrapartida, la precisión del proceso de implosión de las masas subcríticas debe ser alta.

FIGURA – ENSAMBLE DE IMPLOSIÓN

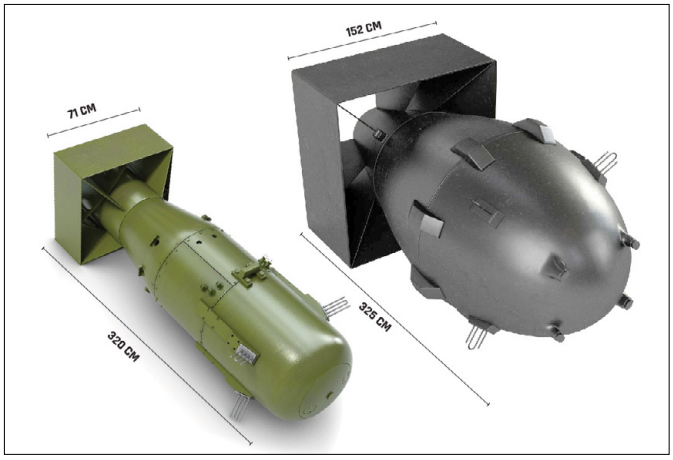


La bomba atómica arrojada sobre Nagasaki, Fat Man, consistió en un artefacto de implosión con Pu^{239}.

Las dimensiones de las bombas Little Boy (imagen izquierda) y Fat Man (imagen derecha) pueden observarse en la siguiente fotografía.

Las bombas de fisión tienen un límite práctico de 500 kT.

FIGURA – LITTLE BOY (IZQ) Y FAT MAN (DER)



Bombas de fusión

El diseño más común de los artefactos de fusión es el denominado de Teller-Ulam, como el que se muestra en la siguiente figura.

La Etapa A muestra la configuración inicial: una bomba de fisión con ensamble de implosión que servirá como iniciante, y un eje de Pu^{239} rodeado de deuteriuro de litio (DLi). Se utiliza DLi porque es un sólido más fácil de almacenar que el tritio y el deuterio puros.

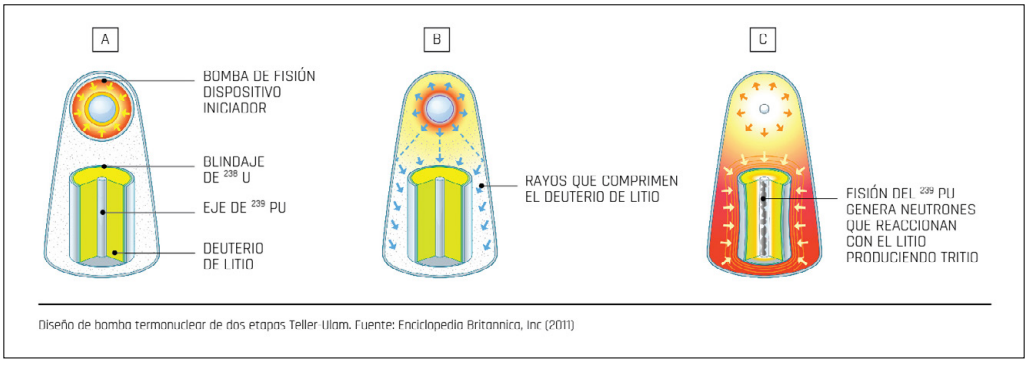
Producida la explosión de fisión, los rayos X producidos comprimen el DLi y el eje de Pu^{239}, como se muestra en la Etapa B.

Como muestra la Etapa C, la compresión produce la fisión del Pu^{239}, lo que produce neutrones que irradian el DLi produciendo Tritio según:

$$Li^6 + n \rightarrow T + He^4$$

Finalmente, se produce la reacción de fusión del Deuterio y el Tritio.

FIGURA – BOMBA DE FUSIÓN – DISEÑO TELLER-ULAM



Diseño de bomba termonuclear de dos etapas Teller Ulam. Fuente: Enciclopedia Britannica, Inc (2011)

Las bombas de fusión pueden llegar a tener potencias de megatones. El primer ensayo de una bomba de fusión lo llevó a cabo Estados Unidos en 1952, con el artefacto Ivy-Mike, de 10 MT. El artefacto nuclear de mayor potencia jamás probado fue la bomba de fusión Tsar, de 50 MT, detonada por Rusia en 1961.

Bombas combinadas

Bomba limpia
Es una bomba en tres etapas fisión-fusión-fusión, lo que le otorga un rendimiento cercano al 97 por ciento. Se denomina "limpia" porque reduce el efecto de lluvia radioactiva (se verá más adelante, en el capítulo Efectos), mediante el uso de otros metales pesados como plomo o tungsteno como blindaje, en lugar de Uranio.

Bomba sucia
Es una bomba en tres etapas fisión-fusión-fisión, que se utiliza para maximizar el efecto de lluvia radioactiva o fallout.

Bomba de neutrones
Es una bomba de fisión diseñada para minimizar los efectos mecánico-térmicos (onda de blast y onda térmica) y maximizar la radiación de neutrones. Es llamada en inglés *Enhanced Radiation Weapon* (ERW). Su potencia puede ser tan baja como 1 kT.

Fue diseñada por Estados Unidos para enfrentar la amenaza de las divisiones blindadas del Pacto de Varsovia sobre Europa. Su baja potencia minimizaría los daños materiales en terreno europeo, mientras que su radiación maximizada de neutrones atravesaría los blindajes y provocarían bajas en las tripulaciones de los tanques.

Bomba de Cobalto
Es una bomba de fusión rodeada por una carcasa de Cobalto. El Cobalto natural (Co^{59}) absorbe los neutrones y se transforma en Co^{60} radioactivo:

$$Co^{59} + n \rightarrow Co^{60} \rightarrow Ni^{60} + \gamma$$

De esta forma se maximiza el efecto de *fallout*.

Efectos de las armas nucleares[4, 5]

Los efectos de las armas nucleares son:
- Efectos inmediatos: onda de choque *(blast)*, onda térmica, radiación instantánea y pulso electromagnético.
- Efectos retardados: lluvia radioactiva o *fallout*, cambios en el clima.

La intensidad de los efectos depende de:
- Tipo de artefacto: el diseño del arma nuclear puede tener como objetivo aumentar o disminuir determinados efectos (ver tipos de armas nucleares).
- Potencia del artefacto *(yield)*.

4 Arguello, Luis Roque, Tecnología de las Armas Nucleares y Radiológicas, Postgrado en Desarme y No-proliferación, Fundación NPS Global – No Proliferación para la Seguridad Global, 2012

5 Glasstone, Samuel and Dolan, Philip J., The Effects of Nuclear Weapons (third edition), U.S. Government Printing Office, 1977; http://www.princeton.edu/~globsec/publications/effects/effects.shtml

> Altura de la explosión: a mayor altura mayores efectos, hasta una altura óptima.
> Tipo de terreno: en llanura los efectos son mayores que en terreno montañoso.

Onda de choque

Es una onda de presión mecánica que se propaga radialmente a la velocidad del sonido (1224 km/h). Se produce porque las partículas expulsadas por la bomba a gran velocidad transfieren su energía cinética al aire y al entorno.

La variable que determina el grado de daño es la sobrepresión, que depende de la distancia al punto cero. Una fórmula para estimar la sobrepresión es:

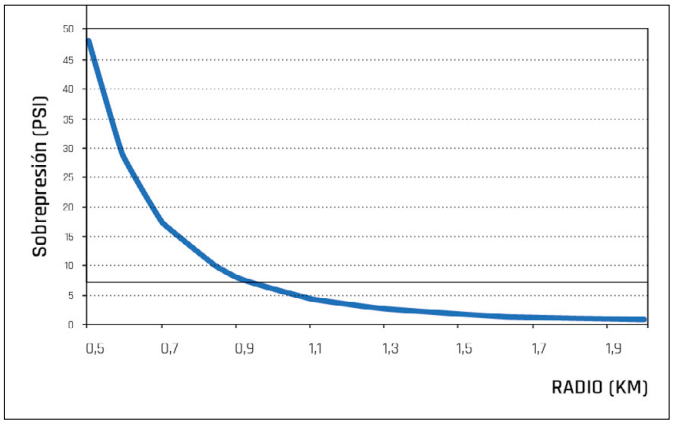
$$p = \frac{(6Y)}{R^3}$$

donde p es la sobrepresión en psi (1 psi = 0.068 atmósferas), Y es la potencia en megatones y R la distancia al punto cero en kilómetros.

El siguiente gráfico muestra un ejemplo calculado para una potencia de 1 MT.

Se estima que una sobrepresión mayor de 20 psi provoca destrucción total y 98 por ciento de muertos; entre20 y 10 psi hay edificios caídos y 50 por ciento de muertos; entre 10 y 5 psi hay vidrios y paredes rotas con 25 por ciento de muertos, y entre 5 y 3 psi hay daños leves, vidrios rotos y 5 por ciento de muertos.

FIGURA – SOBREPRESIÓN EN FUNCIÓN DEL RADIO – Y = 1 MT



Onda térmica

La onda térmica se produce por la radiación emitida por la explosión, y se propaga en forma radial a la velocidad del sonido.

Se puede estimar el efecto térmico en humanos mediante las siguientes ecuaciones semiempíricas:

> Quemaduras de primer grado: $R = 1{,}20\ Y^{0.38}$, R en km, Y en kT
> Quemaduras de segundo grado: $R = 0{,}87\ Y^{0.40}$
> Quemaduras de tercer grado: $R = 0{,}67\ Y^{0.41}$

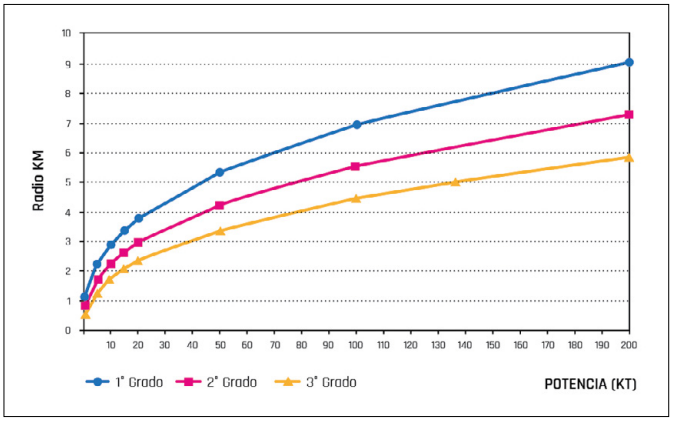
Quemaduras de primer grado: No hay destrucción de tejidos, dolor inmediato, enrojecimiento de la piel. Recuperación en horas.

Quemaduras de segundo grado: Afecta tejidos de la dermis, alguna necrosis. Dolor inmediato, enceguecimiento por horas, recuperación en días.

Quemaduras de tercer grado: Necrosis de tejidos de la piel. Serios riesgos de infección, pérdida de fluidos, fatalidad si abarca un porcentaje importante del cuerpo

La siguiente figura muestra un ejemplo calculado:

FIGURA - EFECTOS TÉRMICOS EN FUNCIÓN DEL RADIO Y LA POTENCIA



Radiación instantánea

Esta radiación es, como su nombre lo indica, instantánea, y se desplaza a la velocidad de la luz.

Está compuesta por radiación α, β, γ y neutrones, emitida en las reacciones de fisión y fusión, y por los decaimientos radioactivos subsecuentes.

El decaimiento α es la emisión de núcleos de He^4:

$U^{238} \rightarrow Th^{234} + \alpha$

El decaimiento β es la emisión de electrones:

$U^{239} \rightarrow Np^{239} + \beta$

El decaimiento γ es la emisión de radiación electromagnética (sin masa ni carga):

$Co^{59} + 1n \rightarrow Co^{60} + \gamma$

La emisión de neutrones se produce en las reacciones de fisión y fusión.

Cada una de estas radiaciones está caracterizada por una energía que depende del núcleo padre que decayó. A mayor energía es mayor el daño que se produce en el ambiente (activación por radiación) o en el ser humano.

A su vez, las radiaciones también están caracterizadas por un determinado poder de penetración en la materia. Las partículas cargadas (α y β) tienen menor poder de penetración y pueden frenarse en una plancha fina de centímetros de materia (madera, aluminio, etc.). La radiación sin carga (γ y neutrones) tiene un mayor poder de penetración, y para frenarla hacen falta espesores considerables de distintos blindajes (plomo, hormigón, etc.).

El efecto de la radiación sobre el ser humano, o dosis, depende de tres factores:

- Actividad de la fuente radioactiva. Es la cantidad de desintegraciones por segundo que produce una determinada fuente radioactiva. Se mide en Curie (Ci). 1 Ci = $3.7x10^{10}$ desintegraciones por segundo. Una masa de aproximadamente 1 gr de Co60 tiene una actividad γ de 1 Ci.
- A mayor actividad de la fuente de radiación, mayor es el efecto y el daño.
- Energía de la radiación. Depende del núcleo padre que decae. A mayor energía de la radiación, mayor es el efecto y el daño.
- Tiempo de exposición. A más tiempo, mayor daño.

Las dosis en el cuerpo humano se miden en Rems, y tiene en cuenta la cantidad de energía absorbida por kilogramos de masa biológica, ponderada por el EBR (Eficacia Biológica Relativa).

La dosis máxima recomendada para un ser humano es de 5 Rem/año.

Mayores dosis pueden provocar los siguientes efectos:

- **100 a 200 Rem:** Náuseas, pérdida de apetito, fatiga, infertilidad masculina temporaria. Recuperación: semanas.
- **200 a 400 Rem:** Aumento de mortalidad. Náuseas, vómitos, tejidos órganos productores de sangre, esterilidad masculina. Recuperación: meses

> 400 a 600 Rem: La mortalidad crece abruptamente (50 a 90 por ciento) Período latente: 7 – 14 días. Se agrega infertilidad femenina. Recuperación: meses
> 600 a 1000 Rem: Sobrevivencia sólo con tratamiento médico (injerto de médula). Náuseas, vómitos, cabello, diarrea, hemorragias. Período latente: 5 – 10 días. Recuperación: varios meses.
> Mayor a 1000 Rem: Muerte de células del sistema gastrointestinal. Pérdida de fluidos. Desbalance eléctrico. Muerte en horas por colapso del sistema circulatorio.

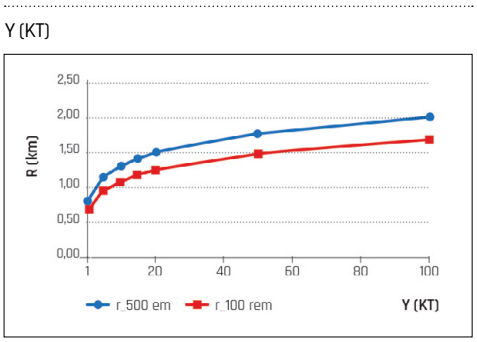
Para estimar los efectos de la radiación de los artefactos nucleares existen ecuaciones empíricas:

$$R_{500\ Rem} = 0.840 \times Y^{0.19}$$

$$R_{1000\ Rem} = 0.700 \times Y^{0.19}$$

con R en kilómetros y Y en kT

La siguiente figura muestra un cálculo con las ecuaciones:



Pulso electromagnético (EMP)

La radiación producida por un artefacto nuclear ioniza el aire circundante, es decir, arranca electrones a los átomos, lo que produce un alto flujo de electrones. Toda carga en movimiento genera un campo electromagnético asociado.

El pulso electromagnético generado es instantáneo y de gran magnitud. Puede inutilizar todos los equipos electrónicos alcanzados, aunque no estén conectados a una antena.

El efecto del EMP se magnifica con el aumento de altura de la explosión. Una detonación a 100 kilómetros de altura puede destruir el equipamiento electrónico no protegido en 1200 kilómetros a la redonda.

La única forma de proteger los equipos electrónicos del EMP es a través de una jaula de Faraday.

No se ha demostrado que tenga efecto nocivo en los seres humanos.

Lluvia radioactiva o *fallout*

Una explosión nuclear levanta una enorme nube de polvo y cenizas. Las partículas de esa nube llevan adherido material radioactivo, en general productos de fisión.

La nube radioactiva es dispersada por los efectos meteorológicos, y los productos de fisión van cayendo, como lluvia, por efecto de la gravedad.

La radioactividad de un material decae exponencialmente con el tiempo, según:

$$C(t) = C(0)\ e^{-\lambda t}$$

donde C es la concentración, y λ es la constante de decaimiento que depende de cada isótopo.

Los efectos de la lluvia radioactiva sobre los humanos son los mismos que los de la radiación instantánea.

Materiales físiles – Producción [6, 7, 8, 9]

Los isótopos que se pueden fisionar se clasifican en:

Isótopos físiles

Fisionan con neutrones de cualquier energía. El rango de energía de los neutrones libres va desde los eV o KeV (neutrones lentos) a los MeV (neutrones rápidos).
Los isótopos físiles son: U^{235} (natural), Pu^{239} (artificial), Pu^{241} (artificial) y U^{233} (artificial).

Isótopos fisionables

Solo fisionan con neutrones rápidos.
Los isótopos fisionables son: U^{238} (natural), Pu^{240} (artificial), Pu^{242} (artificial) y Th^{232} (natural).

Isótopos fértiles

Son isótopos fisionables que, por absorción de un neutrón, generan isótopos físiles.
Son el U^{238}, del que se genera el Pu^{239}, y el Th^{232}, del que se genera el U^{233}.

Producción de Uranio

El Uranio natural se compone de 99,3 por ciento de U^{238} y 0,7 por ciento de U^{235}.

Las reservas mundiales de Uranio se estiman en 5 millones de toneladas de reservas aseguradas y aproximadamente 17 millones de toneladas de reservas especulativas. Estas reservas aseguran una provisión de más de 100 años para la flota actual de reactores nucleares de potencia.

Las principales reservas de Uranio se encuentran en Canadá, Australia, Kazakstán y Namibia.

En las minas de Uranio, luego de los procesos de molienda (molido de la roca) y leaching (disolución en ácido sulfúrico), se obtiene la llamada *"yellow cake"* (U_3O_8).

El siguiente proceso es el de enriquecimiento, para obtener Uranio enriquecido al 4 por ciento en U^{235} para los reactores de potencia, o enriquecido a más del 90 por ciento para los artefactos nucleares.

Los isótopos de Uranio tienen las mismas propiedades químicas, pero masa, tamaño y peso levemente distintos. Los procesos físicos de enriquecimiento hacen uso de esta diferencia.

Los principales métodos son la difusión gaseosa y la ultracentrifugación. En ambos casos es necesario llevar al Uranio a la forma de hexafloruro de Uranio (UF6). El UF6 es gaseoso por encima de los 56 °C a presión atmosférica.

Difusión gaseosa

Consiste en hacer pasar el gas UF_6 a través de una membrana porosa. Las moléculas con U^{235} pasan más fácilmente por los poros por su menor masa y volumen, como se muestra en la siguiente figura.

---

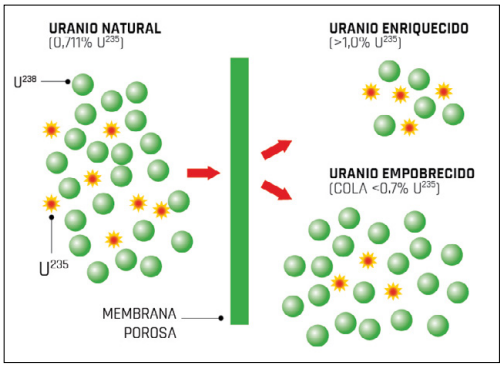
6 Arguello, Luis Roque, Tecnología de las Armas Nucleares y Radiológicas, Postgrado en Desarme y No-proliferación, Fundación NPS Global – No Proliferación para la Seguridad Global, 2012

7 Knief, Ronald, Nuclear Engineering, Theory and Technology of Nuclear Power, Taylor & Francis, Washington, 1984

8 IAEA, Nuclear Fuel Cycle Information System, https://infcis.iaea.org/NFCIS/Facilities

9 Uranium 2016: Resources, Production and Demand, NEA (Nuclear Energy Agency), IAEA (International Atomic Energy Agency), http://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7301-uranium-2016.pdf

FIGURA: ENRIQUECIMIENTO DE URANIO POR DIFUSIÓN GASEOSA

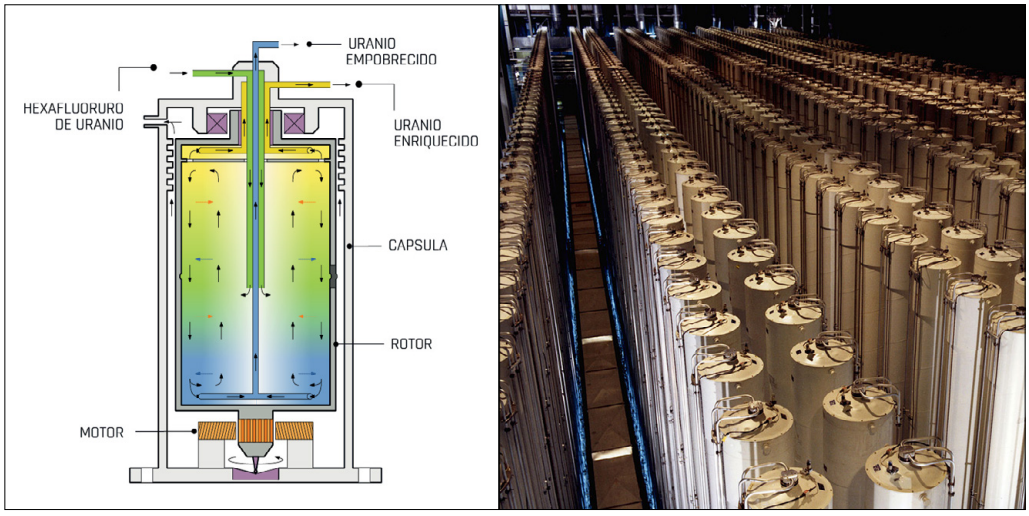


Como resultado del proceso se obtiene Uranio enriquecido hasta el porcentaje buscado, y Uranio empobrecido o depletado. El Uranio depletado no tiene utilidad. A veces se lo emplea en la cabeza de proyectiles antitanque por su dureza y alta densidad.

Ultracentrifugación

El proceso de ultracentrifugación utiliza cilindros rotativos. Esta rotación crea una fuerza centrífuga muy fuerte, de modo que las moléculas más pesadas que contienen U^{238} se desplazan hacia la parte exterior del cilindro, mientras que las más ligeras del U^{235} se recogen más cercanas al centro. Este proceso requiere menos energía que el de difusión gaseosa para conseguir la misma separación, por lo que prácticamente lo ha reemplazado por completo.

FIGURA: ENRIQUECIMIENTO DE URANIO POR ULTRACENTRIFUGACIÓN



La siguiente tabla muestra una lista de las plantas de enriquecimiento de Uranio operativas actualmente en el mundo.

TABLA – PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO DE URANIO EN EL MUNDO (IAEA – NFCIS)

País	Planta	Tipo	Capacidad (MTSWU/año)
Alemania	Urenco	GC	4500
Argentina	Pilcaniyeu	GD	20
Brasil	Resende	GC	120
China	CNNC	GC	1500
Francia	Eurodif	GD	7500
India	Rattehalli	GC	10
Irán	Natanz	GC	250
Japón	JNFL	GC	450
Países Bajos	Urenco	GC	6200
Paquistán	Kahuta	GC	5
Rusia	Tenex	GC	5000
UK	Urenco	GC	5000
USA	Paducah, Portsmouth, Urenco	GD, GC	21700

MTSWU (Metric Tonnes of Separative Work Units) es la unidad con que se mide la capacidad de una planta de enriquecimiento.

Una planta de cualquier capacidad puede producir Uranio enriquecido al 90 por ciento para armas nucleares. A una planta de poca capacidad le llevará más tiempo que a una de gran capacidad.

Se denomina Low Enriched Uranium (LEU) al Uranio enriquecido hasta el 20 por ciento, Highly Enriched Uranium (HEU) al enriquecido a más del 20%, y Weapon Grade Uranium al enriquecido por encima del 90 por ciento. Todas las aplicaciones civiles de la energía nuclear emplean LEU.

Producción de Plutonio

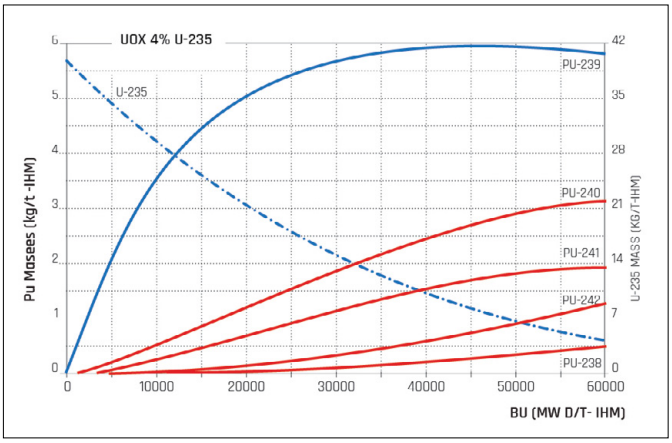
El Plutonio es un actínido artificial que se obtiene de la irradiación de U^{238} en los reactores nucleares:

$$1\,n + U^{238} \rightarrow U^{239} + \beta^- \rightarrow Np^{239} + \beta^- \rightarrow Pu^{239}$$

Por absorciones sucesivas de neutrones se obtienen los siguientes isotopos de Plutonio: Pu^{240} (fisionable), Pu^{241} (físil) y Pu^{242} (fisionable).

La siguiente figura muestra la generación de los isótopos en función del grado de quemado del combustible (BU - burnup).

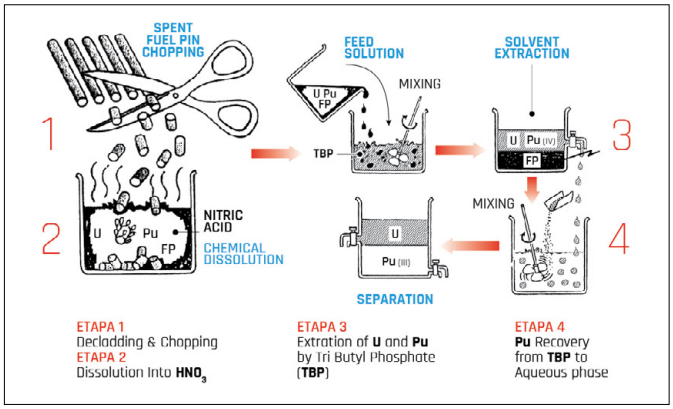
FIGURA – GENERACIÓN DE PLUTONIO EN EL COMBUSTIBLE NUCLEAR



Una vez extraído el combustible del reactor nuclear, se lo somete a un proceso químico denominado reprocesamiento, para extraer el Pu y el U, y separar el resto como desecho (productos de fisión). El proceso más común es conocido como proceso PUREX.

Este proceso consTA de 4 etapas:

FIGURA – REPROCESAMIENTO PUREX



Etapa 1: *decladding & chopping*
A las barras cilíndricas de combustible quemado (spent fuel pin) se las corta en trozos (chopping) y se separan las vainas (decladding).

Etapa 2: *chemical dissolution*
Se disuelve todo en ácido nítrico.

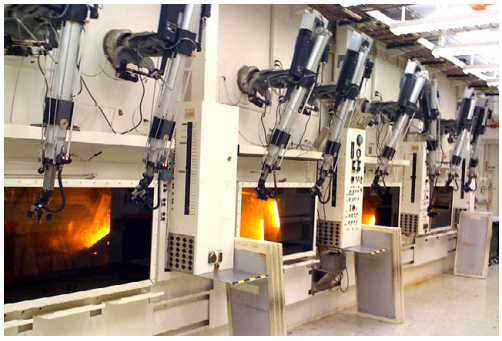
Etapa 3: Extracción de Pu y U mediante el solvente Tributil Fosfato (TBP)

El TBP separa el Pu y U por un lado, y los productos de fisión (FP) por otro.

Etapa 4: *Separation*
En la última etapa, por medio de solventes de extracción específicos, se separa el Pu puro y el U puro.

Este proceso es muy sucio desde el punto de vista radiológico, ya que el combustible quemado es altamente radioactivo. Todo el proceso se lleva a cabo en forma remota, a través de brazos robóticos, en las que se denominan celdas calientes. Estas celdas son herméticas y tienen paredes y vidrios blindados de más de 60 centímetros de espesor, como se muestra en la siguiente figura.

FIGURA – CELDAS CALIENTES DE REPROCESAMIENTO



Los siguientes países tienen, o han tenido, plantas de reprocesamiento de distinta escala (laboratorio, piloto o comerciales): Alemania, Argentina, Bélgica, Brasil, China, Corea del Norte, Francia, India, Italia, Japón, Rusia, Reino Unido y Estados Unidos.

En el caso de nuestro país, la planta piloto LPR (Laboratorio de Procesos Radioquímicos) ubicada en el Centro Atómico Ezeiza, tenía una capacidad de reprocesar cinco toneladas de metal pesado por año, y producir de 10 a 20 kilos de Pu por año. La planta nunca llegó a operar y fue clausurada en 1983. Brasil tuvo un laboratorio de reprocesamiento que dejó de operar en 1993.

El Plutonio obtenido de las plantas de reprocesamiento puede utilizarse puro, para artefactos nucleares, o en forma de PuO_2 como combustible de reactores nucleares.

Producción de U^{233}

El U^{233} es un isótopo físil artificial del Uranio. Se obtiene de irradiar Torio en un reactor nuclear. El Torio (Th^{232}) es un actínido fisionable natural, abundante en la naturaleza, incluso más que el Uranio. Los principales yacimientos de Torio se encuentran en la India y en Brasil.

El ciclo de combustible Th^{232} - U^{233} casi no se utiliza, ni militar ni comercialmente (para reactores de potencia), porque el reprocesamiento para extraer el U^{233} del combustible quemado es muy complicado.

Países poseedores de armas nucleares[10]

La siguiente tabla muestra la lista de países que actualmente poseen armas nucleares.

> Potencias nucleares firmantes del TNP (Tratado de No Proliferación) – Nuclear Weapon States: Rusia, Estados Unidos, Francia, Reino Unido y China.

> Otros países con armas nucleares, no firmantes del TNP: India, Paquistán y Corea del Norte.

> Israel, país no firmante del TNP, no declara ni niega oficialmente poseer armas nucleares, pero hay evidencia de que sí las posee.

> Países que poseyeron armas nucleares

Sudáfrica construyó seis artefactos nucleares, pero los desmanteló a principios de los 90.

Bielorusia, Kazakstán y Ucrania alojaron, en total, más de 5000 artefactos nucleares de la ex URSS, que fueron transferidas a Rusia en 1995-1996.

TABLA – PAÍSES POSEEDORES DE ARMAS NUCLEARES

País	Activas /Total	Estratégicas	Tácticas	A desmantelar	Primera prueba
Potencias nucleares - Firmantes del TNP					
USA	4950 / 7000	1950	3000	3000	1945
Rusia	4430 / 7415	2430	2000	2000	1949
UK	160 / 225	160	–	–	1952
Francia	300 / 300	240	60	–	1960
China	178 / 250	138	40	–	1964
Países con armas nucleares - No firmantes del TNP					
India	60 - 80	s/d	s/d	–	1974
Paquistán	90 - 110	s/d	s/d	–	1998
Corea del Norte	20 - 30	s/d	s/d	–	2006
Países con armas nucleares sin declarar - No firmantes del TNP					
Israel	60-200	s/d	s/d	–	1979

> Países sospechosos de tener programas nucleares clandestinos

Irán posee un reactor nuclear de potencia en Bushehr, sobre la costa del Golfo Pérsico. Es un PWR (uranio enriquecido y agua liviana) de 915 MWe, que opera desde 2011. Planifica construir dos más para 2027.

Posee dos plantas de enriquecimiento de Uranio por ultracentrifugación, una en Natanz y otra cerca de Qom, con una capacidad mediana (250 MTSWU - Metric Tonnes of Separative Work Units).

10 Norris, Robert S. and Hans M. Kristensen, Bulletin of the Atomic Scientists 2010, 2011, 2012 https://www.researchgate.net/publication/242697896_Bulletin_of_the_Atomic_Scientists

Irán firmó el Tratado de No Proliferación Nuclear y afirma que su interés en la tecnología nuclear, lo que incluye el enriquecimiento de uranio, es para fines civiles únicamente. Los países occidentales, principalmente Estados Unidos y el Reino Unido, sospechan que esto es un encubrimiento para un programa de armas nucleares, y afirman que Irán tiene poca necesidad de desarrollar energía nuclear, teniendo en cuenta sus reservas aseguradas de petróleo.

La producción de energía eléctrica de Irán, estimada en 26000 MWe, se basa en un 92 por ciento en derivados del petróleo y del gas, y en un 8 por ciento en carbón y energía hidráulica. El mercado energético iraní está controlado en un 100 por ciento por el Estado, a través del Ministerio iraní de Energía.

Sus reservas de petróleo ascienden a 125800 millones de barriles, lo que equivale a un 10 por ciento de la reservas mundiales, y exporta 2.7 millones de barriles por día (es el cuarto exportador mundial).

En base a estas últimas consideraciones, resulta llamativo que un país como Irán, totalmente autosuficiente en materia energética, decida embarcarse en un programa nuclear.

El 9 de enero de 2006, en abierto desafío a la comunidad internacional, el gobierno iraní dio las instrucciones de romper los sellos de seguridad instalados por el OIEA en sus instalaciones nucleares y reanudó las actividades de desarrollo.

El 31 de julio de 2006, el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas promulgó la Resolución 1696, en la que reclamó que Irán otorgara al OIEA pleno acceso a todas las instalaciones y suspendiera todas las actividades de enriquecimiento, cosa que Irán no cumplió.

En julio de 2015 se anunció el acuerdo histórico Joint Comprehensive Plan of Action (JCPOA) comúnmente conocido como acuerdo Programa nuclear Iraní, entre Irán y el grupo P5+1 (Rusia, China, Estados Unidos, Francia, Reino Unido y Alemania) aprobado posteriormente por la ONU de forma unánime el 20 de julio de 2015, el cual tiene como puntos clave por parte de Irán, deshacerse de 98 por ciento de su material nuclear, eliminar las dos terceras partes de las ultracentrífugas instaladas y la no producción de uranio enriquecido durante los próximos quince años. A cambio, se levantarían las sanciones económicas contra Irán.

El Organismo Internacional de Energía Atómica ha declarado que Irán mantiene la verificación y monitoreo vigente de las instalaciones nucleares. Sin embargo, Estados Unidos decidió no certificar el acuerdo JCPOA por mandato del presidente Donald Trump, quien argumentó defectos pese al cumplimiento por parte de Irán, lo cual mantiene duras tensiones diplomáticas entre Teherán y Washington.

> Países que se supone que tuvieron programas nucleares en el pasado

Se supone que los siguientes países han llevado a cabo programas nucleares militares, hasta distintos grados de desarrollo, aunque sin haber llegado a fabricar un artefacto nuclear: Alemania (Segunda Guerra Mundial), Argentina (1976-1983), Australia (abandonado en los 60), Brasil (1978-1985), Corea del Sur (1970-1975), Egipto (1954-1967), España (década del 60'), Iraq (décadas del 70 y 80), Japón (Segunda Guerra Mundial), Libia, Polonia, Rumania (década de los 80), Suecia, Suiza, Taiwán (interrumpido en 1988), Venezuela (1956-1958) y la ex Yugoslavia (hasta 1987).

Doctrina de empleo de las armas nucleares[11, 12]

Los orígenes de la estrategia nuclear se encuentran estrechamente vinculados con las teorías del poder aéreo desarrolladas durante la etapa de entreguerras (1918-1939) e implementadas durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945). Estas se fundamentaban en el potencial de los bombarderos estratégicos para penetrar las líneas enemigas y destruir sus centros de poder económico, político, civil o industrial, con el fin de minar la moral de la población, paralizar la sociedad y forzar la rendición del adversario sin requerir una larga y costosa campaña militar. La Segunda Guerra Mundial demostró que estas afirmaciones eran exageradas, puesto que las campañas aéreas sobre Alemania y Japón perturbaron el normal funcionamiento de ambos países, pero no consiguieron su rendición. Sin embargo, tras observar la devastación causada por las dos primeras bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki, los estrategas occidentales concluyeron que estos artefactos eran lo que necesitaba el poder aéreo para conseguir sus aspiraciones.

Período 1945-1949

Entre 1945 y 1949 Estados Unidos gozó del monopolio nuclear y mantuvo su superioridad frente a la Unión Soviética en el número y calidad de sus bombarderos. Esta situación le garantizaba la supremacía estratégica en caso de desatarse un conflicto, por lo que el armamento atómico se integró en los planes de contingencia de Estados Unidos. La Unión Soviética pareció mostrar indiferencia respecto al potencial de la nueva arma, a pesar de que Moscú había iniciado su programa nuclear cuando descubrió el proyecto atómico norteamericano. Formalmente, confiado en el poder de su inmenso ejército y en el declive del capitalismo, Moscú mantuvo intacta su estrategia convencional para invadir Europa en caso de desatarse una Tercera Guerra Mundial, a la vez que apoyaba los movimientos comunistas en distintos puntos del globo.

Política de represalia masiva

Cuando en 1949 la Unión Soviética detonó su primera bomba atómica, Estados Unidos constató la necesidad de adaptar su estrategia nuclear al nuevo escenario que se acababa de imponer. Por un lado, para conservar su superioridad atómica, aceleró el desarrollo de los artefactos termonucleares de fusión, mucho más devastadores que los artefactos de fisión. Por otro lado, ante la imposibilidad de frenar la expansión del comunismo, construyó una fuerza convencional capaz de medirse con el ejército soviético y garantizar la seguridad de los aliados europeos y asiáticos. Washington planteó una nueva estrategia de empleo del arma nuclear: la represalia masiva, que ofrecía una disuasión fuerte con un coste político, estratégico, militar y económico aceptable.

Definida en el año 1954 por el secretario de Estado norteamericano John Foster Dulles, la represalia masiva significaba una respuesta instantánea en cualquier punto del planeta y con todos los medios disponibles, frente a cualquier agresión enemiga. La determinación estadounidense por responder de forma desproporcionada debería disuadir a la Unión Soviética de iniciar cualquier acción armada, puesto que toda provocación, por muy limitada que esta fuera, supondría un ataque nuclear total. La doctrina fundamentada en el empleo masivo de armas nucleares debía permitir a Washington reducir el gasto en defensa sin descuidar los compromisos con sus aliados, ya que cualquier acción limitada soviética en los continentes europeo o asiático desataría una respuesta nuclear.

---

11 Guillem Colom, Armas nucleares y control de armas de destrucción masiva, 2012

12 Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (CESEDEN), España, La Guerra Nuclear, doctrina soviética y doctrinas occidentales, 1981

Los aliados de Washington acogieron con gran satisfacción la iniciativa porque vinculaba su seguridad nacional al paraguas nuclear norteamericano. Sin embargo, eran muchos los estrategas estadounidenses que dudaban de las implicancias de la represalia masiva para su propia seguridad, pues a causa de una crisis limitada en Europa podrían verse envueltos en una guerra nuclear total.

La detonación del primer artefacto termonuclear soviético en 1955, el lanzamiento de su primer satélite artificial en 1957, el despliegue de su primer misil balístico intercontinental (ICBM) en 1959 y la revelación de su estrategia militar (1962), convirtieron la doctrina de represalia masiva en obsoleta, puesto que en ese preciso instante Moscú no sólo disponía de la tecnología y los medios para lanzar armas atómicas a distancias intercontinentales, sino que sus estrategas militares creían firmemente que su país podía luchar y ganar una guerra nuclear total contra Estados Unidos. Ello significaba que la Unión Soviética ya estaba en condiciones de realizar un ataque nuclear con misiles contra Estados Unidos, para el cual no existía ningún tipo de defensa y cuya única respuesta posible era un contraataque nuclear. Esto ponía fin, entonces, a la doctrina de represalia masiva.

Respuesta flexible

En consecuencia, la disuasión mutua se convirtió en el elemento que marcaría la relación entre ambas superpotencias y la condición necesaria pero no suficiente del largo periodo de paz que se vivió durante la Guerra Fría.

Se introdujo, entonces, la idea de la respuesta flexible. Planteada inicialmente por el general Maxwell D. Taylor para superar la represalia masiva, dicha doctrina fue instaurada en el año 1961 por el presidente John F. Kennedy y mantuvo su vigencia hasta el fin de la Guerra Fría.

La respuesta flexible se fundamentaba en la posesión de una amplia gama de opciones que, proporcionales a la agresión sufrida, permitieran controlar la escalada bélica. La adopción de esta doctrina no sólo ofrecía al presidente de Estados Unidos varias opciones de respuesta militar, sino que dejaba espacio a una escalada graduada que superaba el automatismo implícito de la represalia masiva.

Planeada específicamente para desvincular la defensa norteamericana de la seguridad europea y posibilitar una guerra nuclear limitada entre la OTAN y el Pacto de Varsovia en este teatro de operaciones, la implementación de la represalia flexible requería tres grandes cambios en la estrategia estadounidense:

> Un rearme convencional con el fin de retrasar el umbral nuclear.
> Integrar en los planes de operaciones al armamento nuclear táctico. Este permitiría multiplicar el poder de las fuerzas convencionales sin incrementar excesivamente el costo financiero de la defensa.
> Desarrollar una tríada nuclear que proporcionase múltiples opciones de respuesta y reforzara la disuasión nuclear. Esa tríada estaría compuesta por misiles balísticos intercontinentales, misiles balísticos de lanzamiento submarino y bombarderos de ataque nuclear estratégico

La estrategia de la represalia masiva y su sustitución por la respuesta flexible transcurrían en paralelo al aumento del arsenal nuclear de ambas superpotencias. El incremento en el número y potencial destructivo de los artefactos nucleares planteaba una nueva incógnita, ya que la estrategia más plausible para combatir y triunfar en un conflicto nuclear pasaba por realizar un ataque preventivo con todo el arsenal nuclear, con la esperanza de destruir las fuerzas nucleares del adversario y así imposibilitar cualquier contraataque. En consecuencia, los blancos más rentables para un ataque de estas características no serían objetivos como las industrias o las ciudades del

adversario, que podrían ser destruidas en ataques posteriores, sino sus silos de misiles y sus bases de bombarderos.

Conviene, a esta altura, introducir el siguiente glosario:

> **Misil Balístico Intercontinental - ICBM**
Un Misil Balístico Intercontinental (ICBM) es un cohete específicamente diseñado para el transporte de una o más ojivas nucleares, con un alcance superior a los 5.500 kilómetros. El desarrollo de esta arma estratégica se debió a la aplicación de los avances tecnológicos procedentes de la carrera espacial (combustibles, materiales y trayectorias) a la carrera de armamentos.

Inicialmente, la relativa imprecisión de estos misiles limitaba su fiabilidad para destruir los silos donde se protegían los ICBM enemigos. Sin embargo, con el paso de los años se produjeron importantes avances en sus sistemas de guía para garantizar impactos directos contra los silos de misiles enemigos; y se desarrollaron misiles equipados con ojivas múltiples (MIRV) que permitían destruir varios objetivos a la vez.

En términos generales, los ICBM se guardaban en silos fuertemente protegidos y eran especialmente indicados para asestar un primer golpe, dados su poder destructivo y virtual invulnerabilidad una vez que eran lanzados hacia sus objetivos. Sin embargo, los silos eran fijos y fácilmente detectables desde el aire, lo que los convertía en el primer objetivo de un hipotético ataque nuclear. Para reducir esta debilidad, se proyectaron ICBM montados sobre lanzaderas móviles.

> **Misil Balístico Lanzado desde Submarino – SLBM**
Un Misil Balístico Lanzado desde Submarino (SLBM) es el equivalente naval del ICBM basado en tierra. Con un alcance superior a los 5.500 kilómetros, los misiles son transportados y lanzados desde submarinos específicamente diseñados para este fin. La difícil detectabilidad de los submarinos lanzamisiles convierte a los SLBM en una estupenda arma de represalia y en el más temible elemento de la tríada nuclear, puesto que el misil puede lanzarse desde el mar y alcanzar sus objetivos en menos de diez minutos.

> **Bombardero estratégico**
Proyectado como el primer vector de lanzamiento del arma nuclear, un bombardero puede transportar una pesada carga bélica a grandes distancias y batir los objetivos con enorme precisión. Sin embargo, un avión es más lento y vulnerable que un misil balístico. Para superar estas limitaciones se desplegaron bombarderos en alerta permanente y se diseñaron aviones para penetrar dentro del territorio enemigo a baja altura (por ejemplo, el B-1 Lancer) y modelos indetectables por los radares (como el B-2 Spirit).

> **Tríada nuclear**
Este concepto surgió en Estados Unidos para definir los tres vectores (misiles balísticos intercontinentales, misiles balísticos de lanzamiento submarino y bombarderos) de ataque nuclear estratégico. Su posesión garantizaba la supervivencia del arsenal nuclear en caso de un ataque preventivo y posibilitaba la capacidad de contraataque, lo que reforzaba la disuasión.

> **Vehículo de Reentrada Múltiple e Independiente (MIRV)**
Un Vehículo de Reentrada Múltiple e Independiente (MIRV) es un dispositivo que permite

montar en un mismo misil balístico varias ojivas nucleares (o señuelos para distraer a los sistemas antimisil) capaces de batir distintos objetivos situados dentro de la trayectoria del vector. Así, las diversas cabezas de guerra se van separando del cuerpo central del misil en distintos momentos de su trayectoria de reentrada para alcanzar los objetivos que se encuentren dentro de su recorrido.

En un primer momento, ambas superpotencias intentaron proteger sus fuerzas nucleares acorazando los silos subterráneos, protegiendo los hangares aéreos y dispersando los arsenales contra un hipotético primer golpe enemigo, tratando de garantizar así su capacidad de contraataque. Sin embargo, estas medidas pasivas proporcionaban una limitada solución, puesto que tenían un escaso poder disuasorio. La clave radicaba en alcanzar una situación que garantizara la capacidad de respuesta nuclear y convirtiera en improbable e irracional cualquier ataque preventivo. En otras palabras, el objetivo era que ninguna de ambas superpotencias gozara de ventaja para lanzar un ataque nuclear y así lograr una situación de conflicto estable.

La solución a este problema se concretó en el desarrollo de una capacidad de respuesta efectiva mediante el incremento y dispersión de los arsenales para evitar que un ataque preventivo destruyera toda la fuerza nuclear; el desarrollo de mecanismos de represalia instantánea para iniciar el contraataque antes de que los misiles enemigos alcanzaran sus objetivos; y la construcción de nuevos vectores capaces de transportar el arma nuclear.

Aunque en un plano práctico este escenario posiblemente no se habría concretado, desde una perspectiva teórica las fuerzas de contragolpe garantizaban la estabilidad de la disuasión y permitían a Estados Unidos, y también a la OTAN, mantener la declaración de no ser el primer país en cruzar el umbral nuclear *(No First Use)* en caso de conflicto.

Disuasión Mutua - Destrucción Mutua Asegurada (MAD)

Cuando los arsenales nucleares de ambas superpotencias alcanzaron la paridad, sus fuerzas nucleares se organizaron en una tríada que garantizaba la capacidad de contragolpe y la disuasión unilateral dejó paso a la disuasión mutua, se alcanzó un punto de equilibrio estratégico basado en la Destrucción Mutua Asegurada (MAD). Según esta situación, un hipotético conflicto nuclear total significaría, inevitablemente, la destrucción de ambos contendientes (estimada en un 50-70 por ciento del complejo industrial y un 33-40 por ciento de la población). Este equilibrio disuadiría a las superpotencias de iniciar una guerra nuclear, puesto que ni Estados Unidos ni la URSS serían tan irracionales como para lanzar un ataque preventivo sabiendo que ellos también serían destruidos.

Aunque efectiva para garantizar la disuasión mutua y mantener la estabilidad global, la MAD no satisfacía a ninguna de las dos superpotencias, por lo que desde el primer instante buscaron erosionar dicha doctrina mediante iniciativas como la construcción de escudos antimisiles que protegieran el territorio nacional frente a los misiles atacantes, cambios en las estrategias de empleo de las armas nucleares, o doctrinas militares que posibilitaran el logro de los objetivos estratégicos sin provocar un conflicto nuclear generalizado. Sin embargo, ninguna de esas iniciativas consiguió superar la MAD, que mantuvo intacta su capacidad disuasoria hasta la caída del imperio soviético.

La primera de las iniciativas para superar el estancamiento de la MAD arrancó cuando, a finales de la década de 1970, la Unión Soviética planteó una arriesgada estrategia para permitir que el Pacto de Varsovia invadiera Europa sin que la OTAN pudiera responder con armamento nuclear. Ello se lograría mediante grandes ofensivas convencionales que deberían penetrar rápida y profundamente en el territorio aliado, lo que neutralizaría la opción nuclear y brindaría a Moscú una indiscutible victoria estratégica.

El planteamiento minaba tanto la escalada bélica como la disuasión nuclear, pilares de la estrategia aliada para mantener el statu quo en Europa. Ante esta situación, la OTAN propuso incrementar sus fuerzas convencionales y modificar su doctrina nuclear sustituyendo el principio de no ser la primera en cruzar el umbral nuclear *(No First Use)*) por no traspasarlo de manera precipitada *(No Early First Use)*, para así incrementar su capacidad de disuasión y dificultar una escalada bélica. Se decidió, entonces:

> Aprovechar el potencial tecnológico occidental para equilibrar la superioridad cuantitativa del Pacto de Varsovia sin recurrir al arma nuclear.
> Lanzar un ambicioso proyecto para incrementar y modernizar los medios convencionales aliados.
> Establecer la doctrina de ataque a los segundos escalones *(Follow-On Forces Attack, FOFA)* para destruir las fuerzas de apoyo del Pacto de Varsovia en un conflicto convencional.

La segunda de las iniciativas para superar el estancamiento estratégico provocado por la MAD arrancó en 1979, cuando la Unión Soviética desplegó en su frontera occidental Misiles Balísticos de Alcance Intermedio (IRBM) RT-21M, capaces de batir cualquier punto del continente europeo. Basada en el supuesto de que Estados Unidos no intervendría por temor a una escalada militar y en la fuerza del movimiento pacifista para impedir cualquier respuesta aliada, esta arriesgada maniobra pretendía expandir la influencia de Moscú en Europa occidental. Esta acción paralizó a la OTAN, que no podía ofrecer ninguna réplica creíble al desafío porque su estrategia todavía se basaba en el paraguas nuclear estadounidense. En consecuencia, mientras la OTAN se debatía sobre cómo responder a esta provocación, Estados Unidos desplegó en suelo europeo sus misiles Pershing II armados con ojivas nucleares, lo que provocó enormes protestas pacifistas y antinucleares en todo el continente. La crisis de los euromisiles finalizó en 1987, cuando Estados Unidos y la Unión Soviética retiraron sus misiles y firmaron el Tratado de Fuerzas Nucleares de Alcance Intermedio, que proponía la eliminación total de este tipo de armas.

Doctrina de opciones selectivas

El tercer intento para superar la MAD se produjo en 1980, cuando el presidente Jimmy Carter presentó la doctrina de opciones selectivas. Concebida por el secretario de Defensa James Schlesinger en 1974, la estrategia pretendía eludir la contradicción de amenazar con armas nucleares en un escenario de paridad nuclear y Destrucción Mutua Asegurada. Planteaba la posibilidad de mantener un conflicto nuclear limitado que no escalara hacia una guerra nuclear total mediante la conducción de ataques nucleares limitados como prevención o respuesta a una agresión soviética. Encaminada a recuperar la dialéctica de la disuasión, la doctrina de las opciones selectivas pretendía garantizar la credibilidad de la amenaza estadounidense y lograr, en caso de conflicto, la rendición de la Unión Soviética para no exponerse a su hipotética destrucción. En otras palabras, las opciones selectivas eran la clave para triunfar en una guerra nuclear manteniendo, en última instancia, la MAD.

Para ser viable, dicha doctrina requería la elaboración de un catálogo de opciones de respuesta nuclear limitada y la adquisición de vectores capaces de conducir ataques de precisión. Durante la presidencia de Ronald Reagan (1981-1989) estas opciones se plasmaron en el establecimiento de la Selección de Objetivos para el Empleo de Armas Nucleares (NUTS), la entrada en servicio de nuevos sistemas de armas (el ICBM Peace- keeper, el SLBM Trident, el misil de crucero Tomahawk o el bombardero estratégico B-1 Lancer) y el impulso a la Iniciativa de Defensa Estratégica (SDI), un ambicioso sistema de defensa antimisil que prometía salvaguardar el territorio estadounidense frente

a cualquier ataque enemigo, alterando así el equilibrio del terror y reforzando la doctrina de las opciones selectivas. Estos principios constituirían el último aporte a la dialéctica nuclear y guiarían la estrategia nuclear estadounidense hasta el fin de la Guerra Fría.

Doctrina de disuasión mínima

Con la caída de la Cortina de Hierro, la teoría nuclear fue perdiendo importancia en el análisis estratégico internacional y el concepto de disuasión mínima, o la posesión de una capacidad de contragolpe suficiente como para ocasionar un daño inaceptable al agresor, se impuso entre las doctrinas nucleares de los países que mantenían niveles de fuerza suficientes para garantizar ese nivel de disuasión.

En esa época (década de los 90) los mayores temores de la comunidad internacional no se relacionaban con la disuasión, sino con la dispersión del arsenal nuclear soviético (originalmente repartido entre Rusia, Ucrania, Kazajstán y Bielorrusia), su control (para evitar fugas de científicos, materiales físiles u ojivas nucleares), su seguridad (se temía que pudieran producirse detonaciones accidentales, no autorizadas o intencionales) y nuevos indicios de proliferación nuclear (lo que ponía en duda el régimen internacional de no-proliferación).

A mediados de la década de 1990, el arsenal nuclear soviético volvió a manos rusas, los materiales físiles, la tecnología y los conocimientos científicos fueron puestos bajo control, y la seguridad nuclear rusa experimentó una notable mejoría. Sin embargo, el deterioro del régimen de proliferación nuclear ya era una realidad: Paquistán estaba a punto de obtener el arma nuclear y Corea del Norte e Irán estaban desarrollando programas nucleares para uso militar.

Finalmente, desde el cambio de siglo se han sucedido varios hechos que dieron lugar a un entorno nuclear más complejo:

> El desarrollo de la Defensa de Misiles Balísticos estadounidense, su retirada del Tratado ABM (Misiles Antibalísticos) y su final renuncia a desplegar dicho sistema cerca de la frontera rusa.
> Los esfuerzos de la OTAN por dotarse de un sistema antimisil análogo al estadounidense.
> El progresivo deterioro del régimen internacional de no-proliferación motivado por el acceso de nuevos países al selecto club atómico.
> La creciente dificultad para controlar la transferencia de tecnologías nucleares o de doble uso.
> El esfuerzo de Irán por dotarse de artefactos nucleares y la prospectiva de un entorno de disuasión multipolar en Oriente Medio.
> El temor de que un actor no-estatal acceda al arma atómica y la imposibilidad de mantener la disuasión nuclear tradicional para hacer frente a esta amenaza.

En conclusión, en los próximos años es probable que asistamos al progresivo deterioro del régimen internacional de no-proliferación, la emergencia de nuevos estados nucleares y el surgimiento de un entorno de disuasión multipolar. Ello comportará la revisión de las doctrinas nucleares de las principales potencias, la redefinición de la disuasión y la revitalización de la teoría y la estrategia nuclear.

Otras doctrinas nucleares

> Gran Bretaña puso sus fuerzas nucleares a disposición de la OTAN y planteó una interdependencia nuclear con Estados Unidos basada en el planeamiento nuclear de contingencia conjunto y la opción de empleo unilateral estadounidense.
> Francia buscó su independencia nuclear mediante el abandono del paraguas nuclear aliado

y la creación de su propia fuerza atómica, la force de frappe, fundamentada en la represalia masiva. Actualmente, la doctrina nuclear francesa se ha asimilado en gran medida a la anglosajona.

- China planteó una disuasión mínima capaz de hacer frente a la doble amenaza estadounidense y soviética.
- Israel concibe la disuasión nuclear como una garantía de seguridad frente a sus vecinos árabes y su última prerrogativa, gracias a la opción Sansón: un ataque nuclear total contra sus adversarios en caso de que la integridad del país esté realmente en peligro.
- India y Paquistán mantienen una disuasión mínima orientada a la conservación del statu quo, a pesar del creciente desequilibrio de poder a favor de Nueva Delhi y la inestabilidad sociopolítica que sufre Islamabad.
- Corea del Norte pretende garantizar una disuasión mínima con un arsenal nuclear muy reducido, susceptible de emplearse como instrumento político al servicio del régimen de Pyongyang.

Acuerdos nucleares Estados Unidos - URRS

- Tratado sobre Misiles Anti-Balísticos (ABM)
  El Tratado sobre Misiles Anti-Balísticos o Tratado ABM fue un acuerdo entre los Estados Unidos y la Unión Soviética para limitar el número de sistemas de misiles antibalísticos (ABM) utilizados para defender ciertos sitios contra misiles con carga nuclear. El 26 de mayo de 1972 el presidente Richard Nixon y su par soviético Leonid Brézhnev, firmaron este tratado, que estuvo en vigor durante 30 años, hasta 2002, año en que Estados Unidos se retiró del acuerdo.

  El objetivo del acuerdo era asegurar la vulnerabilidad de las partes firmantes. Se afirma que la certeza de que ambas partes podrían destruirse mutuamente mantuvo el frágil equilibrio durante la Guerra Fría. Se impusieron límites cuantitativos y cualitativos precisos respecto de los sistemas ABM que podían ser desplegados.

- Tratado START I (Strategic Arms Reduction Treaty)
  El START era un tratado entre Estados Unidos y la URSS que consistió en limitar el número de misiles nucleares que poseía cada superpotencia. Fue propuesto por el entonces presidente estadounidense Ronald Reagan, y finalmente firmado por George Bush. Por parte soviética el firmante fue Mijaíl Gorbachov. Fue firmado el 31 de julio de 1991, cinco meses antes del colapso de la Unión Soviética; sin embargo, no entró en operación sino hasta diciembre de 1994. El tratado establecía limitaciones en la cantidad de varios tipos de vehículos y cabezas nucleares que ambos países poseían.

- Tratado START II
  El START II es un acuerdo firmado en 1993 por George Bush y Borís Yeltsin, que prohibía el uso de los ICBM de cabezas múltiples (MIRV).

- Acuerdos SALT *(Strategic Arms Limitation Talks)*
  Los acuerdos SALT fueron dos encuentros de conversaciones bilaterales entre la Unión Soviética y Estados Unidos sobre el tema de control de armas, específicamente el de limitar las armas nucleares estratégicas y frenar la carrera armamentista. Hubo dos rondas de encuentros de conversaciones y acuerdos: SALT I (1969-1972) y SALT II (1972-1979).

Marco legal sobre las armas nucleares [13, 14, 15, 16, 17]

Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP)

Este tratado, conocido como TNP, entró en vigor el 5 de marzo de 1970. Está basado en tres pilares fundamentales: la no-proliferación, el desarme y el uso pacífico de la energía nuclear.

Si bien el tratado fue originalmente concebido con una duración de veinticinco años, el 11 de mayo de 1995, en la ciudad de Nueva York, más de 170 países decidieron extenderlo indefinidamente y sin condiciones.

Está constituido por once artículos, de los cuales se resumen a continuación los más importantes:

> **Artículo I:**
Cada Estado poseedor de armas nucleares que sea Parte en el Tratado se compromete a no traspasar a nadie armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos ni el control sobre tales armas o dispositivos explosivos, sea directa o indirectamente; y a no ayudar, alentar o inducir en forma alguna a ningún Estado no poseedor de armas nucleares a fabricar o adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, ni el control sobre tales armas o dispositivos explosivos.

> **Artículo II:**
Cada Estado no poseedor de armas nucleares que sea Parte en el Tratado se compromete a no recibir de nadie ningún traspaso de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos ni el control sobre tales armas o dispositivos explosivos, sea directa o indirectamente; a no fabricar ni adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos; y a no recabar ni recibir ayuda alguna para la fabricación de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos.

> **Artículo III:**
Cada Estado no poseedor de armas nucleares que sea Parte en el Tratado se compromete a aceptar las salvaguardias estipuladas en un acuerdo que ha de negociarse y concertarse con el Organismo Internacional de Energía Atómica, a fin de verificar el cumplimiento del compromiso asumido en el Artículo II.

Cada Estado Parte en el Tratado se compromete a no proporcionar: a) materiales básicos o materiales fisionables especiales, ni b) equipo o materiales especialmente concebidos o preparados para el tratamiento, utilización o producción de materiales fisionables especiales, a ningún Estado no poseedor de armas nucleares, para fines pacíficos, a menos que esos materiales básicos o materiales fisionables especiales sean sometidos a las salvaguardias exigidas por el presente artículo.

> **Artículo IV**
Todas las Partes en el Tratado se comprometen a facilitar el más amplio intercambio posible de

---

13 IAEA, Tratado de No-Proliferación (TNP), https://www.iaea.org/es/temas/tratado-sobre-la-no-proliferacion

14 IAEA, Protocolo Adicional, https://www.iaea.org/es/temas/protocolo-adicional

15 Tratado de Tlatelolco, https://www.oas.org/36ag/espanol/doc_referencia/Tratado_Tlatelolco.pdf

16 Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC), https://www.abacc.org.br/es/

17 Nuclear Suppliers Group (NSG), https://nuclearsuppliersgroup.org/en/

equipo, materiales e información científica y tecnológica para los usos pacíficos de la energía nuclear y tienen el derecho de participar en ese intercambio.

> **Artículo VI**

Cada Parte en el Tratado se compromete a celebrar negociaciones de buena fe sobre medidas eficaces relativas a la cesación de la carrera de armamentos nucleares en fecha cercana y al desarme nuclear, y sobre un tratado de desarme general y completo bajo estricto y eficaz control internacional.

A la fecha, 190 países han firmado el TNP, de los cuales cinco son Estados Poseedores de Armas Nucleares (Nuclear Weapon States – NWS): Estados Unidos, Rusia, Reino Unido, Francia y China. Estos cinco países son los que hicieron pruebas nucleares antes de 1967.

Tres países no han firmado, hasta ahora, el TNP: India, Paquistán e Israel. Corea del Norte se retiró del Tratado en 2003.

Sudáfrica empezó un programa de armas nucleares, supuestamente con la asistencia de Israel, y realizó pruebas nucleares en el Atlántico, pero tras la firma del TNP en 1990 renunció a su programa nuclear y destruyó su pequeño arsenal atómico.

El Artículo VI, referido al desarme de los NWS, está, a la fecha, incumplido.

Argentina firmó el TNP en el año 1995.

Acuerdos de Salvaguarda

Las salvaguardias nucleares son las medidas de examen y supervisión que son ejercidas sobre las instalaciones nucleares de un determinado país que permiten comprobar que su uso de la tecnología nuclear se orienta solo a fines pacíficos y no a un desarrollo militar.

Por medio del Tratado de No Proliferación Nuclear, la comunidad internacional asignó al OIEA la responsabilidad central de aplicar las salvaguardias con carácter universal.

Todo Estado firmante del TNP firma un acuerdo particular de salvaguarda con el OIEA. Ese acuerdo debe fijar, principalmente: las instalaciones sujetas a inspección, la frecuencia de las inspecciones, la duración y modalidad de las inspecciones, y el tiempo de preaviso de la llegada de las inspecciones.

Las medidas que se aplican para confirmar la ausencia de desvío del material nuclear son de carácter técnico y requieren la cooperación entre los Estados sujetos a las inspecciones y el OIEA. Entre estas medidas se destacan las siguientes:

- Contabilidad, mediante actividades llevadas a cabo para controlar y registrar las cantidades de materiales nucleares presentes dentro de un área definida y los cambios habidos dentro de determinados periodos de tiempo.
- Contención, consistente en la instalación de elementos estructurales en las instalaciones, contenedores o equipos con material nuclear que aseguren la integridad física de un área o un elemento específico y la continuidad del conocimiento del estado del área o del elemento, y que eviten el acceso no detectado y la interferencia o manipulación no autorizada del material nuclear o los equipos.
- Vigilancia, consistente en las inspecciones y la recogida de información "in situ" por los inspectores del OIEA, registrada mediante dispositivos o instrumentos, con la finalidad de detectar la posible interferencia o manipulación no autorizada del material nuclear o los equipos, así como la interferencia o la manipulación del equipo de salvaguardias (sellos, muestras, cámaras de vigilancia, etc..).

Los criterios que se utilizan para determinar el número, rigor, duración, cronología y modalidad de las inspecciones ordinarias de cualquier instalación deberán tener en cuenta las características del ciclo del combustible nuclear del Estado, en especial el número y tipos de instalaciones que contengan materiales nucleares sometidos a salvaguardias en el Estado; las características de estas instalaciones que sean de interés para las salvaguardias, en particular el grado de contención; la medida en que el diseño de estas instalaciones facilite la verificación de la corriente y existencias de materiales nucleares, y la medida en que se pueda establecer una correlación entre la información procedente de distintas zonas de balance de materiales.

La frecuencia de las inspecciones depende del tipo de instalación y de la cantidad de material fisible involucrado.

El preaviso de las inspecciones por parte del OIEA depende del tipo de instalaciones que posea el país, pudiendo ser de entre 24 horas a una semana.

Protocolo Adicional al TNP

El Protocolo Adicional refuerza el sistema de salvaguardias; en primer lugar, mediante la posibilidad de recabar y recibir información adicional sobre las instalaciones nucleares y sobre actividades relacionadas con el ciclo de combustible nuclear, lo que incluye aquellas en las que no se utiliza material nuclear (esto abarca actividades como la investigación, fabricación de equipos, etc.), información que será evaluada por el OIEA; y en segundo lugar se refuerzan los derechos de acceso de los inspectores del OIEA a cualquier lugar dentro de los emplazamientos nucleares y aquellos lugares en los que se desarrollan actividades sujetas a declaración (acceso complementario), con el añadido del factor sorpresa, pasando de inspecciones programadas con varios días de antelación a inspecciones anunciadas con sólo de 2 a 24 horas de antelación.

Hasta la fecha, 148 estados han firmado el Protocolo Adicional al TNP. Ni Argentina ni Brasil han firmado el Protocolo Adicional, ya que alegan haber establecido, en su lugar, un régimen bilateral de inspecciones mutuas denominado ABACC (Agencia Brasileño Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares).

ABACC (Agencia Brasileño Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares)

La Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares se creó el 18 de julio de 1991, luego de la firma del Acuerdo entre Argentina y Brasil para el Uso Exclusivamente Pacífico de la Energía Nuclear. Este Acuerdo entró en vigor en diciembre de 1991, una vez aprobado por los Congresos de ambos países.

La principal misión de la ABACC es garantizar a la Argentina, a Brasil y a la comunidad internacional, que todos los materiales e instalaciones nucleares existentes en ambos países se emplean con fines exclusivamente pacíficos. El objetivo de la ABACC es administrar y aplicar el Sistema Común de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (SCCC), cuyo propósito es verificar que ningún material utilizado en las distintas actividades nucleares de ambos países se desvíe para su empleo en armas nucleares.

El modo operativo de la ABACC es el de las inspecciones mutuas de salvaguardias, similares a las llevadas a cabo por el OIEA.

Tratado de Tlatelolco

El Tratado para la Proscripción de Armas Nucleares en América Latina y el Caribe (más conocido como Tratado de Tlatelolco) es un tratado internacional que establece la desnuclearización del territorio de América Latina y el Caribe de los países signatarios. Fue propuesto por el presidente de

México, Gustavo Díaz Ordaz, e impulsado por el diplomático mexicano Alfonso García Robles como respuesta al temor generado por la crisis de los misiles rusos en Cuba (1962).

El Tratado, cuya redacción fue completada por la COPREDAL (Comisión Preparatoria para la Desnuclearización de América Latina) el 12 de febrero de 1967, fue puesto a disposición de los países para su firma el 14 de febrero y entró en vigencia el 25 de abril de 1969. La organización encargada de vigilar el cumplimiento de dicho tratado se denomina OPANAL (Organización para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe).

Han firmado el Tratado 21 países de América Latina y el Caribe. No lo han firmado Cuba, Guyana ni Belice.

Grupo de Proveedores Nucleares (Nuclear Suppliers Group – NSG)

El Grupo de Proveedores Nucleares (Nuclear Suppliers Group – NSG) es un ente multinacional que busca contribuir a la no proliferación mediante el establecimiento de normas para el control de exportaciones y transferencias de tecnología nuclear que podrían ser utilizadas en un programa de fabricación de armamento nuclear.

El ente fue fundado en 1975 a raíz de las pruebas nucleares llevadas a cabo por la India en 1974.

Conforman el grupo 45 países, entre los que se incluyen Argentina y Brasil.

Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBTO)

La Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (en inglés, CTBTO, Comprehensive Test-Ban-Treaty Organization) es una organización internacional fundada en 1997, que establecerá, tras la entrada en vigor del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBT en inglés), una convención que prohíbe todas las explosiones nucleares por quien quiera que sea y en cualquier lugar, ya sea sobre la superficie terrestre, en la atmósfera, bajo el agua o bajo tierra. La organización se encargará de la verificación de la prohibición de pruebas nucleares y, por lo tanto, operará un sistema de monitorización en todo el mundo.

Esta convención entrará en vigor plenamente cuando la firmen los Estados faltantes: Estados Unidos y China.

La energía nuclear en América Latina[18, 19, 20, 21]

Argentina

Argentina posee tres reactores nucleares de potencia, operados por la empresa estatal NASA (Nucleoeléctrica Argentina S.A.):

- Atucha I:
  Tipo: PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor) con recipiente de presión; combustible: UO_2 con uranio levemente enriquecido (SEU: Slightly Enriched Uranium) al 0.85 por ciento; refrigerante: agua pesada (D_2O); potencia: 357 MWe; ubicación: Lima (100 kilómetros al norte de Buenos Aires); fabricante: KWU (Siemens, Alemania); en operación desde 1974.

---

18 Uranium 2016: Resources, Production and Demand, NEA (Nuclear Energy Agency), IAEA (International Atomic Energy Agency), http://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7301-uranium-2016.pdf

19 IAEA, Country Nuclear Power Profiles, https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Brazil/Brazil.htm
https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Argentina/Argentina.htm

20 World Nuclear Association, https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/mexico.aspx

21 World Nuclear Association, https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/emerging-nuclear-energy-countries.aspx

> Embalse:
Tipo: PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor) CANDU con tubos de presión; combustible: UO_2 con uranio natural; refrigerante: agua pesada (D_2O); potencia: 648 MWe; ubicación: Embalse (a 100 kilómetros de la ciudad de Córdoba); fabricante: AECL (Atomic Energy Canada Limited, Canadá); en operación desde 1986.
> Atucha II
Tipo: PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor); combustible: UO_2 con uranio natural; refrigerante: agua pesada (D_2O); potencia: 675 MWe; ubicación: Lima (100 kilómetros al norte de Buenos Aires); fabricante: KWU (Siemens, Alemania) y NASA (Nucleoeléctrica Argentina SA); en operación desde 2011.

Posee, además, un reactor nuclear de potencia en construcción, el CAREM 25 (Central Argentina de Elementos Modulares), propiedad de CNEA.
> CAREM 25:
Tipo: PWR (Pressurized Water Reactor); combustible: UO_2 con uranio enriquecido al 3.2 por ciento; refrigerante: agua liviana (H_2O); potencia: 27 MWe; ubicación: Lima (100 kilómetros al norte de Buenos Aires); fabricante: CNEA; se estima su operación a partir de 2023.
Este es un reactor de diseño argentino. Participan en su construcción varias empresas argentinas: IMPSA, Techint, Conuar, etc.

Argentina posee cinco reactores de investigación y producción de radioisótopos. Son de baja potencia y no producen energía eléctrica: RA0 (Universidad de Córdoba), RA1 (Centro Atómico Constituyentes), RA3 (Centro Atómico Ezeiza), RA4 (Universidad de Rosario), RA6 (Centro Atómico Bariloche).

Posee, además, un reactor de investigación y producción de radioisótopos en construcción, el RA10, en el predio del Centro Atómico Ezeiza. Se trata de un reactor de diseño argentino.

Los reactores de investigación utilizan combustible de UO2 con Uranio enriquecido al 20 por ciento, que la Argentina compra en el mercado internacional.

La Argentina posee todas las instalaciones necesarias para proveer de combustible a sus reactores nucleares. Es lo que se denomina un ciclo de combustible autónomo. Comprende:
> Minería de uranio
Tiene 11020 toneladas de reservas aseguradas de Uranio, y los principales yacimientos son: Don Otto (Salta), Sierra Pintada (Mendoza) y Cerro Solo (Chubut). Se producen 120 tonU/año aproximadamente. Los tres reactores consumen en total unas 210 tonU/año. La diferencia se importa principalmente de Canadá, Kazakastán y República Checa.

> Producción de UO_2
El U3O8 (yellow cake) que se obtiene en las minas de Uranio se purifica y convierte en polvo de UO_2 en la planta de Dioxitek S.A., en la ciudad de Córdoba. La planta, que comenzó a operar en 1982, es propiedad del Ministerio de Energía (50 por ciento) y de la CNEA (50 por ciento).

> Producción de agua pesada
La empresa estatal ENSI (Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería) opera la planta PIAP (Planta Industrial de Agua Pesada), ubicada en la localidad de Arroyito, a 55 kilómetros de la ciudad de Neuquén.
La PIAP tiene una capacidad de 200 ton D_2O por año. Provee a los reactores nucleares argentinos y exporta el excedente.

> Enriquecimiento de Uranio

La planta de Pilcaniyeu (CNEA) a 60 kilómetros de Bariloche, enriquece Uranio por la técnica de difusión gaseosa. El proyecto comenzó en 1978 y fue inaugurado en 1983. Tiene poca capacidad (20 MTSWU - Metric Tonnes of Separative Work Units), pero alcanzaría para enriquecer el Uranio necesario para el reactor CAREM 25.

La planta discontinuó su actividad en 1984, pero la retomó en 2015.

> Fabricación de elementos combustibles

La planta de Conuar S.A. (Combustibles Nucleares Argentinos S.A.) es propiedad de CNEA (33 por ciento) y del grupo privado Pérez Companc (67 por ciento) y fue inaugurada en 1982. La planta recibe el polvo de UO_2 fabricado en Dioxitek S.A. y los tubos de zircalloy (aleación de Zr con 1 por ciento Nb y Sn) fabricados en FAE (Fábrica de Aleaciones Especiales, CNEA) y fabrica los elementos combustibles que alimentan los reactores argentinos de potencia. Los llamados elementos combustibles son manojos de tubos de zircaloy rellenos con pastillas (pellets) de UO2 cerámico, como muestra la siguiente figura.

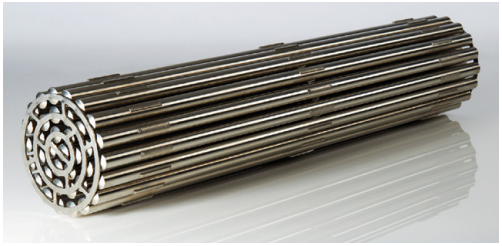
> Reprocesamiento de combustible quemado

En 1978 se inició el proyecto LPR (Laboratorio de Procesos Radioquímicos) en el Centro Atómico Ezeiza, que tendría la capacidad de reprocesar combustibles quemados en los reactores argentinos y producir entre 10 y 20 kilos de Plutonio por año.

El proyecto se suspendió en 1984, pero sus instalaciones no fueron desmanteladas.

Si bien en la actualidad la Argentina no reprocesa su combustible nuclear quemado, mantiene el *know how* a escala de laboratorio.

FIGURA - ELEMENTO COMBUSTIBLE DEL REACTOR DE EMBALSE



> Almacenamiento de combustible nuclear quemado

El elemento combustible permanece dentro del núcleo del reactor por aproximadamente un año. Luego es extraído y colocado en piletas de agua donde decae térmica y radiológicamente. Algunos países extraen el combustible quemado después de un tiempo en pileta para reprocesarlo y obtener plutonio, sea para armas nucleares o para alimentar reactores nucleares. La Argentina mantiene los combustibles quemados almacenados en las piletas, y luego de varios años los transporta a un almacenamiento en seco (silos de hormigón).

Es importante destacar que Argentina no considera como “desecho” al combustible quemado, ya que contiene plutonio, que es una fuente de energía que, en el futuro, se puede aprovechar.

> Centros de investigación y desarrollo

CNEA mantiene tres centros de investigación y desarrollo en temas nucleares: Centro Atómico Constituyentes (CAC) en San Martín, provincia de Buenos Aires; Centro Atómico Ezeiza (CAE) en Ezeiza, provincia de Buenos Aires, y el Centro Atómico Bariloche (CAB) en Bariloche, provincia de Río Negro.

> Centros de formación de recursos humanos
CNEA mantiene tres centros de formación de recursos humanos: el Instituto Balseiro, en el CAB, en conjunto con la Universidad Nacional de Cuyo, el Instituto Dan Beninson, en el CAE, en conjunto con la Universidad Nacional de San Martín, y el Instituto Sábato, en el CAC, también en conjunto con la Universidad Nacional de San Martín.

En estos institutos se dictan carreras como licenciatura en física, ingeniería nuclear, ingeniería en materiales, etc.

> INVAP
INVAP S.E. (Investigación Aplicada) es una empresa estatal propiedad de CNEA (50 por ciento) y de la provincia de Río Negro (50 por ciento) dedicada al diseño y construcción de sistemas tecnológicos complejos: reactores nucleares de investigación, satélites, equipos de medicina nuclear, radares, etc.

Fue creada en 1976 y su sede está en la ciudad de Bariloche.

Sus principales actividades se centran en las áreas nuclear, espacial, defensa, tecnología industrial y energías alternativas.

Ha construido y exportado reactores nucleares de investigación y desarrollo a varios países: Perú, Argelia, Egipto y Australia. Hace poco ha ganado la licitación internacional para construir un reactor nuclear en Países Bajos.

Brasil

Brasil tiene dos reactores nucleares de potencia en operación (Angra 1 y Angra 2) y uno en construcción (Angra 3).

> Angra 1
Tipo: PWR (Pressurized Water Reactor); combustible: UO_2 con Uranio enriquecido al 3.5 por ciento; refrigerante: agua liviana (H_2O); potencia: 609 MWe; ubicación: Angra do Reis (150 kilómetros al sur de Río de Janeiro); fabricante: Westinghouse (Estados Unidos); en operación desde 1982.

> Angra 2
Tipo: PWR (Pressurized Water Reactor); combustible: UO_2 con Uranio enriquecido al 3.5 por ciento; refrigerante: agua liviana (H_2O); potencia: 1275 MWe; ubicación: Angra do Reis; fabricante: KWU (Siemens, Alemania); en operación desde 2000.

> Angra 3
Tipo: PWR (Pressurized Water Reactor); combustible: UO_2 con Uranio enriquecido al 3.5 por ciento; refrigerante: agua liviana (H_2O); potencia: 1245 MWe; ubicación: Angra do Reis; fabricante: KWU (Siemens, Alemania); se estima que estará en operación a partir de 2025.

Brasil posee cuatro reactores nucleares de investigación de baja potencia: dos en el IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) en San Pablo, uno en el IEN (Instituto de Energía Nuclear) en Río de Janeiro, y uno en el CDTN (Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear) en Belo Horizonte.

Posee, además, un reactor de investigación y producción de radioisótopos en construcción, el RMB (Multipurpose Research Reactor), en San Pablo. Este proyecto se lleva adelante en cooperación con Argentina, en forma paralela a la construcción del reactor RA10 en Ezeiza.

Brasil, al igual que Argentina, posee un ciclo de combustible completo y autónomo para alimentar de combustible a sus reactores nucleares.

> Minería de Uranio

Tiene 209000 toneladas de reservas aseguradas de Uranio, y es la sexta reserva en el mundo. Tiene, también, grandes reservas de Torio (alrededor de 300000 ton), que no explota.

Produce 340 ton U/año, en los sitios de Poços de Caldas, Lagoa Real y Santa Quiteria.

> Enriquecimiento de Uranio

Como parte del programa de construcción de un submarino de propulsión nuclear, la Armada brasilera instaló en 1998, en Iperó (a 100 kilómetros de San Pablo), una planta piloto de enriquecimiento de Uranio por ultracentrifugación. Luego, el gobierno brasilero decidió construir una planta industrial en Resende, Río de Janeiro, usando la misma tecnología. La planta comenzó a operar en 2006. Si bien la capacidad es chica, 120 MTSWU, alcanza para enriquecer el 50 por ciento del Uranio utilizado en Angra 1.

> Fabricación de elementos combustibles

La Fábrica de Combustible Nuclear (FCN) está ubicada en Resende, y comprende tres unidades: producción de UO_2, producción de pastillas (pellets) de UO_2 y fabricación de los elementos combustibles para alimentar a los reactores nucleares de potencia.

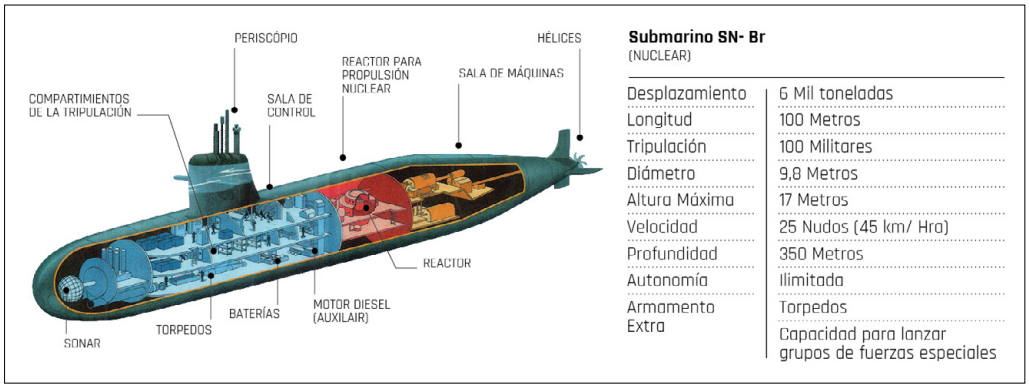
> Centros de investigación y desarrollo

Brasil posee varios centros de investigación y desarrollo nuclear: Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear (CDTN), en Belo Horizonte; Centro Regional de Ciencias Nucleares (CRCN), en Recife, Instituto de Energía Nuclear (IEN), en Río de Janeiro, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), en San Pablo; e Instituto de Radioprotección y Dosimetría (IRD), en Río de Janeiro.

> Proyecto de submarino de propulsión nuclear

La Marina brasilera lleva adelante un proyecto que prevé la construcción de un submarino de propulsión nuclear, a través de la empresa Itaguaí Construções Navais (ICN), en Itaguaí, a 70 kiló-

FIGURA – SUBMARINO BRASILERO CON PROPULSIÓN NUCLEAR



metros de Río de Janeiro. Esta construcción se llevará a cabo con el apoyo de Francia, a través de un acuerdo firmado en 2008.

El submarino, bautizado Álvaro Alberto en homenaje a un célebre almirante brasilero, tendrá 9.8 metros de diámetro, 100 metros de largo y un desplazamiento de 6000 toneladas. Será propulsado por un reactor compacto PWR, refrigerado por agua liviana y alimentado por Uranio enriquecido al 20 por ciento.

Inicialmente, la terminación del submarino nuclear estaba prevista para 2025, pero la crisis económica que asoló el país a partir del 2014 afectó directamente al proyecto, que pasó a desarrollarse a pasos más lentos.

De esta forma, Brasil se uniría al grupo de seis países con submarinos de propulsión nuclear: Estados Unidos, Rusia, Reino Unido, Francia, China y la India.

México

México cuenta con dos reactores nucleares de potencia en operación, en la localidad de Laguna Verde, estado de Veracruz, sobre el Golfo de México.

> Laguna Verde 1
Tipo: BWR (Boiling Water Reactor); combustible: UO_2 con Uranio enriquecido al 3 por ciento; refrigerante: agua liviana (H_2O); potencia: 800 MWe; fabricante: General Electric (Estados Unidos); en operación desde 1989.

> Laguna Verde 2
Tipo: BWR (Boiling Water Reactor); combustible: UO_2 con Uranio enriquecido al 3 por ciento; refrigerante: agua liviana (H_2O); potencia: 800 MWe; fabricante: General Electric (Estados Unidos); en operación desde 1994.

México compra a Estados Unidos el combustible necesario para alimentar sus centrales nucleares, ya que no cuenta con instalaciones propias para fabricarlo.

Las principales instituciones nucleares de México son: el Instituto Nacional de Investigación Nuclear (ININ), Uranio de México (Uramex), y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS).

Uramex ha identificado reservas por alrededor de 2000 toneladas de Uranio, pero, a la fecha, no las explota.

El Instituto Nacional de Investigación Nuclear (ININ), ubicado cerca de la ciudad de México, opera un reactor nuclear de investigación desde 1968.

Chile

Chile no posee, a la fecha, instalaciones nucleares de importancia. Solamente cuenta con un reactor nuclear de investigación que opera desde 1974.

En el año 2007, el Ministerio de Energía anunció que comenzaba los estudios técnicos para instalar energía nuclear de potencia.

En el año 2010, el Ministerio anunció que el primer reactor nuclear de 1100 MWe debería estar operando en 2024, y que cuatro reactores más entrarían en operación para 2035. Para ello se diseñó un plan para crear la infraestructura necesaria que incluyera la formación de recursos humanos, el establecimiento de un marco regulatorio y previsiones para la seguridad y gestión de residuos nucleares.

En 2011, la CCHEN (Comisión Chilena de Energía Nuclear) firmó un acuerdo con la CEA (Comisión de Energía Atómica) de Francia para la cooperación institucional en energía nuclear.

En mayo de 2018, la CCHEN firmó un memorándum de entendimiento (MoU – Memorandum of Understanding) con Rosatom América Latina (Rusia) para promover la cooperación nuclear.

Ecuador

En agosto de 2009 el gobierno firmó un acuerdo de cooperación con Rosatom (Rusia) con vistas a desarrollar un programa nuclear en el país.

Venezuela

El país no cuenta con instalaciones nucleares de importancia. Solo cuenta con un reactor de investigación que fue operado entre 1960 y 1994 por el Instituto Venezolano de Investigación Científica.

Un acuerdo firmado con Rusia en 2010 prevé la construcción de dos reactores nucleares de potencia de 1200 MWe cada uno y un reactor de investigación y producción de radioisótopos, pero no se ha establecido un cronograma de tiempos claro.

Bolivia

En 2014 el gobierno creó la Comisión de Energía Atómica para llevar adelante un programa de energía nuclear y producción de radioisótopos.

En marzo de 2015 el gobierno firmó un acuerdo de cooperación con Argentina para desarrollar infraestructura e instituciones para el uso pacífico de la energía nuclear. El apoyo de Argentina incluiría el diseño, construcción y operación de reactores de investigación e instalaciones para gestión de combustible quemado.

En octubre de 2015 se firmó un acuerdo preliminar con Rusia con vistas a construir un reactor nuclear de potencia.

Perú

Perú cuenta con un reactor de investigación, el RP-10. Este reactor, de 10 MW de potencia térmica, fue diseñado y construido para el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) de la Argentina, con la participación de INVAP.

El reactor, que entró en funcionamiento en 1988, está situado en el centro nuclear Oscar Miroquesada De la Guerra, de Huarangal, Lima.

Cuba

En 1976, con apoyo de la Unión Soviética, Cuba planificó la instalación de dos reactores rusos de potencia. Se construyó parcialmente una pequeña ciudad nuclear para alojarlos, que fue inaugurada en 1982. Después del colapso de la Unión Soviética, el proyecto fue suspendido en 1992.

En septiembre de 2016, Cuba firmó con Rosatom (Rusia) un nuevo acuerdo de cooperación en el área nuclear, que incluye medicina nuclear e investigación básica y aplicada.

Paraguay

Paraguay firmó acuerdos con Rosatom (Rusia) en 2016 y 2017, para desarrollar infraestructura nuclear en el país, incluyendo la aplicación de radioisótopos en industria, medicina y agricultura.

Está prevista, también, la construcción de un reactor de investigación.

Conclusiones

De todas las armas de destrucción masiva, podemos afirmar, sin duda, que las armas nucleares son las que tienen mayor poder devastador. Su impacto es instantáneo y contundente.

En primer lugar, su alcance es muy extenso: un artefacto de fisión de baja potencia (~ 20 kT) produce destrucción total en un radio de dos kilómetros, y daños materiales hasta los tres kilómetros. Un artefacto de fusión de 1 MT, en cambio, provoca destrucción total en un radio de 7 kilómetros, por lo que podría destruir, materialmente, nuestra Capital Federal.

En segundo lugar, sus múltiples efectos no dejan, prácticamente, posibilidad de defensa. Es muy difícil protegerse simultáneamente de la magnitud y combinación de sus efectos (onda de choque, onda térmica, y radiación). Solamente un bunker subterráneo reforzado podría ofrecer protección parcial a un número limitado de personas. La respuesta médica ante una explosión nuclear es muy difícil.

La recuperación y descontaminación de una zona atacada por un arma nuclear es sumamente costosa y puede llevar años. Piénsese, si no, en Hiroshima y Nagasaki, y más cerca en el tiempo, en Chernóbil y Fukushima.

Es prácticamente inimaginable lo que podría suceder en caso de desatarse una guerra nuclear a gran escala. Teniendo en cuenta los arsenales actuales disponibles, ninguna región de la tierra estaría libre de sus efectos. No en vano se ha acuñado el término "holocausto nuclear".

Una de las características distintivas de las armas nucleares es que sus insumos no son de uso dual: ninguna otra actividad requiere el uso de Uranio puro enriquecido al 90 por ciento o Plutonio puro. Los reactores nucleares usados para producir energía eléctrica utilizan UO_2 con Uranio enriquecido al 4 por ciento o PuO_2. Tampoco ninguna otra actividad utiliza plasma de hidrógeno a millones de grados centígrados.

Las técnicas empleadas para la obtención de material físil puro (U^{235} o Pu), tanto el enriquecimiento de Uranio como el reprocesamiento de combustible nuclear quemado, involucran procesos complejos y requieren plantas específicas que no se utilizan en ninguna otra industria.

El costo de construcción y operación de una planta nuclear de cualquier tipo (de enriquecimiento, reprocesamiento o de un reactor nuclear) y su infraestructura asociada solo puede ser afrontado por un Estado y está fuera del alance de cualquier actor no-estatal. El costo dependerá de su capacidad, pero normalmente es de miles de millones de dólares y su construcción puede llevar, al menos, cuatro años.

Grupos terroristas de gran poder económico podrían tener acceso a escaso material físil (pocos kilogramos) por medios ilícitos (sabotaje, tráfico ilícito), o explotando fallas de seguridad de algún Estado que sea legítimo usuario. Aunque es muy improbable, si así fuera el caso, podrían llegar a construir un artefacto rudimentario (ensamble cañón) de muy baja potencia. El temor a casos de este tipo fue manifiesto después del desmembramiento de la Unión Soviética. Existía la preocupación por posibles lotes de material físil sin control, o de científicos desempleados dispuestos a vender su know-how a cualquiera. Esto dio lugar a todo un programa de Estados Unidos, con cooperación de Rusia, para establecer controles seguros sobre el material físil y para emplear científicos rusos en centros de investigación occidentales.

Los desechos producto de toda actividad nuclear son generalmente radioactivos. Deben ser tratados adecuadamente y contar con seguridad física, ya que, no solamente representan un peligro para la salud, sino que pueden ser robados y utilizados por terroristas para fabricar un artefacto rudimentario de dispersión de material radioactivo.

Con respecto a la proliferación nuclear, uno puede preguntarse si podrán agregarse países al club nuclear. Técnicamente esto es posible, pero ese estado debería desarrollar un plan en forma

clandestina, o retirarse del TNP. En cualquiera de los casos, el anuncio de ese país de que se suma al club nuclear llevaría aparejado su aislamiento diplomático y comercial de toda la comunidad internacional.

Una situación muy común es que un estado declare que domina la tecnología nuclear a nivel laboratorio, por ejemplo, para producir materiales físiles. De esta forma, el mensaje que da es aceptable: poseo la tecnología, pero no la aplico, porque soy firmante del TNP.

¿Es posible pensar en un desarme nuclear? No a corto plazo. El artículo VI del TNP continuará siendo un tema pendiente, sujeto a la mera voluntad de las potencias nucleares. En este caso, no hay presión internacional que pueda influir.

¿Se pueden esperar nuevos desarrollos tecnológicos en el tema de las armas nucleares? Sí, es posible, pero es muy difícil inferir su naturaleza dado el sumo secreto que rodea estos desarrollos.

De todas formas, la base teórica seguiría siendo la misma, y los efectos también.

Finalmente, qué tan segura es Argentina con respecto al uso de la tecnología nuclear. Vale aquí, entonces, hacer referencia a la seguridad de las instalaciones nucleares argentinas. En otras palabras, ¿es posible aquí otro Chernóbil? Como en cualquier actividad humana, el riesgo "cero" no existe. Sin embargo, se puede afirmar que nuestros reactores han sido diseñados siguiendo las más estrictas normas de seguridad empleadas en el mundo: las IAEA Nuclear Safety Standards (https://www.iaea.org/resources/safety-standards). El riesgo de un accidente nuclear es del orden de $1x10^{-6}$ /año. Es decir, tendría que haber un millón de Atuchas para que hubiera un accidente nuclear por año.

Por último, ¿puede nuestro país desentenderse de las armas nucleares? Obviamente, no. Si bien Argentina y sus vecinos son firmantes del TNP, y América Latina es una zona declarada libre de armas nucleares, mientras existan armas nucleares en el mundo debemos entender su tecnología, evaluar sus posibles efectos y saber cómo reaccionar ante un ataque nuclear, por más improbable que éste sea.

(*) **Cnl (R) A OIM Dr Osvaldo Azpitarte:** Coronel retirado de Artillería, promoción 107 del Colegio Militar de la Nación. Egresado de la Escuela Superior Técnica como Ingeniero Químico, en 1993. Egresado del Instituto Balseiro (CNEA), como Ingeniero Nuclear, en 1993. Doctor en Ingeniería Nuclear, por el Instituto Balseiro, en el año 2003.

1.5

Armas de destrucción masiva Riesgos y amenazas QBRN

Por el Coronel I (R) Ing Mil "VGM" Juan Carlos Villanueva*

Temario

1. Introducción 154
2. Riesgos y amenazas de las ADM 156
3. Aspectos que favorecen el desarrollo y empleo de las ADM 157
4. Interrogantes básicos: riesgos y amenazas de ADM 163
5. Amenaza de empleo militar de ADM en el marco regional 164
6. Amenaza del terrorismo empleando ADM 165
7. Evaluación de amenazas 167
8. Concepto de "sorpresa tecnológica" 179
9. Conclusiones 182
10. Bibliografía de interés 185

Abstract

Pese al rechazo generalizado de la comunidad internacional, frente al empleo de armas químicas en la Primera Guerra Mundial, solo unas décadas después, el efecto devastador de las bombas nucleares lanzadas en Hiroshima y Nagasaki, generó que las grandes potencias iniciaran una carrera por la posesión de estas armas disruptivas, capaces de desbalancear cualquier confrontación bélica futura. Por imitación, muchos países consideraron imprescindible disponer también de armas de destrucción masiva (ADM) en sus arsenales, dando lugar a una delicada situación de inestabilidad latente ocasionada por la proliferación de estas armas, lo que presagiaba múltiples escenarios de conflicto. En la actualidad, pese al esfuerzo de los Organismos de Control multilaterales, la opción de una confrontación nuclear a gran escala ha dado lugar a nuevos escenarios, en los que actores estatales y no estatales, de los más diversos orígenes e intereses, se encuentran en capacidad de desarrollar, obtener y hacer uso de ADM, de acuerdo con sus necesidades, ambiciones o simplemente para sembrar el terror. En el presente trabajo realizamos una descripción general de los riesgos y amenazas que las ADM conllevan y desarrollamos algunas alternativas para abordar la evaluación de estas amenazas, tendientes a minimizar el efecto de la sorpresa y poder responder frente a un ataque de estas características.

PALABRAS CLAVE: Armas de destrucción masiva (ADM) - Defensa QBRN – Proliferación - Organismos de no proliferación - Terrorismo – Bioterrorismo - Evaluación de amenazas QBRN – Sorpresa tecnológica

Introducción

"La primera enseñanza de las Bombas Atómicas de Hiroshima y Nagasaki, es que, si uno dispone de armas terribles y peligrosas, existe una alta probabilidad de que estas se usen..."[1] (Peter Kuznic[2]).

Los conflictos armados que han ocurrido entre países desde la Convención de La Haya (1899), Protocolos de Ginebra (1927) y los acuerdos internacionales posteriores, se han desarrollado normalmente enmarcados en aspectos relacionados con el alcance de Leyes Humanitarias, reflejadas en dos aspectos principales[3]:

1º. Existen estándares de protección de las víctimas de los hechos de guerra (tanto de civiles, combatientes heridos y prisioneros de guerra).
2º. Están enmarcados por las limitaciones prescriptas respecto de los medios y los métodos con los cuales se lleva adelante la confrontación.

Pero lo cierto es que los conflictos pasan a la fase de la acción armada, cuando las instancias diplomáticas se han agotado, y entonces la partes en disputa deciden que "la fuerza dará la razón".

A partir de ese momento, el marco de leyes y regulaciones establecido y acordado normalmente es desafiado por los desarrollos tecnológicos y el despliegue de nuevos sistemas de armas, cada vez más sofisticados y letales. Y es por esa razón que, pese a todos los acuerdos que puedan estar en vigencia, normalmente la amenaza de las ADM en todas sus formas, se presentan como alternativas de gran interés para muchos actores involucrados en diferentes escenarios de conflicto.

Cualquier situación de confrontación en la que los contendientes emplean ADM genera por sí sola gran preocupación y temor. Solemos preguntarnos cuál es la razón por la que el hombre está preparado para asumir los efectos de muerte y mutilación de las armas convencionales y hasta incluso consideradas "más aceptables".

Por el contrario, existe un rotundo rechazo a ser atacado por ADM que, a diferencia de las armas convencionales, basan su letalidad tanto en componentes químicos y la radiación que alteran el funcionamiento del cuerpo humano, como en patógenos y toxinas, que causan estados de lenta agonía y secuelas de por vida en el mejor de los casos.

La historia reciente presenta evidencias contundentes del temor que genera la amenaza de algo que no vemos, contra los que tenemos escasas defensas y que hasta suele ser considerado inmoral, para su uso como herramienta letal en las guerras, inevitables entre los seres humanos.

Pero lo cierto es que entre la Primera Guerra Mundial y la Guerra del Golfo Pérsico (2003), si bien existía la amenaza latente de empleo de ADM, los enormes stocks existentes en las grandes potencias, obraban en sí mismos como herramientas de disuasión entre las partes.

---

1 Martín Lema. "Guerra Biológica y Bioterrorismo".(2000). Kindle Edition

2 Peter Kuznick, Professor of History and Director of the Nuclear Studies Institute at American University

3 Neringa Mickevičiūtė. "Lessons from de past for weapons of future". (2016). International Comparative Jurisprudence

Por esta razón, el escenario de empleo de ADM en un conflicto militar no se veía como algo cercano y en muchos casos, no estaban entre las prioridades de equipamiento, ni en la doctrina o la organización, ni en los recursos asignados para esa área, en las FFAA de los países del bloque occidental.

Ciertos eventos ocurridos después de la citada Guerra en Iraq demostraron que la utilización de ADM en hechos puntuales y en pequeña escala, tenía un tremendo efecto sobre el comportamiento de los individuos afectados o amenazados.

Porque sólo la posibilidad de su empleo maximiza el temor incluso en tropas adiestradas, lo que demanda, además, un gran despliegue logístico de costosos medios y equipos de protección, sensores y descontaminación.

Es evidente que, pese al rechazo que naturalmente generan las ADM, ciertos eventos muestran que la situación global presenta escenarios propicios y oportunidades cada vez mayores, para que determinadas facciones, grupos irregulares e incluso países hagan uso de este tipo de armas en un futuro cercano, principalmente de manera encubierta.

En determinadas situaciones, la letalidad, persistencia y efectos psicológicos de las ADM y los agentes que ellas emplean, así como facilidades para la obtención de sus precursores, constituyen opciones muy atractivas y de menor costo que las armas convencionales.

En las últimas décadas, muchos países han incorporado la capacidad de desarrollo y producción de armas QB (Químicas/ Biológicas) y sus precursores las tienen disponibles muchas veces de manera encubierta y en constante evolución, como una oportunidad para generar disuasión, recursos financieros, reforzar alianzas estratégicas y otras causas. Y están dispuestos a comercializarlas o ponerlas a disposición de quien las necesite, incluso para ser empleadas en operaciones de pequeña escala.

Observamos también que la naturaleza de la guerra está cambiando y que el empleo de ADM en conflictos de gran intensidad parece ser un escenario menos probable, excepto el caso de las grandes potencias.

Por el contrario, se prevé que la proliferación de las ADM encuentre en los conflictos asimétricos y en el ámbito del terrorismo el escenario más propicio para las guerras futuras.

Por lo expresado, toda sociedad organizada tiene la obligación de implementar un sistema eficiente de respuesta ante la amenaza de las ADM, con las cuales seguramente deberemos convivir en las próximas décadas.

Nuestra nación debe estar preparada para defenderse contra cualquier escenario de ataque con ADM. Y ello requiere tiempo de planeamiento, organización, asignación de recursos específicos y entrenamiento.

En el presente trabajo no tratamos específicamente *(excepto el caso de terrorismo o sabotaje)* lo relacionado con accidentes / incidentes que puedan ocurrir en instalaciones industriales, plantas de energía nuclear, laboratorios e industria farmacéutica, transporte de materiales peligrosos, etc., que también son riesgos existentes que pueden causar un enorme daño a la población o a la economía de un país[4].

No obstante ello, todas las capacidades que el Estado nacional *desarrolle para combatir la amenaza de las ADM* serán de enorme importancia y utilidad para colaborar en el caso de un incidente, como parte vital de las acciones de respuesta del Estado frente al desastre.

---

4 En agosto de 2007, en Gran Bretaña se produjo una fuga accidental en un laboratorio privado donde se experimentaba con nuevas vacunas. Esto dio lugar a un brote de fiebre aftosa, que generó gastos al estado, así como preocupación y medidas extraordinarias, por el riesgo generado para el ganado y la población. https://www.theguardian.com/uk/2007/aug/05/footandmouth.ruralaffairs#:~:text=An%20accidental%20leak%20of%20an,farming%20and%20the%20tourism%20industry.

Eventos renombrados como los accidentes de Chernóbil y Fukushima son muestra de ello, en los que los elementos con capacidad QBRN de las FFAA como *"First responders"*, han sido vitales en cada uno de los casos[5].

La única certeza que tenemos es que estos **riesgos/amenazas** pueden convertirse en una realidad.

No sabemos qué, cómo, dónde ni cuándo, pero sí efectivamente ocurren, *la presencia y acción de elementos orgánicos de las FFAA* con recursos y equipamiento específico, serán vitales para actuar de inmediato, a fin de minimizar los efectos de la agresión y colaborar en la gestión de los daños causados.

Terminología básica

A efectos de clarificar el alcance de algunos términos relacionados con el trabajo que llevamos adelante, nos pareció conveniente definir cierta terminología básica empleada. Consideramos adecuado adoptar como referencia, algunos de los términos establecidos en un reporte realizado por la *"National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine"*[6]:

- Riesgo ***(risk)***: Un evento, actividad, acción o elemento que nos expone a determinado grado de peligro o daño.
- Amenaza ***(threat):*** Un evento, actividad o acción de terceros que, en caso de concretarse, tiene la capacidad de generar peligro o causar daños.
- Vulnerabilidad: Combinación de circunstancias y/o acciones propias, que pueden generar daños o pérdidas propias provocadas por factores externos.
- Bioriesgo ***(biorisk)***: todo aspecto de la biología, las ciencias de la vida, biotecnología, y otros campos relacionados a esa ciencia, que expongan a determinado grado de peligro o daño.
- Bioamenaza ***(biothreat)***: el uso de la biología, las ciencias de la vida, la biotecnología y otros campos relacionados con esa ciencia, en una forma que presenta grandes posibilidades de generar peligro o causar daños.
- Riesgo químico: todo aspecto de las ciencias químicas, sus materiales, equipamiento industrial y otros campos relacionados con esa ciencia, que expongan a determinado grado de peligro o daño.
- Amenaza química: el uso de las ciencias químicas, sus materiales, equipamiento industrial y otros campos relacionados a esa ciencia, en una forma tal que su uso presenta la capacidad de generar peligro o causar daños
- Disuasión ***(deterrence)***: Generar una sensación de duda o temor al potencial agresor acerca de las posibles réplicas que sobre él se pueden producir en respuesta a su ataque, con la finalidad de desalentar una acción o evento. Esfuerzos para persuadir a un individuo (o grupo), al que no le resulta conveniente para su propia seguridad tomar determinado curso de acción.

Riesgos y Amenazas de las armas de destrucción masiva

Muchos libros de historia militar muestran cómo ciertas predicciones acerca de los conflictos normalmente han fallado. La abundante bibliografía desarrolla cientos de casos en los que el conflicto ocurre de la manera y en el escenario menos esperado, con desastrosas consecuencias finales.

---

5 El accidente de Chernóbyl1 fue un accidente nuclear sucedido el 26 de abril de 1986 en una Central Nuclear en Ucrania. El accidente nuclear de Fukushima (Japón) sucedió el 11 de marzo de 2011 en una Central Nuclear, después de un terremoto de gran magnitud que, además, provocó un tsunami en la costa, lo que afectó seriamente la citada planta de producción de Energía.

6 "Strategic Vision: Bioogical Threat Reduction". National Academy of Sciences and Engineering. https://www.nap.edu/catalog/25681/a-strategic-vision-for-biological-threat-reduction-the-us-department

Y, en general, esto sucede por la dificultad que tienen las organizaciones para hacer un abordaje integral de los problemas, lo que implica el análisis e integración de todos los factores que, de una u otra manera, influyen para dar lugar a los resultados finales.

Relacionado con la incertidumbre y los pobres resultados que generalmente se tienen en las predicciones, particularmente para el ámbito de la Defensa, nos pareció acertado este mensaje extraído de un trabajo de la corporación RAND[7]:

"Cuando se trata de predecir la naturaleza y el escenario de nuestros próximos enfrentamientos militares, desde Vietnam nuestro historial ha sido perfecto. Nunca hemos acertado.

Desde Mayaguez a Granada, Panamá, Somalía, los Balcanes, Haití, Kuwait, Irak y otros más, un año antes de cualquiera de esos conflictos, no teníamos idea que nos veríamos combatiendo en ellas".

Secretario de Defensa de Estados Unidos, Robert GATES. Conferencia en la Academia Militar de West Point. 25 de febrero de 2011

El desarrollo extraordinario que ha tenido en las últimas décadas la investigación científica en el campo de la química y su aplicación a la industria, así como la expansión de la biotecnología, han creado enormes oportunidades para mejorar los estándares de vida y salud de los seres humanos, cuando el uso de estos es con fines pacíficos. Lo mismo ocurre con los desarrollos nucleares, legalizados hoy en día para su empleo en la generación de energía, medicina y otros.

Pero también es cierto que los desarrollos en el campo QBN en manos inescrupulosas pueden tener objetivos letales, a través del empleo de componentes químicos, radiológicos, patógenos, toxinas y virus como armas.

Y hechos como el ataque al World Trade Center (11 de septiembre de 2001) o el atentado con gas Sarín en el metro de Tokio[8] (1995) nos muestran que si individuos o grupos extremistas disponen de cualquier tipo de arma de gran letalidad o simplemente para generar terror a su alcance, las emplearán. Y las ADM se presentan como instrumentos con condiciones "ideales" para ello.

Aspectos que favorecen el desarrollo y empleo de las ADM

Ya hemos citado como referencia del empleo de ADM a gran escala la utilización de Armas Químicas (AQ) en la Primera Guerra Mundial, en la *batalla de Ypres (1915).* El natural rechazo que sus efectos generaron entre la mayoría de los países fue dando lugar a acuerdos para la prohibición de su empleo. Sin embargo, en 1936 se utilizaron AQ, aunque en menor escala, por parte de Italia contra las tropas etíopes. Toda esa secuencia hacía presagiar el empleo de estas armas también en la Segunda Guerra Mundial, pero ello no ocurrió.

Más allá del empleo de ADM en la devastación de las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki, utilizando armas nucleares por parte de Estados Unidos en 1945, las armas químicas y biológicas no estuvieron presentes en la Segunda Guerra Mundial, exceptuando el uso de armas biológicas (AB) por parte de Japón en su conflicto con China entre 1938 y 194[59].

Pasaron más de 40 años, hasta que en la guerra Iraq – Irán en los años 80, se emplearon armas químicas en los campos de batalla, y se estima que Irán sufrió unas 100.000 bajas a causa de estas.

---

7 "Holistically assessing the future of warfare". RAND Corp https://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB10073.html

8 20 de marzo de 1995: miembros de Aum Shinrikyo perpetran el famoso ataque terrorista del metro de Tokio. De ejecución más compleja que atentados anteriores de la secta, algunos seguidores se filtraron consiguiendo dirigir los trenes. Se coordinaron con otros seguidores que entraron en los vagones con bolsas llenas de gas sarín, expulsaron su contenido agujereándolas con paraguas y salieron a toda prisa, mientras los conductores cerraban tras de sí las puertas de los vagones. Murieron 13 personas, se hirió de gravedad a otras 54 y entre 980 y 6.200 de forma leve.

9 https://www.nytimes.com/1995/03/17/world/unmasking-horror-a-special-report-japan-confronting-gruesome-war-atrocity.html

Esto llamó a la reflexión a los analistas militares a nivel mundial, debido a las ventajas que otorgaban estas armas en el campo estratégico y táctico. Se presentaban como una alternativa muy superadora de la "opción nuclear", que tanto caracterizó como herramienta de disuasión en los años de la Guerra Fría.

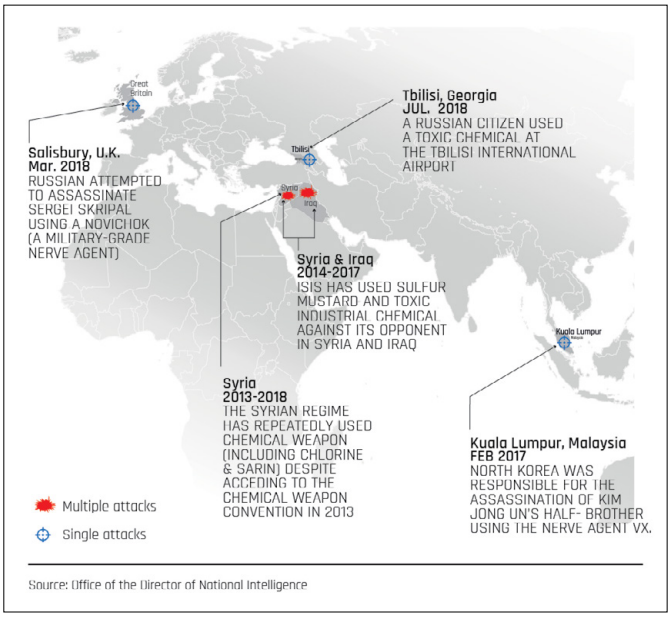
Las armas nucleares estaban limitadas a un muy selecto grupo de potencias mundiales, con liderazgo en el desarrollo de tecnologías avanzadas, aplicadas en armas y plataformas de lanzamiento. El aspecto clave de la utilidad de estas armas radica en la "disuasión" que su empleo potencial provoca, desalentando así a cualquiera de las partes a realizar el primer ataque. Porque lo cierto es que, entre países con capacidad nuclear, la réplica a un ataque llegará rápidamente, y una escalada de sucesivas réplicas lo único que asegura es la mutua destrucción, con consecuencias devastadoras para todo el planeta.

Por lo expresado, las armas químicas y biológicas se presentan como una opción más factible, de bajo costo, con mayor facilidad de obtención de sus precursores y componentes que pueden ser empleadas en determinados objetivos más puntuales, pero con efectos devastadores sobre la moral tanto de los combatientes como de la población civil. A tal punto que incluso comenzó a llamárselas "la bomba atómica de los países pobres".

En síntesis, estas armas QB otorgan la capacidad de disputar intereses estratégicos de los países con recursos escasos. Porque muchos de los componentes o materiales necesarios para el armado de ADM en pequeña escala, se encuentran disponibles en determinadas ramas de la industria e I&D que muchos países ya poseen.

Esto permite concluir entonces que, desde hace ya algunos años, se abrieron inesperados caminos para una etapa donde la proliferación, podría ser el nuevo escenario en el cual se vayan a "disputar muchas de las batallas" del futuro. La siguiente imagen nos da una visión global de lo expresado, particularmente para el caso de los últimos ataques ocurridos desde 2013, en los cuales se emplearon armas químicas.[10]

FIGURA 1: ATAQUE CON ARMAS QUÍMICAS DESDE 2013



Describiremos brevemente a continuación algunos aspectos que favorecen la **proliferación de las ADM.** Desarrollamos esta parte basándonos en un muy completo trabajo de JANE's *"World Review of CBW Offensive Threat Capability"*11.

10 Fuente: "Worldwide Threat assessment of the US Intelligence Community". D. Coarts. Director of National Intelligence.

11 JANE´s Information Group Ltd (2001). "World Review of CBW Offensive Threat Capabilities".

Acceso a la información tecnológica de ADM

El uso y las facilidades para el acceso a la información que hoy otorga internet, y en especial las herramientas específicas de IT *(Information Technology)*, facilitan de diferentes maneras la proliferación. El empleo de herramientas de Vigilancia Tecnológica, así como poderosos sistemas con capacidad de *data mining*, que buscan, clasifican y seleccionan información de calidad, e identifican las capacidades disponibles en laboratorios e instalaciones industriales de todo el mundo, resultan clave para ello.

Además, la disposición de determinados individuos altamente especializados en estas tecnologías genera un poderoso mercado ilegal al alcance de todos. Y para facilitar aún más las actividades ilícitas, las transacciones incluso pueden ser concretadas empleando sitios disponibles en la *"dark-web"*, la que, además, constituye una poderosa herramienta para reclutar terroristas y realizar acciones de propaganda[12].

Como restricciones principales, además del desafío que implica la realización de actividades encubiertas, por fuera del control de organismos de seguridad de los estados, existe un gran reto que deben afrontar los elementos terroristas: ¿De qué manera organizar la gran cantidad de información disponible, en un formato adecuado, que les permita realizar una eficiente explotación de esto?

Por esta razón, el reclutamiento de personal para las organizaciones normalmente incluye la incorporación de tecnólogo y científicos altamente especializados en las áreas de desarrollo específicas.

Con toda esa información disponible, adecuadamente procesada y explotada, la existencia de "proveedores" interesados en ofrecer sus servicios tanto a grupos terroristas como al fundamentalismo religioso, financiados incluso por determinados países, es lo que hace cada vez más *"difusa la línea"* entre guerra convencional y terrorismo.

Además, la amenaza de las ADM normalmente se desarrolla a través de una compleja serie de redes de contactos entre individuos, tanto tecnólogos como operativos, organizaciones, entes gubernamentales y países que, de una u otra manera, por negligencia u omisión, promueven o permiten el desarrollo, posesión y proliferación de estas capacidades y los recursos que ellas demandan.

Los organismos de control globales y locales - Los sistemas de verificación[13]

El **monitoreo y contro**l de los circuitos por los que se mueven estas disponibilidades / capacidades es esencial para poder realizar un seguimiento pormenorizado que debe incluir a los actores, sus conocimientos, la experiencia que adquieren en eventos en los que intervienen, así como los mecanismos que emplean en todo el proceso integral de desarrollo de sus ADM.

Lamentablemente, los sistemas de control legitimados por acuerdos internacionales dependen de la honestidad y buena fe de los países firmantes, en especial de la forma en que ellos mismos controlan el movimiento de componentes críticos para ADM en su propio país. En el Tratado de No proliferación (NPT), su Art VI deja librado a la "buena fe" de los estados un asunto de enorme relevancia como el desarme nuclear.[14]

Y la realidad es que muchos países son reticentes a ser sometidos a procedimientos de verificación, los que en mayor o menor medida resultan intrusivos y pueden poner al descubierto falencias en la seguridad de los países. En el caso de las armas biológicas, los países evitan com-

12 United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC), *The use of the Internet for terrorist purposes.*

13 JANE's Information Group Ltd (2001). "World Review of CBW Offensive Threat Capabilities".

14 https://www.un.org/disarmament/wp-content/uploads/2018/08/NPTSpanish_Text.pdf.

partir información sensible, aduciendo razones de preservación del "know-how" y la propiedad intelectual de los desarrollos.

Como mencionamos anteriormente, por fuera de los países también hay organizaciones dedicadas a desarrollar y comercializar estos materiales en *"zonas grises"*, donde el control es mucho más difícil. Obviamente, en ese caso, la única medida de control eficaz es una acción permanente de las agencias de seguridad propias, en coordinación con las de países vecinos y aliados, capaces de monitorear movimiento de materiales críticos.

La delgada línea entre las actividades de inteligencia encubiertas inter-agencias y la vulneración de derechos inalienables que tienen los ciudadanos en las democracias occidentales hace que sean estos últimos países los blancos ideales de este tipo de ataque con armas, en especial QB, y con objetivos puntuales.

Las acciones y el resultado final de todos los sistemas de control y vigilancia que tienen por misión detectar posibles actividades ilícitas desde sus inicios se ven seriamente condicionados por lo mencionado anteriormente.

Por ello, resulta vital que exista dentro de cada país una estrecha y franca relación estado – empresas, con rigurosos acuerdos de cooperación, así como la concientización de los ciudadanos, tendiente a minimizar el posible movimiento y uso delictivo de estos recursos para fabricar ADM.

La producción clandestina de agentes para ADM[15]

Los programas de armas químicas y biológicas con fines ofensivos comenzaron a crecer hacia la década de los 60 del siglo XX y se podría decir que alcanzaron cierto grado de madurez en los 80 cuando se emplearon agentes químicos y toxinas en diversos escenarios de guerra, como el enfrentamiento entre Iraq e Irán.

Hasta esa fecha no existían mecanismos de control y estaba vigente sólo la Convención de Ginebra de 1925. Para las armas biológicas, en 1972 se firmó la Convención de Armas Biológicas y Toxinas (CABT), con escasos resultados concretos.

Para cubrir ese vacío de control y regulatorio, en 1985 una serie de países conforman el *Grupo Australia*[16], verdaderos impulsores de la Convención de Armas Químicas (CAQ), que en 1993 pudo concretarse después de más de 20 años de negociaciones.

Más allá de los denodados esfuerzos por parte de los organismos internacionales de verificación y control para materializar los acuerdos establecidos, lo cierto es que, en algunos casos de países no firmantes, esos programas de desarrollo y producción de ADM continuaron expandiéndose y refinándose, y esto dio lugar a múltiples oportunidades de uso en otros escenarios o conflictos.

Existe un **Mercado ilegal global** relacionado con ADM y sus componentes, en el que la tecnología, materiales, conocimiento específico y diseño, así como las distintas formas en que todo ello puede ser obtenido, resulta una especial amenaza en manos del terrorismo internacional especialmente activo[17].

En el caso del desarrollo de **armas químicas**, la mayoría de los países han adherido a la CAQ. Sin embargo, la existencia de infraestructura específica relacionada con la industria química, así como el continuo desarrollo de industrias del rubro, facilita enormemente el desvío y empleo de determinados componentes o precursores, necesarios para el desarrollo de AQ, aún a escala menor.

---

15 JANE's Information Group Ltd (2001). "World Review of CBW Offensive Threat Capabilities".

16 El "Grupo Australia" es un acuerdo no oficial de países establecido en 1985, con la finalidad de ayudar a los países miembros a identificar aquellas de sus exportaciones que necesitan ser controladas para de esa manera no contribuir con la difusión de armas químicas y biológicas.

17 "Weapons of Mass Destruction Commission: War of terror". WMDC. Stockholm. Sweden. (2006). www.wmdcommission.org

Un aspecto que facilita ello es la disponibilidad de productos y tecnologías de "uso dual", ya que muchos componentes químicos y biológicos comercializados para su empleo con propósitos médicos o industriales, en manos de criminales pueden convertirse en peligrosas armas[18]. Existen ciertos productos químicos industriales que pueden ser empleados como carga letal para AQ. Sólo a modo de ejemplo, podemos citar al Fosgeno o el Cianuro de Hidrógeno *(Hydrogen Cyanide)*, producidos en plantas químicas industriales de todo el mundo.

Lo mismo ocurre con los **agentes biológicos** cuyo desarrollo, difusión y tráfico ilícito es mucho más sencillo y difícil de detectar, pese a la gran cantidad de países que adhieren a la CABT.

La verdadera "revolución" en biotecnología acarrea el riesgo de que se puedan desarrollar nuevas armas, creadas a partir de la recombinación genética. La industria farmacéutica, laboratorios biológicos y de investigación, incluso en organismos estatales específicos, hacen que la tarea de seguimiento y control de este tipo de amenazas sea de enorme dificultad y dudosa eficacia.

Sólo a modo de ejemplo, resulta muy complejo diferenciar una planta de fabricación de vacunas o farmacéutica, de una instalación de producción de agentes para Armas Biológicas (AB)[19].

Para el caso del desarrollo de **armamento nuclear**, existen países como Corea del Norte, India, Pakistán o Irán[20], que abiertamente avanzan en el desarrollo de tecnologías relacionadas con vectores que portan ojivas nucleares para su lanzamiento desde diversas plataformas. Pero, además de los citados países, existen otros que, bajo la cobertura de programas para el desarrollo de estas capacidades con fines pacíficos, generan serios interrogantes acerca de la posibilidad de movimiento ilegal o no debidamente monitoreado de determinados componentes críticos para estas armas.

Existe además gran cantidad de radioisótopos empleados en medicina, industria y otros que pueden convertirse en fuentes aptas para integrar un RDD *(Radiological Disperse Device)*. Esos Rradioisótopos[21], aun en pequeñas cantidades y en lugares inesperados, pueden ser empleados para la ejecución de operaciones irregulares o de terrorismo que son capaces de generar gravísimos incidentes, lo cual provocaría un estado de conmoción interna, en países no adecuadamente preparados para agresiones de este tipo.

Para citar un ejemplo de ello, en noviembre de 1995 un grupo de rebeldes Chechenos enterró un paquete de Cesio-137 en un muy concurrido parque de Moscú[22]. Para complementar lo anterior, es interesante destacar que el accidente de Chernóbil (Ucrania) del 26 de abril de 1986 liberó una enorme cantidad de radioisótopos entre los cuales se encuentra el Cesio-137[23].

Las nuevas tácticas de empleo y criterios de uso[24]

Como mencionamos antes, no debemos olvidar que, si bien es importante monitorear las capacidades del oponente para acceder a los componentes críticos de ADM, no debe dejarse de lado el análisis de los eventuales cambios en las tácticas de empleo de esas capacidades.

Para el caso de un enfrentamiento bélico entre países, si los beligerantes son firmantes de los acuerdos internacionales relacionados con las ADM, en caso de empleo de estas, se estaría

---

18 Elena Dinu. "Reassessing CBRN terrorism threats". (2019) SIPRI. *Stockholm International Peace Research Institute.*

19 "The worldwide NBC warfare threat". (2009) US ARMY Chemical School.

20 En el caso de IRÁN, no está probado que haya logrado avances en el campo de Armas Nucleares, aunque sí en el de vectores capaces de transportarlas.

21 Algunos de ellos: Cesio-137; Cobalto-60; Iridium-192; Plutionio-238; Selenium-75.

22 "Nuclear, biological and chemical warfare threat". US Amy Chemical School.

23 "WHO: Chernobyl Report". (2006) https://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/who_chernobyl_report_2006.pdf

24 "World Review of CBW Offensive Threat Capabilities". (2001). JANE's Information Group Ltd

incurriendo en una flagrante violación de esos acuerdos, con las consecuencias que en cada caso correspondan.

Para los países "no firmantes" de esos acuerdos, sus capacidades de empleo dependerán de la disponibilidad de las ADM (producidas y obtenidas), así como sus plataformas de lanzamiento tácticas y estratégicas. Estos países están razonablemente identificados, así como sus capacidades relativas, en gran cantidad de informes que anualmente realizan instituciones y organismos diversos.

Lo que siempre genera dudas es el manejo que estos países hacen de sus stocks de armas y precursores que pueden circular de diferentes formas entre sus aliados y potenciales "clientes".

Por lo expresado, actualmente se analiza y planifica con mayor énfasis el caso particular de escenarios en que las amenazas de ataque del adversario u oponente son realizadas mediante el empleo de sus medios y tácticas en las denominadas **"zonas grises"** *(grey zone tactics).*

Este tipo de ataques se realiza con la intervención de individuos/ organizaciones que operan en forma encubierta, sin frentes definidos y enmascarando la agresión en conflictos de tipo social, económico, étnico, limítrofe o religioso. Algunos indicios de operaciones en "zonas grises" se suelen encontrar en el surgimiento de determinados conflictos limítrofes, el incremento de la violencia social, la batalla en el campo de la información, la aparición de ciertos elementos irregulares, así como la ejecución de operaciones especiales encubiertas para atacar objetivos de carácter local o regional.

Y cuando un hecho grave de este tipo ocurre, las acciones de respuesta que deben realizar los organismos del estado como réplica al ataque recibido requieren de una rápida y agresiva acción de búsqueda de los responsables del ataque, los que normalmente operan de manera encubierta entre la población civil.

Esas acciones de los elementos de seguridad de los estados, por lo general, requieren controles "en fuerza", allanamientos, escuchas, vigilancia e inteligencia y hasta acción agresiva en algunos casos, las que normalmente son presentadas como ilegítimas y violatorias de los derechos individuales de los ciudadanos.

Todas estas acciones son profusamente difundidas en los medios, normalmente como "acciones represivas desproporcionadas" por parte de los gobiernos. Esto va generando una actitud de duda y extrema cautela e incluso inacción en las fuerzas del orden, lo que obviamente favorece las operaciones del agresor.

Lo expresado resulta una ventaja formidable para elementos extremistas que disponen de agentes propios, fuentes de financiamiento externo y lo que es más importante, mucho tiempo, generalmente años, para planificar sus ataques con extrema precisión y eficacia. Por esa razón, estas acciones en las que son empleadas ADM, normalmente tienen como objetivos de interés países con regímenes democráticos y republicanos.

Finalmente, podemos afirmar entonces que la posibilidad de operar en "zonas grises" empleando diferentes tipos de ADM presenta una alta probabilidad de ocurrencia en futuros conflictos.

Cómo la situación global puede favorecer la proliferación de ADM

La **urbanización** y las **megaciudades** son objetivos estratégicos ideales para el empleo de las ADM, en los que una acción que demanda escasos recursos para concretar un ataque exitoso pueda tener consecuencias catastróficas.

No puede dejar de considerarse una amenaza la existencia de problemas medioambientales como la escasez de agua o la tendencia de la población mundial a vivir en grandes conglomerados,

lo que hace al ámbito urbano el escenario más probable, en el cual fuerzas irregulares terroristas llevarán a cabo sus acciones terroristas.

En la medida que la población sea cada vez más urbana resultará más difícil para las autoridades estatales el mantenimiento de la ley y el orden y, en caso de producirse una acción terrorista, resulta extremadamente compleja la diferenciación entre blancos civiles o militares, por lo expresado en el punto anterior en relación a las operaciones en "Zonas grises".

Además, en las naciones democráticas y particularmente en los grandes conglomerados urbanos, la sociedad se masifica con mayor facilidad, manifestando un natural rechazo a la imposición de restricciones a sus libertades individuales, amparándose siempre en lo que prescriben las garantías constitucionales de esos países.

El acceso a la comunicación mediante redes sociales puede generar movilizaciones inesperadas y puntos de conflicto en escasos minutos. Y en una acción terrorista el pánico se manifestará en pocos minutos. Podemos citar el caso del atentado en el metro de Tokio en 1995, donde a los pocos minutos del hecho, los hospitales de esa ciudad se vieron sobrepasados por la cantidad de personas que demandaban urgente atención, al creer que habían sido afectados.[25]

Por ello, ante la eventualidad de una acción terrorista en ámbito urbano debe tenerse en cuenta que las condiciones serán completamente diferentes que las presentadas en un conflicto militar convencional. En ámbito urbano, los elementos especializados de las Fuerzas Armadas en combate QBRN, actuarán a orden y en apoyo de los organismos del Estado a cargo de la situación.

Todos los aspectos presentados de manera muy sintética en los puntos anteriores deben ser analizados integralmente, sin olvidar la importancia de los "actores de interés" del problema, por el papel que ellos juegan, en todo el proceso de planeamiento del ataque y su ejecución (actor agresor) y la contraparte (actor blanco) en el proceso de prevención, contramedidas y respuesta.

El actor agresor con sus acciones participa en el desarrollo, obtención, adquisición, movimiento y finalmente empleo de las ADM para cumplir sus objetivos, provocando terror o afectando intereses de la Nación.

Pero también el actor blanco participa en todas las etapas de planeamiento, desarrollo de las capacidades necesarias y ejecución de acciones para materializar una respuesta eficiente frente al ataque con ADM. La falta de cumplimiento de las previsiones mencionadas dará lugar a vulnerabilidades que serán ingeniosamente explotadas por el atacante.

Los Agentes QBNR que se emplean o los medios de dispersión para el lanzamiento de estos son simplemente las "herramientas y medios" para canalizar la acción. Muy importantes por cierto porque afectan la capacidad de respuesta del actor blanco y hasta podrían resultar decisorias en el caso de operaciones militares de envergadura, como el lanzamiento de bombas con carga nuclear en Hiroshima y Nagasaki en 1945.

Pero lo relevante de las ADM es la **decisión de atacar.** El arma a emplear no constituye un fin en sí mismo.

Interrogantes básicos: riesgos y amenazas de ADM

Identificando los "actores de interés", estaríamos teniendo una visión acotada del tema por lo que, además, deberíamos comenzar cualquier análisis contestando algunas preguntas:

- **¿Dónde será peleada la "próxima batalla"?**
  - Espacio físico donde ocurrirá el evento

25 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9660289/

- **¿Qué características tendrá?**
  - Cómo serán los riesgos / Amenazas QBN a enfrentar

- **¿Quién será el actor agresor que la generará?**
  - ¿Cuáles son los potenciales enemigos /amenazas / riesgos?

- **¿Por qué motivos ocurrirá?**
  - Razones que pueden motivar que suceda ese evento

- **¿Quiénes serán los que actuarán en ella? (de parte del actor blanco)**
  - En las diferentes etapas: desarrollo de capacidades; prevención; respuesta; gestión de los daños
  - Quiénes intervendrán en esas acciones: entes, organismos, recursos que intervendrán

- **¿De qué forma será enfrentada? (por el actor blanco)**
  - Organizaciones – RRHH y medios – Tecnología – Doctrina - Integración de organismos del estado - Ciudadanía

A efectos de realizar un **abordaje más integrador** del tema, se podrían incluir otros interrogantes tales como:

- ¿Qué elementos / componentes / organismos propios harían frente a la amenaza?
- ¿Qué recursos (Humanos – Tecnologías – Infraestructura - Materiales – Económicos) mínimos se debería disponer?
- ¿Quién tomará a su cargo la conducción de las operaciones?
- ¿Cuáles son las coordinaciones imprescindibles entre organismos participantes?
- ¿Cuál es el marco normativo / legislación aplicable en estos casos que contemple la participación de las FFAA en las acciones?
- ¿Qué organismos intervienen activamente en las etapas de mitigación de los efectos y recuperación de los daños?

La respuesta y desarrollo de los tópicos que vayan surgiendo de cada uno de estos interrogantes serán básicos para iniciar un proceso de Planeamiento Estratégico del tema que nos ocupa.

Amenaza de empleo militar de ADM en el marco regional

Tomamos como referencia la información extraída de un estudio de JANE"s *"World Review of Offensive CBW Threat Capability"*[26], en el que se analiza la situación global y regional. El informe presenta a los países separados por grupos y por regiones, de acuerdo con las relaciones existentes entre ellos.

El desarrollo del trabajo y el análisis de las diferentes regiones y los respectivos países se sustentan en dos aspectos principales:

- La situación regional en lo relacionado a inventario y stocks de ADM, así como el esfuerzo de I&D específico. (Capacidades de I&D desarrolladas; logros alcanzados; si se han cumplido los acuerdos de desarme respectivos en las áreas QBN; estado de situación de estas en la actualidad.)

---

26 World Review of CBW Offensive Threat Capabilities".(2001). JANE's Information Group Ltd

> La predisposición existente en esa Región para el empleo de ADM

Para el caso de **América del Norte, Centroamérica y América del Sur** se concluye que el riesgo de un conflicto militar en el que se empleen ADM es extremadamente bajo.

Los fundamentos son:

Cuba es el único país que aún dispone de stocks de proyectiles con agentes químicos, remanentes de la época de asistencia Soviética. Existen alegaciones de uso de AQ en Angola, al ser Cuba el país que asistió a las tropas rebeldes en aspectos de defensa QB[27]. Sin embargo, estas nunca han sido probadas por los entes internacionales de control. Se estima, además, que Cuba mantiene la capacidad básica necesaria para emplear armas químicas (AQ), en caso de una eventual invasión por parte de Estados Unidos. Es interesante, además, destacar que Cuba ha implementado la organización de un sistema de defensa QBRN y mantiene aún una estructura y medios D-QBRN con personal adecuadamente adiestrado y alistado.

Respecto del resto de los países, podría existir limitado riesgo de empleo de ADM en Centroamérica, donde aún persisten diferentes tensiones, pero mayormente por razones políticas y sociales.

Todos los países de **América Latina y el Caribe** han firmado y ratificado la CWC[28]. Lo mismo ocurre con la BWC, excepto **Panamá** que no es signatario de esa Convención.

Asimismo, los países de la Región firmaron el **Tratado de Tlatelolco**, para la No proliferación de Armas Nucleares en América Latina y el Caribe.[29]

Por lo expresado y teniendo en cuenta la información de carácter público que se dispone, el citado informe estima[30]:

> Que la capacidad de empleo de ADM en la región es baja.
> La predisposición de los países de la región de emplear ADM en caso de conflicto militar también es baja.

Amenazas del terrorismo empleando ADM

La acción de los movimientos terroristas en todo el mundo continúa teniendo vigencia. Considerando los grupos conocidos como Al-Qaeda, Hezbollah, IRA, ETA y en los últimos años ISIS (Estado Islámico), lo cierto es que, en la mayoría de los casos, los atentados son realizados mediante las formas consideradas clásicas, ya sea mediante el empleo de IED[31], vehículos cargados con explosivos o empleando armas de fuego.

Un caso especial e inesperado por sus características y magnitud, es el conjunto de acciones de ataque terrorista coordinadas del "11-S" *(11Set01)*, a objetivos estratégicos de Estados Unidos. La vulnerabilidad del sistema de defensa de ese país evidenciada en el ataque obligó a una revisión integral de su renombrado NORAD[32].

Pero en opinión de los expertos, el empleo de ADM para ejecutar atentados es mayormente rechazado, incluso entre facciones terroristas, quienes en muchos casos consideran más legítimo el empleo de artefactos explosivos, que la dispersión de un Agente QBRN, para provocar

---

27 "World Review of Offensive CBW Threat Capability". (2001). JANE's Information Group Ltd.

28 https://www.armscontrol.org/factsheets/cwcsig

29 Tratado para la proscripción de Armas Nuclear en América Latina y el Caribe. (1967). (Tratado de Tlatelolco).

30 "World Review of Offensive CBW Threat Capability". (2001). JANE's Information Group Ltd.

31 IED: Improvised Explosive Device.

32 NORAD: North American Aerospace Defense Command.

víctimas de manera indiscriminada y sin siquiera poder cuantificar la magnitud del daño a causar. Existe una opinión muy negativa y un fuerte rechazo que el empleo de estas armas genera, llegando incluso los atacantes a perder "legitimidad"[33] ante la opinión pública y sus posibles adherentes.

El caso de los atentados del culto *"Aum Shinrikyo"* en Japón entre 1993 y 1995 tuvo al parecer motivaciones relacionadas con una visión apocalíptica de la situación de ese país y la necesidad de reformular todo a través del caos. Se concluyó que a esa Secta ni siquiera le preocupaba el descrédito que sus acciones podían provocar.

No obstante lo expresado, podemos observar el resurgimiento tanto en Europa como en Estados Unidos de grupos directamente relacionados con ideas anarquistas, de extrema violencia que no responden ni a las izquierdas ni derechas tradicionales, filo-nazis y hasta grupos cultores del "doomsday"[34]. Todos estos grupos, que reclutan entre sus filas mayormente a jóvenes, se estima que pueden considerar a las ADM como una herramienta alternativa de interés para el logro de sus fines.

Suele también llamarse a este tipo de grupos que surgen, como el "Nuevo Terrorismo" porque, en general, no tienen ideas políticas determinadas, consideran que todos los sistemas de gobierno de los países han fracasado, y su objetivo final es casi "fundacional" y en contra de todo orden vigente en la actualidad.

Está profusamente registrado y analizado, además, la utilización en los últimos años de agentes QB para el asesinato selectivo por razones políticas. El más reciente de ellos fue el empleo del agente neurotóxico *"Novichok"* para intentar asesinar al ex doble agente soviético *Sergei Skripal* y su hija en Londres en Mar 2018[35].

Podemos considerar que estos últimos casos, como también el caso de *Kim Jong Nam*, asesinado con agente neurotóxico VX en el aeropuerto de Kuala Lumpur (Malasia) en febrero de 2017[36], son casos aislados, ejecutados sobre blancos muy determinados, que por las características de la acción y del "blanco", sugieren algún tipo de asistencia e involucramiento de los países relacionados con las víctimas y los agentes QB empleados.

Pero normalmente, para el resto de las organizaciones terroristas, en especial las "sub-estatales", lo cierto es que las ADM tienen una serie de restricciones que dificultan su empleo de manera eficiente más allá de su relativo bajo costo o facilidad de obtención de los precursores.

Esas restricciones se relacionan con el desarrollo y gestión de los agentes, el diseño y empleo de sistemas de dispersión eficientes, necesidad de financiamiento, así como formación de cuadros en operaciones especiales, entre otros aspectos. Esta serie de restricciones a superar es lo que ha motivado que los terroristas "tradicionales", normalmente persistan con el empleo de los viejos métodos y agentes QBN suficientemente probados y asuman incluso las eventuales debilidades que los mismos tengan.

Pero como mencionamos anteriormente, la extraordinaria difusión del conocimiento, antes reservada al ámbito científico permitirá que las barreras tecnológicas que dificultan hoy a los grupos terroristas el empleo de ADM, se vayan diluyendo gracias a las facilidades de acceso a las tecnologías necesarias para el desarrollo de estos sistemas letales.

---

33 Legitimidad que no tiene "per se" ninguna acción de esas características. Pero es cierto también que en muchos casos de países con regímenes dictatoriales o incluso democracias débiles, los atentados han sido justificados por parte de la población, como actos necesarios "para la Causa".

34 "Doomsday" o "Grupos del fin del mundo".

35 https://www.gov.uk/government/news/novichok-nerve-agent-use-in-salisbury-uk-government-response.

36 https://www.theguardian.com/world/2019/apr/01/how-north-korea-got-away-with-the-assassination-of-kim-jong-nam.

Por esta razón, las autoridades de los países deben realizar tareas de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Estratégica, para detectar a estos grupos incipientes desde la etapa de su formación. Ello permitirá neutralizar su accionar, en lo posible antes que el mismo ataque se produzca.

Como dice un conocido lema, **"los sistemas de seguridad deben ser exitosos siempre. El Terrorismo, tiene que ser exitoso una sola vez".**

Evaluación de amenazas

Aspectos conceptuales

El informe del US National Intelligence *"Worldwide threat Assessment of the US Intelligence" (2019)*[37] concluye que debe esperarse que continúe la amenaza global de ADM al observarse particularmente un crecimiento en el empleo de Armas Químicas (AQ).

Destaca que entre 2013 y 2018 los casos de ataques con ADM registrados fueron específicamente con AQ[38], siendo estos tanto ataques masivos a poblaciones civiles en localidades como ataques puntuales sobre individuos por razones políticas[39].

Otra característica para destacar de estos ataques con AQ es que se han empleado tanto agentes antiguos y ampliamente conocidos como el Gas Mostaza o el Sarín, químicos industriales como el cloro, además de otros, como los extremadamente letales agentes neurotóxicos, algunos de los cuales han provocado "Sorpresa Tecnológica" cómo el Novichok utilizado en el intento de asesinato del doble agente Ruso-UK Sergei Sktipal y su hija en Londres (2018), y existen todavía sospechas de su empleo además en el asesinato del banquero Ivan Kivelidi y su secretaria en Rusia en 1995.[40]

Estos hechos han puesto en evidencia diferentes formas de vulnerar lo establecido en la CWC y desafían abiertamente la capacidad y eficacia de los mecanismos de control implementados (OPCW).

Las **Armas Biológicas (AB)**, por su parte, presentan un desafío aún mayor, debido al "uso dual" de la infraestructura industrial, las tecnologías y los materiales que se emplean, que resultan muy difíciles de detectar cuando están siendo utilizados para fines "prohibidos". Y lo cierto es que la biotecnología es una de las ramas científicas más promisorias para proporcionar a los seres vivos excepcionales beneficios y mejoras en sus condiciones de vida, pero desgraciadamente abren también la puerta para el desarrollo de nuevos agentes de guerra biológica que puedan amenazar la seguridad alimentaria o degradar los sistemas biológicos de los humanos. Y en caso de ser empleados en un ataque, causarán "sorpresa tecnológica" también. Sin embargo, su empleo eficiente como arma aún resulta más complejo que las AQ, por lo que se estima que estas últimas serán más factibles de ser empleadas.

Como expresamos anteriormente, la probabilidad de ser atacados con ADM es una realidad global que no podemos descartar. En nuestro país, después de las acciones terroristas de la década de los 70, suponíamos que estábamos en una "Región de paz", alejados de las amenazas que el extremismo global, político o religioso, provocaba en otras regiones del planeta.

---

37 Worldwide threat Assessment of the US Intelligence" (2019) US National Intelligence.

38 2014-17: Siria empleó cloro y Sarín contra poblaciones civiles opositoras al régimen – 2013-18: Siria/Iraq. ISIS emplea gas mostaza y químicos industriales contra opositores. 2017: Malasia: asesinato del ciudadano coreano Kim Jong Um con Ag neurotóxico VX – Mar 2018: UK. Asesinato S. Scrypal con Novichok.

39 "Timeline of Syrian Chemical Weapons Activity". Arms Control Association. https://www.armscontrol.org/factsheets/Timeline-of-Syrian-Chemical-Weapons-Activity. (Last review May 2020).

40 Carlos H. Trentadue. "Guerra de nervios: Los agresivos neurotóxicos en el contexto del renacer de la guerra fría entre Rusia y el resto de Europa" (2018). TEC1000- 2018. Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Mosconi (CEPTM). Facultad de Ingeniería del Ejercito Argentino (FIE). http://www.ceptm.iue.edu.ar/tec1000-18/

Hasta que fuimos "sorprendidos" por los atentados a la Embajada de Israel (1992) y a la Mutual AMIA (1994), sin la debida prevención y medios de respuesta frente a hechos de esa magnitud y características.

Deberíamos haber aprendido la lección. La situación global de proliferación y acceso a este tipo de armas se ha incrementado, por lo que descartar la posibilidad de ser objetivo de una agresión con ADM en un futuro cercano, sería como mínimo, inocente.

En el caso de nuestro país que, por diversas razones, no ha priorizado la obtención de capacidades para la defensa contra ADM, se debería trabajar en un proceso de planeamiento que permitiera al menos determinar: Estado de situación actual, - Evaluación integral de las potenciales amenazas (actuales y futuras) - Capacidades que resulta necesario obtener (prevención y respuesta) – Recursos demandados.

Existen varios caminos posibles para abordar el tema y solo a modo de ejemplo describiremos algunos de ellos. Una de las formas es la **consulta a expertos** en la materia, para que a partir de sus opiniones sobre diversos interrogantes claves, se pueda disponer de una primera aproximación a la situación.

Tomamos como referencia, un trabajo realizado en el año 2005 denominado **"Lugar Survey on Proliferation Threats and Responses"**[41].

En el mismo se expresa que la guerra al terrorismo se desarrolla en un mundo donde han proliferado las ADM y el acceso a ellas por parte de elementos "no estatales", se ha visto muy facilitado y, seguramente, se incrementará en los próximos años.

El trabajo desarrolla entonces una serie de **consultas a expertos**, para que opinen acerca de la posibilidad de ocurrencia (expresadas en %) de determinados tipos de ataques con ADM, así como otros aspectos como la obtención de capacidades y el financiamiento.

Los ítems consultados para opinión de los expertos fueron:

- **Amenaza de ataque nuclear:**
  - Probabilidad de ataque armas / agentes nucleares en los próximos 5 y 10 años.
  - Escenario posible del ataque nuclear: entre gobiernos o por elementos terroristas.
  - De qué manera los terroristas acceden al material nuclear: Estados - Robo - Mercado Negro (MN) - MN & Estado - MN & robo.
- **Amenaza de ataque armas biológicas. (Desagregado de preguntas similar a nuclear)**
- **Amenaza de ataque armas químicas. (Desagregado de preguntas similar a nuclear).**
- **Amenaza de ataque radiológico. (Desagregado de preguntas similar a nuclear).**
- **Esfuerzos del Estado para hacer frente a la amenaza de las ADM:**
  - Inversión específica para hacer frente ADM: Debería aumentarse – disminuirse.
  - Si sobre la base de qué escenario probable deberían asignarse más recursos para adquirir las capacidades necesarias: Ataque terrorista - enfrentamiento militar ambiente QBN.

Complementando lo anteriormente expuesto, respecto del "Proceso de Evaluación de Amenazas", la WMDC[42] reconoce la amenaza de las ADM como de tres tipos posibles[43]:

- De las ADM desarrolladas / existentes en países: Uso deliberado, accidente, fallas de cálculo, vulnerabilidades de inteligencia, robo, uso no autorizado.
- Por su transferencia de un país a sus aliados: cesión, venta, etc.

---

41 Sen Richard Lugar. "Lugar Survey on Proliferation Threats and Responses". (2005). Chairman, Senate Foreign Relacions Committee.

42 WMDC (Weapons of Mass Destruction Commission).

43 Dr O. Aspitarte, Dr J. Ferrero. "Prevención y respuesta de incidentes con ADM". (2010). Posgrado Regional en Desarme y No Proliferación.

> Por la posible obtención de grupos terroristas: Cesión de un tercero, adquirida en el mercado ilegal.

Sobre esa base y para ampliar el tema, tomamos algunas ideas del trabajo de la WMDC "Bioterrorism and Threat Assessment"[44]. Si bien este trabajo se refiere particularmente al empleo de armas biológicas por parte de grupos terroristas, consideramos que puede ser aplicado conceptualmente al ámbito de las AQ o AN.

Encuadrar el problema

Sin una adecuada definición del problema, en este caso la amenaza que será evaluada, probablemente las decisiones que se adopten sean erróneas. Para el caso de las Armas Biológicas (AB), como expresamos anteriormente, si bien los virus, bacterias y toxinas pueden ser riesgosos, no constituyen armas en sí mismas. Para su *"Weaponization"*[45], deben ser integradas a un sistema que las convierta en AB. Y lo mismo ocurre para las nucleares o químicas.

El primer paso que se establece es definir lo que se considera la amenaza a enfrentar.

En el citado trabajo definen entonces al ***bioterrorismo***, como: "el uso por parte de actores no estatales de microorganismos (patógenos) o productos de organismos vivos (toxinas) para infligir daños en la población".[46] Y, además, se dejan de lado discusiones de orden académico u opiniones políticas, concentrándose en lo que debe ser el foco de la discusión: **el empleo por parte de actores no estatales de armas biológicas**[47].

Variables que intervienen en la evaluación de amenazas

Continuando con la referencia del trabajo citado, el mismo expresa que una inadecuada evaluación de las amenazas dará lugar a malas decisiones políticas futuras. Y tal vez el principal error sea pensar en la amenaza del bioterrorismo, considerando solo la letalidad de los agentes que se emplearán. O considerando sólo la probabilidad de su ocurrencia.

El más letal de los patógenos será inútil si los que lo emplean no tienen los conocimientos ni las habilidades ni los medios para transformarlo en arma. Por el contrario, el más criminal de los grupos terroristas fallará si no emplea los agentes adecuados en el sistema de arma más conveniente y sin los conocimientos necesarios.

Y sobre la base de ese marco conceptual se pueden identificar y establecen las siguientes relaciones:

> **AMENAZA BIOTERRORISMO = Consecuencias del ataque * Probabilidad de ocurrencia**

Cada uno de esos elementos a su vez pueden ser divididos en:

> **CONSECUENCIAS DEL ATAQUE = Valor de los objetivos atacados * Riesgos propios del agente empleado * Vulnerabilidades del objetivo.**
> **PROBABILIDAD DE OCURRENCIA = Motivación de los Terroristas * Capacidades para el ataque.**

---

44 G. Akerman and G. Morán. "Bioterrorism and Threat Assetsment". (2004). Weapons of mass Destruction Commission (WMDC).

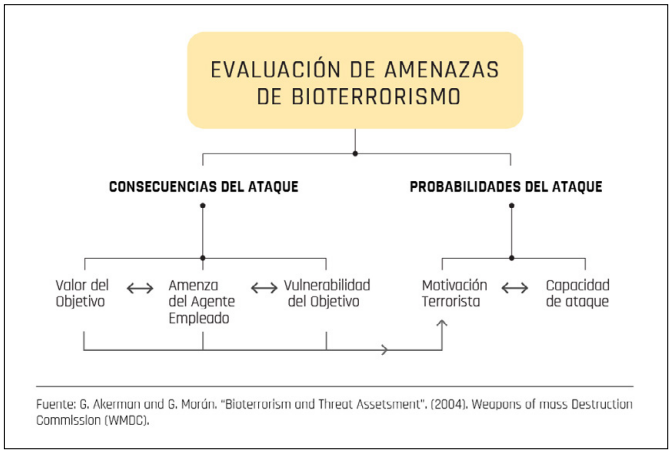
45 Traducción libre de un término que en una sola palabra define *"Transformación en un arma"*

46 G. Akerman and G. Morán. "Bioterrorism and Threat Assetsment". (2004) Weapons of mass Destruction Commission (WMDC). Pág. 3

47 Idem anterior.

La relación entre los términos de esas ecuaciones se analizó en un seminario interdisciplinario organizado por el *"Center for Nonproliferation Studies of Bioterrorism Threat Assesment and Risk Managment"*[48] y que dio lugar al esquema que se presenta a continuación:

FIGURA 2: AMENAZA BIOTERRORISTA: CONSECUENCIAS DEL ATAQUE * PROBABILIDAD DE OCURRENCIA. (FUENTE).[49]



Dos aspectos importantes se pueden deducir del diagrama. Estos están desarrollados en el citado trabajo y se pueden resumir en:

Primero: Ninguno de los elementos actúa independientemente y, por la naturaleza propia de ellos, pueden afectar y ser afectados por cualquiera de los otros, en diferentes grados de importancia. Por ello, si valorizamos desproporcionadamente alguna de las dos ramas principales, puede resultar que determinadas sinergias se reduzcan o pierdan valor y disminuya el peligro de la amenaza.

Segundo: La decisión final del atacante puede no depender necesariamente del valor o la vulnerabilidad del objetivo, o del daño que determinado agente pueda provocar en él. Pueden existir, además, cuestiones subjetivas difíciles de cuantificar acerca de la propia percepción y valoración que el atacante pueda tener de determinados atributos, tanto de las capacidades propias como de las vulnerabilidades de la otra parte.

Obviamente cada uno de los factores presentados en el diagrama y las interrelaciones entre ellos requiere de un pormenorizado análisis particular para cada situación específica y en el contexto propio del país objetivo. Para quien desee profundizar el tema, cada uno de los factores son desarrollados en el documento citado que se puede consultar según la referencia[50].

Pero posiblemente el aspecto de mayor interés que podemos extraer en relación con nuestro trabajo, son algunas de las recomendaciones presentadas en el informe citado.

Como mencionamos antes, si bien se refieren al caso de las armas biológicas, las hemos analizado y observamos que, en forma general, alcanzan en cierta medida a los otros tipos de ADM.

a. Definición de este tipo de terrorismo que emplea ADM: Se suele caracterizar genéricamente al terrorismo como *"la sucesión de actos de violencia o realizados por bandas organizadas, para difundir terror, con distintos fines, políticos, religiosos, etc."*[51]. Sin embargo, el Terrorismo empleando ADM en sus acciones, constituye una de las formas más complejas de ataque por parte de actores "no estatales" sobre objetivos militares o civiles. Por ello, como primer paso debe acordarse claramente, a nivel nacional e internacional, cuál es la definición clara del

48 G. Akerman and G. Morán. "Bioterrorism and Threat Assetsment". (2004). Weapons of mass Destruction Commission (WMDC). Pág. 5.

49 Idem anterior.

50 G. Akerman and G. Morán. "Bioterrorism and Threat Assetsment". (2004). Weapons of mass Destruction Commission (WMDC).

51 Fuente RAE: "Terrorismo".

tipo de terrorismo que emplea ADM. Sólo a modo de ejemplo, en el caso del empleo de AB, es denominado *"Bioterrorismo"*. Por las características de sus integrantes, la sofisticación de los agentes y medios empleados, las formas de obtención, las redes de contactos, los países *"sponsor"* y las fuentes de financiamiento, generan una enorme dificultad para su detección temprana, seguimiento e identificación de células integrantes.

Y por sus características, el resultado de las acciones del terrorismo empleando ADM, puede tener consecuencias que superan las capacidades de respuesta convencionales que los estados normalmente disponen, en especial cuando el ataque se produce en objetivos civiles densamente poblados.

b. Contribuir a reforzar la posición global de rechazo unánime: La posición de la comunidad internacional, acerca del empleo de este tipo de armas, que van en contra de los principios más elementales de supervivencia de la raza humana. Ese rechazo unánime, debe lograrse con una acción más agresiva de difusión del problema en los foros internacionales y locales, concientizando a la opinión pública, instituciones educativas, de I&D e industria, acerca de la necesidad de involucrarse decididamente en la lucha contra ese flagelo.
c. Mejorar y estandarizar los esfuerzos a nivel local e internacional, para incrementar la eficiencia de los mecanismos de control. Como mencionamos antes para el caso de las **Armas Biológicas,** por las características de "uso dual", de materiales, equipamiento y formación específica de los recursos humanos especializados, resulta extremadamente complejo disponer de un sistema de seguimiento y control eficiente. Es indispensable un involucramiento de todas las partes, que deben contribuir con su acción a dificultar la posibilidad de obtención de precursores y medios para su empleo con fines ilícitos. Obviamente lo expresado vale también para materiales QNR.
d. Apoyo irrestricto a todos los esfuerzos multilaterales para evitar la proliferación de las ADM en todas sus formas. A nivel del Gobierno de la Nación, participar en organismos internacionales e incluso en trabajos de investigación, para determinar el eventual impacto de tecnologías emergentes en ADM, que a futuro puedan tener efectos disruptivos, capaces de neutralizar los sistemas de prevención y respuesta actualmente disponibles.
e. Mejorar e incrementar la relación entre los organismos de seguridad, ciencia e industria. El terrorismo convencional es monitoreado y combatido con variado grado de eficacia por los organismos de seguridad de la mayoría de los países. Pero el terrorismo que emplea ADM presenta una serie de desafíos de tipo técnico y relacionados con el "uso dual" de los precursores e instalaciones de I&D e industria específicas (plantas industriales, generación de energía, medicina, agricultura y veterinaria, etc.), que como ya lo mencionamos, da lugar a enormes "zonas grises". En ellas, la posibilidad de empleo ilícito de los diferentes recursos se ve favorecida, siendo los controles neutralizados o vulnerados por diferentes vías. Una estrecha relación entre los organismos involucrados del "Actor Blanco" permitirá una acción temprana de prevención, detección y eventualmente respuesta eficiente.
f. Obtener y mejorar las capacidades de respuesta frente al ataque con ADM. Una adecuada preparación y la obtención de capacidades de respuesta no previenen el terrorismo. Pero resultan indispensables para minimizar las víctimas, los daños económicos, la contaminación, la interrupción de determinados servicios estratégicos, además de intentar neutralizar los efectos del terror que naturalmente este tipo de ataque pueden causar en la población civil. El ataque al Metro de Tokio por el culto Aum Shimrikyo (1995) mencionado anteriormente, es un "caso testigo" para tener en cuenta, más por el impacto social y mediático que tuvo, que por la eficiencia del ataque en sí mismo.

Otras hubieran sido las consecuencias con sistemas más sofisticados de ataque, o mecanismos de dispersión de los agentes más eficientes, por parte de los agresores. Este caso y otros sirvieron para identificar enormes falencias en los sistemas de prevención y carencias básicas en el sistema de respuesta a este tipo de ataques.

Todo lo expresado son conclusiones de carácter parcial, ya que a medida que avanzamos en el tema, comprendemos el papel vital que, en todo el proceso de ***Prevención de las Amenazas,*** tienen las acciones de los órganos de Inteligencia de las Agencias de Seguridad y Defensa del Estado.

No se pueden esperar resultados satisfactorios si los órganos citados no son capaces o no disponen de las herramientas y los recursos necesarios para la realización del proceso básico de inteligencia: Recolección de la Información confiable (coordinación inter-organismos) - clasificación – análisis de los riesgos y amenazas y su potencial impacto –detectar las vulnerabilidades propias– informar y proponer a los órganos de decisión.

Para la ampliación del presente tema, se sugiere consultar un trabajo denominado *"The Commission on the Intelligence Capabilities of the US regarding of WMD"*[52]. El Informe desarrolla en forma integral las amenazas pasadas, actuales y futuras de las ADM, con un pormenorizado detalle de las capacidades de los principales países, así como el funcionamiento del sistema de inteligencia específico del área de ADM de Estados Unidos.

Nos pareció interesante destacarlo porque pone en evidencia que un análisis parcial del problema, sólo desde el área técnica específica, presentará una enorme debilidad al momento de aportar conclusiones.

Proceso de EVALUACIÓN DE AMENAZAS

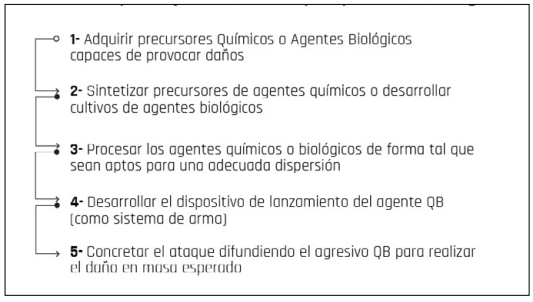
Para poder realizar un proceso integral de **Evaluación de amenazas** es imprescindible disponer de información e inteligencia sobre una cantidad variada de factores, que en diferentes formas afectarán los posibles escenarios.

La misma debe haber sido procesada y generada por elementos especializados de inteligencia que garanticen confiabilidad, debido a que de ello dependerá también la calidad del trabajo de evaluación y respectivas conclusiones. Además, es vital anticiparse a las acciones del "Actor agresor" en las etapas de planificación del ataque, lo que muchas veces permite neutralizarlo antes que el mismo se concrete.

Conceptualmente, las etapas básicas que podrá incluir la preparación de un ataque con ADM son las que se presentan en el siguiente cuadro, considerando la hipótesis de empleo de armas del tipo QB por parte de un "Actor agresor no estatal".

El cuadro ha sido extraído del trabajo de *"US General Accounting Office"* (GAO)[53]:

FIGURA 3: ETAPAS BÁSICAS DEL PLANEAMIENTO DE UNA ACCIÓN TERRORISTA PARA EJECUTAR UN ATAQUE QUÍMICO O BIOLÓGICO.



52 "The Commission on the Intelligence Capabilities of the US regarding of WMD". (2005). https://fas.org/irp/offdocs/wmd_report.pdf

53 US General Accounting Office (GAO). "Combating Terrorism: Need for comprehensive Threat and Risk Assessment of Chemical and Biological attacks". (1999). Pág. 8

Por las características del presente trabajo, realizado en un ámbito académico, nos limitaremos a la descripción esquemática y sintética, de los aspectos que debe contemplar el proceso de Evaluación de Amenazas.

Para ello nos basamos en lo expuesto en el trabajo **"Prevención y respuesta a las ADM"** por el Coronel Dr. Osvaldo Azpitarte[54].

No vamos a incursionar en la explicación del detalle de cada uno de los puntos contemplados, pero una visión general de este nos puede servir como estructura básica de análisis para futuros trabajos.

1. Definición de Escenarios
   a. Tipo de Conflicto
      1) Entre Estados
      2) Entre Estados y Actores "no estatales" (país reconocido por ONU - Terrorismo internacional).

   b. Actor Agresor
      1) Estatal: País reconocido por ONU (conflictos de límites, disputas de intereses, étnicos o religiosos)
      2) No estatal: Terroristas, anarquistas, independentistas, fundamentalismo religioso, racismo, etc.
      3) Motivación: Actor estatal (agresión externa, límites, intereses económicos, etc.) o No Estatal (Fundamentalismo religioso, político, independentista, racismo, etc.).
      4) Fines concretos: Impacto militar bélico (estatal). Impacto mediático; terror; erosión de la oposición política o la autoridad de la otra parte; lograr una mejor posición para negociar (estatal y no estatal).
      5) Organización: Estatal; para-estatal; red nacional o internacional terrorista; atacantes suicidas.
      6) Capacidad Económica: Propia; espónsor interno o externo; generación de recursos propios. (Narcoterrorismo, Al Qaeda; ISIS); red de financiamiento; lavado de activos.
      7) Recursos logísticos y en apoyo a la operación: Transporte de material estratégico; comunicaciones; capacidad de ciberataques; infiltración de los sistemas de seguridad del actor blanco.
      8) Capacidad técnica específica.
         a) Capacidad completa: Desarrollo total; sistema arma sofisticado.
         b) Limitada: Compra elementos a terceros; sistema arma rudimentario.
         c) Nula: Adquisición / obtención del sistema completo en mercado negro; cesión de terceros.
      9) Capacidad de producción de ADM: Estatal y no estatal.
      10) Capacidad de lanzamiento de ADM: Dispone de plataformas o sistemas de lanzamiento de ADM.

   c. Actor Blanco. (Nos basamos en el caso de ataque al Estado nacional).
      Son las características básicas que evalúa además el agresor en el proceso de selección del blanco y planeamiento integral de la operación. Estas le permitirán definir si el ataque es rentable y atractivo.

---

54 Osvaldo Azpitarte. "Prevención y respuesta a las ADM". (2010) Fundación NPS Global. Especialización en Desarme y no proliferación de ADM.

1) Vulnerabilidades:
   a) Población vulnerable y proclive a la psicosis por atentados anteriores. Poco afecta a las normas.
   b) Escaso control de instalaciones sensitivas. (Nucleares, químicas, etc.): ineficiente; mala calidad.
   c) Capacidad de apoyo interno: Infiltrados, adherentes locales, corrupción, etc.
   d) Fuerzas de Seguridad y Fuerzas Armadas: Poco profesionales; pasivas, ineficientes, desmoralizadas, fáciles de corromper.
   e) Escaso control del espacio aéreo y marítimo: Por falta de medios; ineficiencia; por corrupción.
   f) Fronteras y puertos de descarga de materiales: Permeables, escasamente controlados.
   g) Control de Importaciones: Permeable, ineficiente, corrupto, etc.
   h) Sistema de Inteligencia: ineficiente. (Le resultará dificultoso identificar y menos tratar de detener al atacante). Corrupto.

2) Fortalezas propias: Son las que generan barreras al atacante y actúan disuadiendo la agresión, En general, son la contraparte de las vulnerabilidades.

3) Capacidad de respuesta al ataque: Su efecto concreto es que limitan las consecuencias del ataque, minimizando los daños en el momento del hecho y posteriormente.
   a) Disposición de Medios de Defensa QBRN: Estructura de Emergencia (Civil y militar): Sistema integral de gestión de los medios para la emergencia; formación de RRHH y adiestramiento; alistamiento de los medios.
   b) Capacidad de atención médica en todo el proceso (Movilidad; triage; evacuación; atención; etc).

4) Capacidad de represalia: Identificación de agresores (inteligencia previa, sistema de vigilancia); localización; acción militar (captura o neutralización). Explotación de la información obtenida.

d. Tipo de Blanco elegido
   1) Población urbana: Alta densidad de población; escasos controles.
   2) Evento multitudinario televisado.
   3) Nudo de transporte: Que provoque efectos de gran relevancia social y económica.
   4) Edificio gubernamental.
   5) Edificio simbólico (para el país blanco).

e. Tipo de arma elegida: En este punto se debe analizar teniendo en cuenta las características del Actor Agresor: Sus integrantes, antecedentes, eventos anteriores, capacidad técnica disponible y adquirida, red de relaciones y apoyos, posibilidades de obtención de ADM y sus precursores, países sponsor, etc.
   1) Química.
   2) Biológica.
   3) Nuclear.
   4) Radiológica

f. Medio de lanzamiento: Similar al punto anterior.
   1) Vector cohete / misil.
   2) Vehículo aéreo tripulado y no tripulado.
   3) Vehículo terrestre.
   4) Dispositivo fijo improvisado. (IED, RDD, RED y otros).
   5) Persona.

g. Escala de la agresión
   1) Muy alta (nuclear)
   2) Alta / media (biológica)
   3) Media / baja (química / radiológica).

h. Eficiencia del ataque

Dependerá de:
   1) Medidas de prevención del Actor Blanco. (Inteligencia previa; sistemas de vigilancia; sensores, capacidad de respuesta; equipamiento específico, etc.).
   2) Condiciones meteorológicas. (cómo afectan al desempeño de cada tipo de arma).
   3) Configuración y características del ambiente. (Urbano, montaña, monte, llanura, etc.).
   4) Edificación. (Tipo, baja o en altura).
   5) Población. (Distribución, cantidad).

i. Consecuencias
   1) Humanas: pérdida de vidas; heridos; efectos sobre salud persistentes; consecuencias psicológicas, etc.
   2) Económicas: pérdida de capacidades industriales, servicios e infraestructura, sector público y privado, lucro cesante, etc.
   3) Estructurales.: Pérdida de instalaciones o servicios esenciales que provocan, más allá de los efectos económicos, graves perjuicios a la comunidad. (Fuentes de energía eléctrica; plantas de abastecimiento de agua; nodos logísticos, de transporte o comunicaciones; hospitales; etc.).
   4) Materiales: Bienes muebles e inmuebles, stocks de ganado, cosechas, etc.
   5) Simbólicas: Ejemplos: Cabildo Bs As, Estatua Libertad (Estados Unidos), Torre Eiffel, etc.

j. Escenario típico para cada sistema de ADM. (Para el caso de ataque terrorista)
   1) Incidente químico
      Uso terrorista: Diseminación por spray, con medios terrestres o aéreos; contaminación de agua y alimentos; sabotaje a planta química.
   2) Incidente biológico
      Uso terrorista: Diseminación por spray, con medios terrestres o aéreos; diseminación por contagio a través de objetos; por contagio con vectores humanos o animales; contaminación de agua y alimentos.
   3) Incidente radiológico / nuclear (RN)
      Uso terrorista: Atentado o sabotaje a una planta nuclear; sabotaje en transporte de material RN; contaminación de agua y alimentos; Radiological Disperse Devices (RDD).

2. Evaluación del riesgo implícito de cada escenario

La presentación citada de *O. Aspitarte*[55], desarrolla un interesante abordaje del problema, empleando conceptos y herramientas de probabilidad extraídas del trabajo *"Probabilistic model of terrorist Threats: A systems analysis approach to setting priorities among counter-measures"*.[56]

Como podemos observar de lo expuesto sintéticamente en el punto anterior, el espectro de posibles escenarios es muy grande, así como la probabilidad de ser atacado muy difícil de cuantificar. La información específica de las variables que afectan a ambos actores, agresor / blanco, obtenida de diferentes fuentes de variada confiabilidad, mayormente de carácter público, puede ser confusa y difícil de procesar. Y todo ello puede dar lugar a asesoramientos y resoluciones erróneas para los decisores.

Sugerimos la consulta de ambos trabajos, que ejemplifican la forma en que se pueden obtener conclusiones de tipo "cuantitativo", para un proceso de evaluación de amenazas.

El método cuantitativo, que emplea herramientas de probabilidad, presenta ciertas ventajas respecto del cualitativo. La principal a destacar es que permite la comparación de los "efectos netos" (con valores) de las diferentes amenazas (en términos de probabilidad y consecuencias), así como la combinación de factores que por su relación intrínseca afectan los resultados[57].

3. Factores Críticos que deben ser analizados

A continuación, mencionaremos los factores críticos de mayor interés para la evaluación de amenazas. No haremos un desarrollo de cada uno, ya que ello excede el alcance del presente trabajo y requiere de un análisis más profundo y específico.

a. Incidente químico
   1) Uso dual de los precursores.
   2) Grado de difusión del conocimiento de los procesos de producción de esos agentes químicos.
   3) Fallas de seguridad en lugares de almacenamiento de precursores químicos o armas químicas.
   4) Compra con fines lícitos, de equipamiento y materiales.

b. Incidente biológico
   1) Adquisición de agentes patógenos.
   2) Grado de difusión del conocimiento de los procesos y procedimientos clave de obtención de patógenos y toxinas.
   3) Transformación de los anteriores en componentes de armas. *(Weaponization)*
   4) Experiencias y antecedentes en desarrollo de sistemas de diseminación eficientes.
   5) Seguridad en laboratorios y depósitos.

c. Incidente radiológico
   1) Obtención de fuentes de radionucléidos apropiados para un ataque con AR.

---

55 Osvaldo Azpitarte. "Prevención y respuesta a las ADM". (2010) Fundación NPS Global. Especialización en Desarme y no proliferación de ADM.

56 E. Paté Cornell; S. Guikema. "Probabilistic model of terrorist Threats: A systems analysis approach to setting priorities among counter-measures". (2002). Stanford University.

57 Idem anterior. Pag 18.

2) Definición del tamaño y portabilidad de las fuentes.
3) Seguridad en la manipulación, transporte y almacenamiento.

d. Incidente Nuclear
1) Grado de difusión del conocimiento de los procesos y procedimientos clave para el desarrollo de AN.
2) Obtención de suficiente materia prima (MP): Uranio natural; combustible nuclear quemado.
3) Instalaciones para procesar la MP.
Enriquecimiento / Obtención de U^{235} a partir de Unat.
Reprocesamiento: Obtención de Pu a partir de combustible nuclear quemado.
4) Compra encubierta de material fisil (U^{235}; Pu).
5) Disponibilidad de la tecnología, conocimientos y experiencia para configurar un arma nuclear.

4. Determinación de las Vulnerabilidades

a. Incidente Químico
1) Escasa seguridad en la industria química propia
2) Ubicación de plantas químicas propias en proximidad de centros poblados
3) Falta de control sobre los precursores
4) Falta de información acerca de los riesgos potenciales que lo anterior conlleva
5) Falta de control sobre las diferentes vías de entrada: Puertos, aeropuertos, zonas fronterizas, etc.

b. Incidente Biológico
1) Escasa seguridad en la industria farmacéutica y laboratorios propios
2) Falta de información acerca de los riesgos potenciales que lo anterior conlleva
3) Falta de control sobre las diferentes vías de entrada: Puertos, aeropuertos, zonas fronterizas, etc.

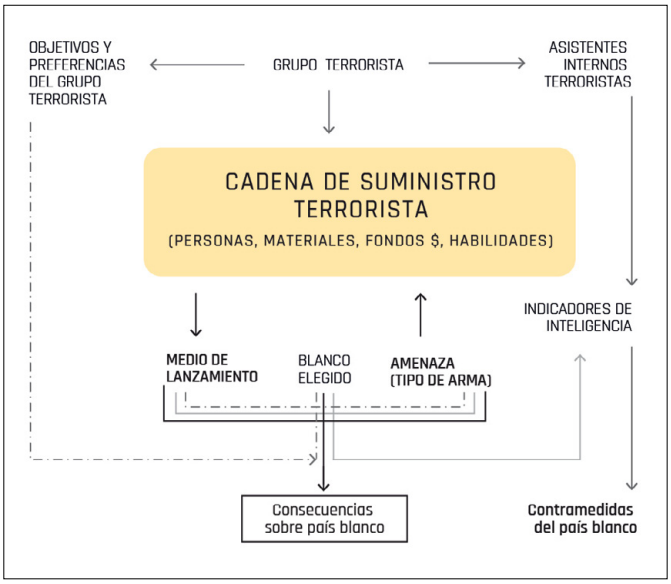
c. Incidente Radiológico / Nuclear
1) Falta de control y trazabilidad sobre las fuentes radiactivas
2) Falta de control sobre las diferentes vías de entrada: Puertos, aeropuertos, zonas fronterizas, etc.
3) Falta de control en el proceso de material crítico en las plantas nucleares
4) Falta de seguridad en plantas nucleares

Como podemos observar, la simple descripción de todos los aspectos que deben ser considerados al momento de realizar una EVALUACIÓN DE AMENAZAS, particularmente para el caso de empleo de ADM permite afirmar que nos encontramos ante un enorme desafío, no solo por la cantidad de temas y aspectos a considerar en cada caso, sino además por las incontables variantes que surgen de confrontar las capacidades (Actor Agresor) y las vulnerabilidades (Actor Blanco), en caso de ser objeto de un ataque con ADM.

Además, la valoración de cada uno de los ítems debe basarse en información concreta, verificable y proporcionada por fuentes altamente confiables. Esto no se puede realizar sin la asistencia de los organismos de inteligencia y seguridad del Estado.

Relacionado con lo expresado y solo a modo de ejemplo, nos pareció representativo presentar un "diagrama de influencias" básico obtenido del trabajo *"Probabilistic model of terrorist Threats"* ya citado:[58]

FIGURA 4: DIAGRAMA DE INFLUENCIAS ENTRE AMENAZAS (ACTOR AGRESOR) Y CONTRAMEDIDAS (ACTOR BLANCO).



Cualquier modelo de evaluación de amenazas que se desee implementar debe incluir **gran cantidad de datos e información confiable y contrastable** que, en general no es pública, de cada uno de los aspectos detallados en la parte anterior.

Esa información servirá para alimentar diferentes herramientas de probabilidad, teoría de juegos y simulación, que permitan llegar a resultados útiles, para definir una serie de escenarios que tengan correlación con la realidad. La utilidad de los resultados que se obtengan estará condicionada por disponer de datos precisos e información confiable, así como la opinión de expertos en los temas que se traten.

Como mencionamos anteriormente, la finalidad de este trabajo es tomar conciencia de nuestra situación frente a los riesgos y amenazas de las ADM y, fundamentalmente, cómo prepararnos a la luz de los diferentes escenarios de conflicto futuros que se observan a escala global.

Ampliando lo expresado y en relación con la vigencia de la amenaza de las ADM, el *"Global Risk Report 2020"* en su apéndice A, *"Descriptions of Global Risks 2020*[59]*"* expresa:

"Riesgo global" *es definido como un evento incierto o condición que, en caso de ocurrir, puede causar impactos significativos en muchos países e industrias dentro de los próximos 10 años".*

Entre los **riesgos globales** relacionados directamente con nuestro trabajo, cita los siguientes:

> Las "armas de destrucción masiva" (ADM): el despliegue de tecnologías nucleares, químicas, biológicas y radiológicas, así como sus materiales, pueden crear situaciones de crisis y posibilidad de destrucciones significativas en los próximos años.

> Los "ataques terroristas en gran escala" que realicen individuos o grupos no estatales con objetivos políticos o religiosos pueden tener éxito en sus acciones, lo que causa daños humanos y materiales mediante ataques en gran escala en los próximos años.

---

58 E. Paté Cornell; S. Guikema. "Probabilistic model of terrorist Threats: A systems analysis approach to setting priorities among counter-measures". (2002) Stanford University. Pág 7.

59 "Global Risk Report 2020". (2020). World Economic Forum. Apéndice A, pág. 87.

Por ello, el peor escenario al cual podríamos enfrentarnos es aquel en el que seamos "*sorprendidos*" por un ataque de estas características, sin haber arbitrado las medidas necesarias de prevención, vigilancia, alerta y desarrollo de las capacidades, como mínimo las de respuesta, frente a un ataque con ADM.

Concepto de "sorpresa tecnológica"

Hemos realizado un recorrido y análisis de todos los aspectos desarrollados en la parte de descripción histórica y enumeración de los riesgos y amenazas que las tecnologías de ADM presentan, así como las variables presentadas en la evaluación de amenazas.

Esto nos permite afirmar que no existen indicios de que las ADM tiendan a desaparecer, ni que los resultados de los mecanismos de control implementados por los Organismos nacionales e internacionales sean totalmente exitosos en tan compleja y ardua tarea.

Por el contrario, vivimos en un mundo en el que los instrumentos más letales desarrollados por el hombre están cada vez más disponibles para los extremistas o el crimen organizado. Las facilidades para el acceso a variadas fuentes de información técnica específica, la sofisticación de las herramientas y medios para la búsqueda y obtención de los materiales requeridos y sus precursores por parte del terrorismo se incrementarán.

Como expresamos también, los escenarios en los cuales se presenten los conflictos serán cada vez más difusos, especialmente en las denominadas "zonas grises", lo que obliga a los organismos de seguridad de los estados a transitar por una delgada línea entre la legitimidad de las acciones y la ilegalidad.

Además, tal vez una de las peores conclusiones a las que podamos arribar es que la revolución científica en el área de biotecnología está creciendo a niveles difíciles de imaginar, al punto que no podemos descartar, por ejemplo, el escenario en el que un agente biológico letal pueda ser desarrollado en una pequeña instalación oculta de un actor desconocido y sea entonces empleada con los fines más diversos en cualquier lugar poblado del planeta.

Relacionado con ello, en el trabajo de J. Bosswell *"Strategic Technology"*[60], el autor cita: *"Francis Fukuyama en su libro "Blindside" expresa que, del análisis de los eventos de la última década, nada es tan cierto como la incertidumbre".*

A continuación, el autor amplía los conceptos citados: En un estudio del Defense Science Board (DSB) *"2008 - Summer study of capability surprise"*, se avanza en categorizar a la Sorpresa en dos tipos: *"Sorpresas" y "Sorpresas sorprendentes"*[61].

Analizando lo expuesto en el citado trabajo, podríamos considerar como ejemplo de una "Sorpresa" con ADM, el ataque terrorista ya mencionado anteriormente, de la secta *Aum Shinrikyo* con Sarín en el Metro de Tokyo (Mar 95). En ese caso, las acciones terroristas no son algo nuevo; el agente empleado *(Sarín)* es ampliamente conocido. Pero la "sorpresa" radica en: el Escenario (metro/Japón) y las características del ataque (los atacantes, sus objetivos, el medio de dispersión, etc.).

Por otra parte, un ejemplo de "sorpresa sorprendente", podría ser un ataque con "enjambres de drones", esparciendo un agente biológico altamente infeccioso, completamente desconocido hasta el momento, sobre una multitud congregada en un evento popular en una ciudad. Los drones son herramientas conocidas, pero no existen antecedentes de su uso masivo para dispersar un AB en esa forma.

---

60 "Strategic Technology". Cpt James Bosswell. (2012). US Army War College. Pág. 6

61 "Strategic Technology". Cpt James Bosswell. (2012). US Army War College. Pág. 6

Tampoco existen aún desplegados masivamente medios electrónicos o cinéticos de neutralización de enjambres de UAS. Consideramos también para este caso que el patógeno empleado puede ser desconocido, tanto por sus características como por los efectos y por ende los medios para mitigar sus consecuencias.

Podemos ver en los ejemplos expuestos que la sorpresa tiene diversos factores que necesariamente intervienen en su implementación.

Si nos centramos específicamente en los aspectos tecnológicos, podemos decir que la **sorpresa tecnológica** transcurre en el lapso de tiempo entre:

> que el cambio tecnológico se produce,
> lo que le lleva al atacado a identificar y entender el cambio,
> para poder reaccionar y ajustar su orgánica, equipamiento y doctrina para enfrentar la nueva amenaza.

Nos pareció interesante como un posible ejemplo de lo expresado el caso de la pandemia del COVID-19 que transcurrimos actualmente (año 2020).

Si se tratara de una agresión con agentes biológicos, (AB) la respuesta demandaría: Un tiempo para adoptar las acciones adecuadas para el *"nuevo virus"*; identificar el tipo de agresión, ya que los patrones de comportamiento del mismo no responden a lo conocido; no existen vacunas; la tasa de infectados y fallecidos crece; las medidas extremas de aislamiento social causan reacciones diversas al confrontar con el respeto a las libertades individuales; se resiente gravemente la economía; se paraliza la industria y los sectores más vulnerables de la sociedad entran en ebullición.

Todo lo expresado nos indica que las nuevas condiciones generadas por la globalización y la proliferación de todo tipo de adelantos tecnológicos han otorgado fortalezas inesperadas a nuevos actores. Estados subdesarrollados o simplemente facciones terroristas que desean hacerse conocer y hasta incluso individuos fanatizados que, operando en solitario, realizan acciones relacionadas con el anarquismo o con un discurso en contra de ciertos avances de las sociedades modernas, como podría ser el caso de *Theodore Kaczynski*, denominado *"Unabomber"*[62].

Observamos que los cambios tecnológicos van a ir incrementándose de manera exponencial, por lo que podemos esperar que el *impacto de la tecnología* sea cada vez más relevante en el futuro. La clave para el **Actor Agresor** está en reconocer el impacto que genera la aplicación de una nueva tecnología y, obviamente, tener la decisión de emplearla. Y para el **Actor Blanco**, estar preparado para reaccionar.

Por esta razón, la amenaza de **"sorpresas tecnológicas"** en las ADM deberá ser considerada en los escenarios de futuros estudios de prospectiva.

Algunos expertos opinan también que el enfoque tradicional de las amenazas puede ser abordado más integralmente como una extensa gama de desafíos a la seguridad. Este nuevo enfoque obliga a los países a innovar y capacitarse en forma permanente, con estructuras flexibles y capaces de operar "a requerimiento" dentro de un proceso integral de vigilancia, análisis, predicción y preparación frente a un futuro incierto, en el que los desafíos a la seguridad serán cada vez mayores.

---

62 Theodore Kaczynski, denominado "Unabomber", que entre 1978 y 1995 produjo una verdadera conmoción en Estados Unidos por el envió de 16 bombas a objetivos entre los que había universidades y aerolíneas, asesinando a 3 personas e hirió a otras 23. Durante más de 17 años desorientó el FBI y otros organismos de seguridad.

Como mencionamos antes, en los últimos años el concepto de "bioamenaza" ha evolucionado continuamente, e incluye las amenazas accidentales, intencionales y naturales, que pueden provocar consecuencias económicas, sociales, políticas y de seguridad. Mencionamos, además, que la explotación de la biotecnología para su uso terrorista o militar ha motivado el intento de acceso no autorizado, a bases de datos de información biológica de carácter reservado, con las consecuencias que esto puede acarrear.

Esos cambios han sido posibles gracias a la globalización del conocimiento en las ciencias biológicas y biotecnología, sumado a las habilidades hoy disponibles en operadores especializados en vulnerar las barreras de ciberseguridad de los estados y organizaciones.

Todo lo expresado obliga a estar preparados frente a la posibilidad de **sorpresa tecnológica**, particularmente en el ámbito de las ADM. Más allá de realizar una minuciosa tarea de vigilancia y seguimiento pormenorizado de los diferentes sucesos que ocurren, tanto en el ámbito del terrorismo, la delincuencia o los conflictos interestatales, una forma de minimizar los efectos de sorpresa tecnológica es adelantarse al hecho realizando **"evaluación tecnológica"**.

En la obra ya citada *"Strategic Technology"*[63], se define "evaluación tecnológica" como: *"La evaluación sistemática de los descubrimientos y desarrollos en todos los campos de la ciencia y tecnología, con la finalidad de examinar los impactos de corto y largo plazo, en los campos táctico y estratégico, sobre nuestras capacidades, estrategias y doctrina".*

Esa **evaluación tecnológica**, así como el conocimiento de los actores involucrados y las metodologías de ataque con ADM, nos pueden proporcionar información vital acerca de: materiales empleados (conocidos y nuevos), tendencias tecnológicas, tácticas de empleo, capacidad de respuesta de los organismos específicos del estado agredido, el desempeño de estos y las lecciones aprendidas, las respuestas del sistema de salud, el comportamiento de la población afectada, etc.

El rango de los posibles escenarios de riesgo/amenaza es enorme y aún más, si lo planteamos desde esta otra óptica de los desafíos a la seguridad que impone planificar y actuar en el marco de un sofisticado sistema integrado: Coordinación y apoyo mutuo entre todos los Organismos del Estado involucrados, flexibilidad de las organizaciones, los recursos y la doctrina de empleo.

Y la capacidad para estar atentos y, de alguna manera, adelantarnos o minimizar la sorpresa tecnológica que nos permitirá estar preparados para responder más rápido y de manera más eficiente ante el suceso.

Reiteramos que para ello resulta imprescindible, disponer de un sistema de inteligencia con elementos orgánicos especializados, capaces de realizar evaluación tecnológica y en estrecha coordinación con otros órganos del Estado para poder prever eventuales ataques, sus características y actores y minimizar así los efectos y consecuencias posteriores de la agresión.

Finalmente, no debemos olvidar que uno de los "principios de la conducción de las operaciones militares", **la SORPRESA** continuará siendo una herramienta extraordinaria como multiplicador de fuerzas, en este caso para el agresor, y que por ello estará presente siempre en cualquier ataque con Armas de Destrucción Masiva (ADM).

---

63 "Strategic Technology ". Cpt James Bosswell (2012). US Army War College. Pág, 11.

Conclusiones

"La mayor amenaza para la humanidad hoy, es la posibilidad de un ataque secreto y repentino con armas químicas, biológicas, radiológicas o nucleares."
Ex presidente de Estados Unidos George W. Bush
11 de febrero de 2004

"… la mayor amenaza para los Estados Unidos de América y la seguridad Global, no es tanto el intercambio de Misiles Nucleares entre las naciones, como el Terrorismo con armas nucleares por parte de extremistas..."
Ex Presidente de Estados Unidos Barack H. Obama
6 de abril de 2010

Más allá de la cantidad de **acuerdos de no proliferación**[64] existentes entre países para neutralizar o desactivar los programas de desarrollo de ADM y los stocks de armas aún remanentes, debemos tener en cuenta que los mismos son firmados sólo entre algunas Naciones. Y las que no los firmaron, si la necesidad lo impone o la oportunidad lo amerita, las emplearán.

La utilización de AQ por parte de Siria en conflictos internos es una muestra de ello.

La realidad es que, en mayor o menor medida, muchos países siguen empleando ciertas **capacidades industriales legítimas** en las áreas química, biológica y nuclear para desviarlas de manera encubierta hacia programas de uso militar, difíciles de detectar por los Organismos de Control.

Las capacidades del área biológica son las que probablemente impongan los mayores desafíos a los organismos de control.

Se estima que los países, aun los firmantes de tratados internacionales que han tenido programas para **desarrollar la capacidad de ADM** no han perdido todo su *"Know-how"*, ni desactivado sus capacidades. Incluso algunos de ellos, en cierta medida han tratado de preservarlos, en estado latente y en el ámbito de la defensa, de manera tal de poder recuperar las capacidades en caso de ser necesario.

Los pormenorizados informes de inteligencia de difusión pública que realizan algunos países dan cuenta de ello.

Que un país sea signatario de **tratados para la no proliferación de ADM** no es una garantía de que no las vaya a emplear. Según la situación y la evolución del conflicto, así como la amenaza a sus propios intereses, las utilizará: Inicialmente como elemento de disuasión, pasando luego a su empleo efectivo y asumiendo las consecuencias que eso conlleva.

Hay muchos ejemplos en la historia donde "el bien superior" ha llegado a "legitimar" lo ilegítimo.

Para hacer más compleja la situación, muchos países en regiones donde existe un **desequilibrio en el poder militar relativo** con sus vecinos en conflicto tratan de mantener *"vivos"* sus programas de ADM como una poderosa herramienta de disuasión, para sentarse a negociar en caso de crisis.

Corea del Norte o Siria son algunos casos de ese tipo que podemos citar.

---

64 CAQ – CABT – TNP, etc.

Lo expresado en el punto anterior incrementa las posibilidades de proliferación en una cantidad de pequeños actores, no estatales y en muchos casos emergentes, capaces de emplear agentes QBRN conocidos, o bien la **"sorpresa tecnológica"** para generar terror mediante acciones inesperadas de gran impacto especialmente en ámbitos urbanos.

Particularmente las Armas Biológicas, son un área de extraordinaria proyección, siendo la principal preocupación de los países su uso eventual por parte de grupos extremistas.

Sumado a ello, los conflictos entre países desarrollados en forma cada vez más habitual en las denominadas **"zonas grises"** presentan escenarios de gran complejidad.

Nuestro país también debería estar en capacidad de afrontar conflictos de este tipo, en las mejores condiciones posibles.

En escala mayor o menor, las operaciones militares en ambiente QBN son extremadamente complejas y generan enormes contratiempos, hasta para los ejércitos más desarrollados, con equipamiento y adiestramiento para operar en esos escenarios.

*Son **capacidades que no se pueden improvisar**, por lo que resulta poco realista suponer que habrá tiempo y medios para reaccionar, una vez que la agresión se concrete.*

Por lo expresado, deberíamos prepararnos para hacer frente a estas ***"amenazas y desafíos a la seguridad".***

Porque las fronteras tecnológicas parecen hoy cada vez más difusas y hasta casi inexistentes. Y cualquier atacante, con seguridad las aprovechará, para superar las capacidades propias, que deberían estar en constante evolución, adaptándose y mejorando.

Desarrollar esas capacidades requiere un esforzado trabajo de prevención, incorporación de conocimiento específico, organizaciones y RRHH adiestrados y en alerta. Asimismo, no podrán faltar los medios de respuesta adecuados, modernos y en apresto, protocolos de emergencia establecidos entre las diferentes jurisdicciones del Estado Nacional, así como una gran coordinación entre todos los "Actores" a los que les corresponda intervenir.

Además, los gobiernos tienen la responsabilidad ineludible de desarrollar e implementar los medios necesarios, que permitan mitigar las consecuencias de un **ataque con AD**M o de un **incidente QBR**N. De esa manera, si eventualmente ocurriera alguno de ellos, la respuesta no puede quedar condicionada por la carencia de medios y falta de preparación, o sujeta a la improvisación y al voluntarismo.

Somos hoy una región sin graves conflictos limítrofes, en la que los países vecinos son signatarios de los tratados específicos que prohíben el desarrollo y empleo de ADM.

Eso puede en cierta medida darnos una "sensación de tranquilidad".

Pero la amenaza del terrorismo y la delincuencia organizada está latente, esperando que la situación y las vulnerabilidades propias, hagan rentable la oportunidad de actuar. Y las ADM y más específicamente las QB, son herramientas que presentan una excelente **relación "costo / beneficio"** para cualquier ataque inesperado.

Sería importante reflexionar acerca del hecho de que, aunque no creamos necesario ni conveniente establecer hipótesis de conflicto, para un país de gran extensión, poca población y extraordinarios recursos naturales demandados por la humanidad, *no necesariamente esto implica que las amenazas o los conflictos desaparecerán.*

Reflexión Final

De "Holistically Assessing the Future of warfare". RAND[65].

"Todas las capacidades militares, dependen de que quien las dispone tenga la ***decisión de usarlas.***

Una gran cantidad de factores como las leyes internacionales, la opinión pública, la cobertura de los medios, las capacidades tecnológicas, las preferencias de los aliados y otros imperativos operacionales, son parte de las ***restricciones que los elementos de combate tienen que respetar en un conflicto.***

Y muchos de esos factores son los que necesariamente influirán en la manera en que Estados Unidos y la mayoría de las ***democracias liberales*** *pelearán las guerras del futuro.*

Como resultado de esas condiciones, los citados países deberán enfrentarse a una brecha de restricciones cada vez mayor para el empleo legítimo de la fuerza.

Restricciones ***que sus adversarios no respetarán****, particularmente en conflictos de baja intensidad o en etapas iniciales del conflicto*[66]*".*

---

65 "Holistically Assessing the Future of Warfare". (2020). RAND Corp. https://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB10073.html

66 "Holistically Assessing the Future of Warfare". (2020). RAND Corp. https://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB10073.html

Bibliografía y Fuentes

- *"Timeline of Syrian Chemical Weapons Activity. 2012 - 2020"*. (May 2020) Arms Control Association. https://www.armscontrol.org/factsheets/Timeline-of-Syrian-Chemical-Weapons-Activity
- G. Akerman; K. Moran. *"Bioterrorism and Threat Assessment"* (2004). Weapons of Mass destruction Commission (WMDC).
- Carlos H. Trentadue. *"Guerra de nervios: Los agresivos neurotóxicos en el contexto del renacer de la guerra fría entre Rusia y el resto de Europa"* (2018). TEC1000- 2018. Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Mosconi (CEPTM). Facultad de Ingeniería del Ejercito Argentino (FIE). http://www.ceptm.iue.edu.ar/tec1000-18/
- E. Pate Cornell; S. Guikema. "*Probabilistic model of terrorist Threats: A systems analysis approach to setting priorities among counter-measures*". (2002). Stanford University.
- "Center for the Study of Weapons of Mass Destruction". National Defense University. https://wmdcenter.ndu.edu/
- *"Public health response to biological and chemical weapons - WHO guidance"*. (2004). World Health Organization. https://www.who.int/csr/delibepidemics/biochemguide/en/
- *"A Strategic vision of Biological threat reduction"*. (2020). National Academy Science Engineering and Medicine. (2020). http://nap.edu/25681
- *"Combating WMD: Challenging for the next 10 years"*. (2005). Center for Study of WMD.
- "What is a Chemical Weapon?", Organization for the Prohibition of Chemical Weapons (OPCW), http://www.opcw.org/about-chemical-weapons/what-is-a-chemical-weapon
- *"Global Risk Report 2020"*. (2020). Insight Report. 15th Edition. World Economic Forum.
- *"Chemical and Biological warfare overview"*. (2015). Center of Unconventional Weapons Studies (USAF). https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CSDS/Books/cbwprimer2015.pdf
- Weapons of Mass Destruction Commission, final report, *'Weapons of Terror: Freeing the World of Nuclear, Biological, and Chemical Arms'*, (2006). Stockholm, Sweden,
- Mahknen, Sharp, Kim. *"Deterrence by detection"*. (2020) Center of Strategy and Budgetary Assessment. (CSBA). https://csbaonline.org/uploads/documents/CSBA8209_(Deterrence_by_Detection_Report)_FINAL.pdf
- *"Holistically Assessing the Future of Warfare"*. (2020). RAND Corp. https://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB10073.html
- *"Reassessing CBRN Threats in a changing global environment"*. (2019). SIPRI. https://www.sipri.org/sites/default/files/2019-06/1906_cbrn_threats_su_anthony_0.pdf
- James Bosswell. *"Strategic Technology "*. (2012). US Army War College.
- P. Bracken, I. Bremmer, D. Gordon. *"Managing Strategic Surprise: Lessons from Risk Management and Risk Assessment"*. (2008). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press,
- F. SARRO. *"Radiological Terrorism and the Forgotten Threat among Weapons of Mass Destruction"*. https://global-strategy.org/radiological-terrorism-and-the-forgotten-threat-among-weapons-of-mass-destruction/.
- Osvaldo Azpitarte. "Prevención y respuesta a las ADM". (2010) Fundación NPS Global. Especialización en Desarme y no proliferación de ADM. http://npsglobal.org/esp/images/stories/pdf/folleto_postgrado.pdf
- *"The Commission on the Intelligence Capabilities of the US regarding of WMD"*. (2005). Report to the President of the United States.
- *"Rethinking Armagedom"*. (2016). Center of Strategy and Budgetary Assessment. (CSBA). www.csbaonline.org.

- Sen Richard Lugar. *"Lugar Survey on Proliferation Threats and Responses"*. (2005). Chairman, Senate Foreign Relations Committee. http//lugar.senate.gov
- *"Proliferation of Weapons of Mass Destruction: Assessing the Rish"*. U.S. Congress, Office of Technology Assessment. Washington, DC: U.S. Government. Printing Office. (August 1993).
- *"Deterrent by detection"*. (2020) Center of Budgetary and Security Assessment. (CSBA). https://csbaonline.org/uploads/documents/CSBA8209_(Deterrence_by_Detection_Report)_FINAL.pdf
- *"World Review of Offensive CBW Threat Capability"*. JANE's Information Group Ltd.
- *"Worldwide threat Assessment of the US Intelligence" (2019)*. US National Intelligence https://www.dni.gov/files/ODNI/documents/2019-ATA-SFR---SSCI.pdf
- B. Benett; et.al *"Health Effects of the Chernobyl accident and health programs"*. World Health Organization (WHO). https://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/who_chernobyl_report_2006.pdf
- J. Stern. *"The prospects of domestic Bioterrorism"*. (1999). Council on Foreign Relations, Washington, D.C., USA. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2627739/pdf/10458956.pdf
- *"Combating Terrorism: Need for comprehensive Threat and Risk Assessment of Chemical and Biological attacks"*. (1999). US General Accounting Office (GAO).

(*) **Juan Carlos Villanueva** es Oficial retirado del Ejército Argentino con el grado de Coronel de Infantería. Ingeniero Militar de la especialidad Mecánica – Armamentos. Es Paracaidista Militar y Veterano de la Guerra de Malvinas. Realizó una Maestría en Gestión de Empresas Tecnológicas (Doble titulación ITBA / EOI- España). Es Especialista en Gestión Tecnológica (Instituto Tecnológico Bs As – ITBA).). Ocupó cargos directivos en Fábricas Militares (DGFM) con responsabilidad en la fabricación de Armamento y Munición. Se desempeñó, en el ámbito de Proyectos Militares en el EMCFFAA, en el EMGE y en CITEDEF como Jefe del Dpto Propulsión. Realizó los cursos de Formación, Avanzado y de Especialización como Inspector en el área de Misiles del "United Nations Monitoring and Verification Commision (UNMOVIC)". Desde el 2015 se desempeña como Analista de Armamentos en el CEPTM "Grl MOSCONI" – Facultad de Ingeniería del Ejército Argentino (FIE).

1.6

Defensa CBRN - Ciencia y Tecnología (C&T), Investigación y Desarrollo (I&D) Institutos y Centros Educativos en el área de la defensa, proyectos e industria

Por el Coronel (R) Ing Mil Juan Carlos Pérez Arrieu*

Temario

1. Resumen - Palabras clave ____ 187
2. Introducción ____ 188
3. El entorno CBRN - Principales amenazas - Defensa CBRN ____ 191
4. Principales organizaciones militares de C&T y educación aplicadas a DCBRN ____ 193
5. Antecedentes y organizaciones militares QBN en la República Argentina
   Escuela de Guerra Tóxica EA - 1960, otras organizaciones de capacitación y doctrina vigentes y desactivadas relacionadas con DCBRN en el ámbito militar ____ 200
6. Proyectos de C&T a nivel mundial y en desarrollo de DCBRN ____ 203
7. Industria DCBRN - Jugadores clave – Tecnologías y productos disponibles ____ 206
8. Conclusiones ____ 218
9. Bibliografía / Fuentes consultadas ____ 219
10. Anexos:
   1. Listado de normas CBRN OTAN STANAG; ____ 221
   2. Niveles de Bioseguridad ____ 221

Resumen

En un mundo cada vez más complejo e interconectado, la posibilidad de accidentes, de emergencias de origen natural, de actos terroristas o ataques no es un escenario lejano.

Chernóbil, los atentados al subterráneo de Japón con sarín en 1995, los recientes brotes de Ébola en el Congo, el empleo de armas químicas en Siria, o la actual pandemia de COVID 19, nos advierten que debemos estar preparados.

El presente trabajo aborda la DCBRN a través de las organizaciones militares dedicadas a la C&T y a la educación en la temática a nivel global, con responsabilidad en la creación y actualización de conocimiento, la docencia, el entrenamiento y el diseño y desarrollo de tecnología dedicada a la DCBRN. Se enuncian los principales proyectos de I&D, las tecnologías, los jugadores más importantes de la industria y alguno de sus productos.

En el plano local se enumeran las capacidades militares y civiles que contribuyen a la DCBRN también desde el punto de vista de la docencia y la investigación. La investigación pone de manifiesto los recursos disponibles y alerta sobre las carencias y necesidades, tanto en lo material como en lo doctrinario.

El objetivo es brindar información relevante a decisores y planificadores, responsables de la Defensa y Seguridad, teniendo en cuenta que la información, el conocimiento y la preparación son el antídoto para la supervivencia ante un evento DCBRN.

El enfoque metodológico se llevó a cabo siguiendo los lineamientos de la Guía Nacional de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Estratégica (VTeIE)[1] del MINCyT.

PALABRAS CLAVE: QBN, CBRN, defensa QBN, seguridad, operaciones en ambiente QBN, bioterrorismo, ataque químico, ataque nuclear, emergencias y catástrofes CBRN, defensa civil, accidentes CBRN, Armas de Destrucción Masiva (ADM).

"No tendrás que temer del terror de la noche , ni de la flecha que vuela por el día, ni de la peste que anda entre tinieblas, o de la epidemia que arrasa al mediodía."

La Biblia, Libros Sapiensales, Al amparo del Altísimo - Salmo 91 -

Introducción

No podemos conocer con certeza cómo será el futuro de los conflictos, pero debemos estar preparados para enfrentarlos. Pensar el carácter futuro de las operaciones militares es una tarea central en la profesión militar[2].

La proliferación de las Armas de Destrucción Masiva (ADM), Nucleares, Biológicas y Químicas es una de las amenazas a la seguridad que enfrenta la comunidad internacional; diseñar, organizar y conducir la Defensa QBN es una tarea fundamental e indelegable de las Fuerzas Armadas (FFAA).

Las innovaciones tecnológicas en los campos de la biotecnología, la energía nuclear y las ciencias en general tienen un impacto positivo en la humanidad; sin embargo, este avance también es una amenaza en manos de estados, organizaciones o individuos inescrupulosos.

En los últimos años, el uso de las armas químicas (CW, por sus siglas en inglés) y armas biológicas (BW, por sus siglas en inglés) de actores estatales y no estatales ha crecido poniendo en tela de juicio los tratados y los controles; se suma la amenaza del crimen organizado y el terrorismo que, con la facilidad de adquirir conocimiento y tecnología, poseen potencialmente la capacidad para fabricar y emplear ADM. Los ataques con un agente nervioso (GB o Sarín) en el metro de Tokio en 1995 son un ejemplo.

---

1 https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/lib_ins_guia-nacional-de-vigilancia-e-inteligencia-estrategica-veie.pdf

2 Conocimiento, C&T y Poder militar en el SXXI – Las Guerras del Futuro; TEC1000 2017 CEPTM Mosconi; 2018; EST – UNDEF.

Asimismo, los estados que poseen arsenales nucleares están actualmente modernizando sus sistemas, y se agregan nuevos actores como la República Popular Democrática de Corea[3].

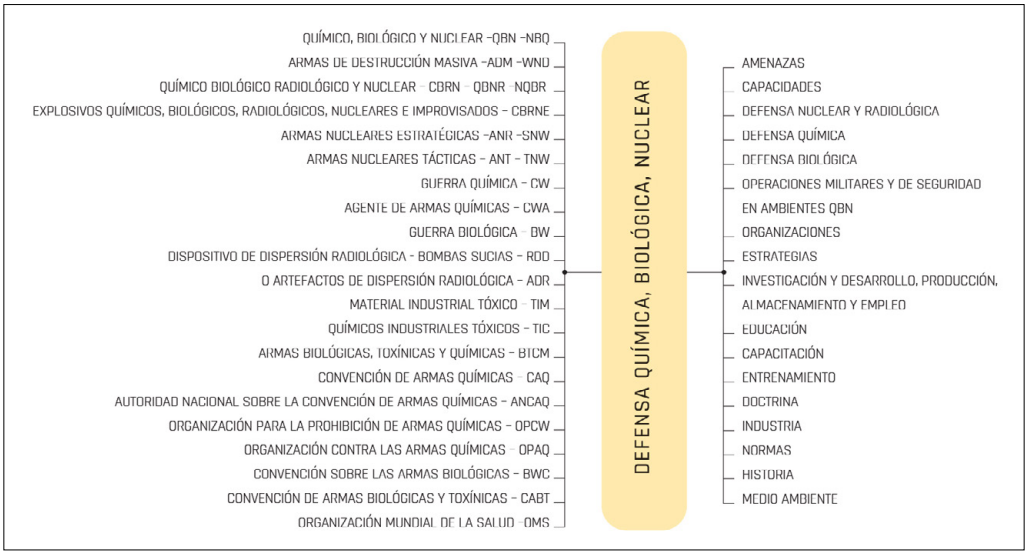
En un mundo cada vez más complejo, el desarrollo acelerado de la biotecnología, la ingeniería genética, la informática, la revolución en los medios de diseño y producción, entre otros, sorprende, supera a las normas éticas y jurídicas que las podrían regular. Los estudiosos de la C&T nos advierten permanentemente de ello; este hecho facilita el acceso a las ADM y se suma a la probabilidad de accidentes, especialmente en los laboratorios experimentales y en las industrias químicas o biotecnológicas. Es por lo anterior que se hace imprescindible contar con medios de defensa adecuados.

El campo de estudio es vastísimo, como se puede visualizar en la Figura 1, donde se muestra solo una parte de un árbol tecnológico DCBRN, apreciándose lo multidisciplinario del abordaje del problema; el "árbol" podría servirnos, en primera instancia, para realizarnos algunas preguntas elementales sobre la amenaza, entre otras, por ejemplo:

> **¿Cómo preparase para ejecutar todo tipo de operaciones militares y de seguridad en ambientes CBRN?**
> **¿Cómo afrontar desastres y emergencias CBRN?**
> **¿Cómo educarse, anticiparse y gestionar un evento CBRN?**
> **¿Quiénes y con qué?**

La respuesta está en la principal fuente de poder del siglo XXI, que es el "conocimiento", aprendiendo de la historia, de las normas, de la ciencia y la tecnología, del estudio de accidentes, de acontecimientos como los conflictos armados donde se emplearon ADM, de la pandemia de la gripe

FIGURA 1. DISTINTAS FORMAS DE ABORDAR Y NOMBRAR EL CAMPO CBRN



3 RPDC o Corea del Norte, desde el año 2003 ya no es parte del Tratado de No proliferación Nuclear, disponible en https://www.sipri.org/sites/default/files/2019-06/1906_cbrn_threats_su_anthony_0.pdf

española de 1918,de la fuga de gas en Bophal, India, en 1984, de los brotes del Ébola desde que se descubrió en 1976 hasta los recientes en junio de 2020 en la República Democrática del Congo[4], de los eventos nucleares de Chernóbil en Ucrania en el año 1986 y de Fukushima en Japón en 2011, de los actos terroristas como el ya enunciado ataque en el metro de Tokio de1995, etc.

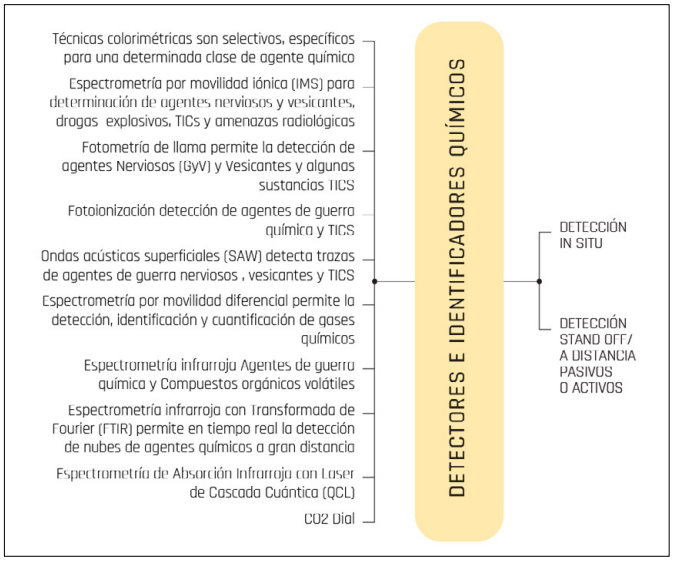
El análisis de cada uno de estos eventos implica muchos expertos trabajando interdisciplinariamente con estudios técnicos, sociopolíticos, jurídicos, culturales y hasta éticos.

En la Figura 2, se muestran las tecnologías utilizadas y en desarrollo de detectores e identificadores de guerra químicos y TICs, ya sea in situ o a distancia, pasivos o activos. También vemos la necesidad de contar con personal militar capacitado y especializado en las tecnologías afines, además de expertos en defensa, en seguridad y específicamente en DCBRN (profesionales y técnicos: químicos, electrónicos, biotecnólogos, toxicólogos, médicos, informáticos, etc.) que, a la par de ejecutar las operaciones, sean capaces de analizar, planificar y anticiparse a las amenazas que presentan las ADM.

En general, la DCBRN se refiere tanto a las unidades militares y civiles como a los procedimientos de actuación encargados de prevenir y mitigar ataques con armamento nuclear, radiológico, biológico y químico o para reducir su amenaza.

Es interesante primeramente repasar las Normas - Tratados vigentes a nivel mundial, debido a que tienen íntima relación con las misiones y funciones actualmente asignadas a las organizaciones militares. Haciendo un sintético resumen se pueden nombrar los siguientes según el tipo de amenaza:

FIGURA 2. DETECTORES E IDENTIFICADORES DE GUERRA QUÍMICOS Y TICS



> **Armas Biológicas:** El 10 de abril de 1972, se firma un tratado multilateral sobre desarme: la **"Convención sobre las Armas Biológicas y toxínicas"**[5], que prohíbe el desarrollo, la producción y el almacenamiento de toda una categoría de ADM, y que entró en vigor el 26 de marzo de 1975.

> **Armas Nucleares:** El periodo de la "Guerra Fría" (1947 -1991) está ligado mayoritariamente a la amenaza nuclear, la disolución de la Unión Soviética (URSS) en 1991 supuso el fin de la misma, y llevó consigo a una disminución del arsenal nuclear con diversos tratados de control de armas, en ese lapso se suscribieron: el **"Tratado sobre la no proliferación de Armas**

4 https://www.who.int/es/news-room/detail/25-06-2020-10th-ebola-outbreak-in-the-democratic-republic-of-the-congo-declared-over-vigilance-against-flare-ups-and-support-for-survivors-must-continue

5 https://www.un.org/disarmament/es/adm/armas-biologicas/

Nucleares (TNP)"[6], el **"Tratado de Prohibición Parcial de los Ensayos Nucleares (TPPE)"**[7], y el **"Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (TPCE)"**[8], que fue firmado en 1996 pero aún no ha entrado en vigor.

> **Armas Químicas:** En 1997 entra en vigencia la **"Convención sobre las armas químicas (CAQ)"**[9], un tratado internacional por el cual se prohíbe el desarrollo, la producción, el almacenamiento, la transferencia y el empleo de armas químicas, y se dispone además la destrucción de estas armas en un plazo de tiempo específico, producto del tratado se crea un organismo internacional para su control, la **Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPAQ)** con el mandato de erradicar las armas químicas y de verificar la destrucción de los arsenales de armas químicas declarados.

En 2013 la OPAQ recibió el Premio Nobel de la Paz por una operación que permitió eliminar las reservas de agentes químicos venenosos del ejército sirio, en un acuerdo entre Siria, Estados Unidos, Rusia y la ONU. Se publicó un interesante resumen del proceso en un artículo de la Revista Visión Conjunta N° 11 del año 2014 de la ESGC FFAA10.

A nivel nacional la "Autoridad Nacional Argentina para la Convención de Armas Químicas **(ANCAQ)** es el organismo responsable de la implementación de la Convención de Armas Químicas en el territorio de la República Argentina, entre sus funciones se establece un sistema de control basado en declaraciones e inspecciones obligatorias sobre sustancias e instalaciones que pueden tener un uso dual. Fue establecida en 1997 como una Comisión Interministerial, compuesta por un Directorio integrado por el Ministerio de Defensa, el Ministerio de Producción, el Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto y consta de una Secretaría Ejecutiva que tiene su sede en este último Ministerio.

El entorno CBRN - Principales Amenazas - Defensa CBRN

Nuestras mega ciudades se enfrentaran cada vez más a mayores amenazas mediombientales, de salud, del crimen organizado, de ataques terroristas, de accidentes en el transporte de sustancias peligrosas, de incendios, de explosiones o escapes de industrias químicas o de biotecnología, de atentados con explosivos improvisados, de las ADM.

El Ébola (EVE[11]) un virus mortal "ya ha sido decretado por la comunidad científica como la enfermedad más temible del presente y de los próximos años"[12] fue detectado en 1.976; aún la vacuna está en desarrollo…

---

6 http://disarmament.un.org/treaties/t/npt/text

7 http://disarmament.un.org/treaties/t/test_ban/text

8 http://disarmament.un.org/treaties/t/ctbt/text

9 https://www.opcw.org/es/convencion-sobre-las-armas-quimicas

10 CR Omar A. Locatelli, "La destrucción de Armas Químicas en Siria", ESGC 2014 , Revista Visión Conjunta , disponible en: http://cefadigital.edu.ar/bitstream/1847939/202/1/VC%2011-2014%20LOCATELLI.pdf

11 EVE: enfermedad del ebolavirus, fiebre hemorrágica del ébola (FHE), ébola.

12 Ariel Perez Lew (2014), "Ébola el comienzo de una pandemia", Edith Hiel Producciones S.L., disponible en amazon.com

"Al 9 de junio de 2020 se habían notificado en total 3.463 casos de EVE, entre ellos 3.317 casos confirmados y 146 casos probables, de los cuales 2.280 han fallecido (tasa de letalidad del 66%)[13]

Un entorno CBRN es un escenario que incluye el empleo deliberado o la liberación accidental de agentes CBRN; la contaminación con Materiales Tóxicos de origen Industrial (TIM) o la contaminación con materiales radiológicos o biológicos plantea desafíos a todo tipo de operaciones militares y de defensa civil; es una posibilidad que debe contemplar cualquier comandante en todo nivel y teatro, implica preparativos en tiempo de paz, y puede involucrar dimensiones conjuntas o multinacionales[14].

"La Guerra Biológica (BW, por sus siglas en inglés) en particular es de muy difícil detección (pensemos en la Gripe Española de 1918, o la actual pandemia del COVID 19, todavía hay debates de dónde, cuándo y cómo comenzó, si se originó en un laboratorio o si pasó de algún animal al hombre), implica el uso intencional de organismos vivos o sus productos tóxicos para causar muerte, invalidez o lesiones en el hombre, animales o plantas, su objetivo siempre es el hombre, ya sea causando su muerte o la enfermedad, a través de la limitación de sus fuentes de alimentación u otros recursos".[15]

BW y bioterrorismo, virus, bacterias, microbios, parásitos y toxinas no son una novedad en la historia de la humanidad; hoy, a través de la biotecnología, se pueden manipular organismos vivos para fabricar vacunas y controlar plagas, pero también para crear ADM.

La información, el conocimiento y la preparación son el antídoto para la supervivencia ante una catástrofe, el Ébola es un virus mortal "ya ha sido decretado por la comunidad científica como la enfermedad más temible del presente y de los próximos años"[16], hay un peligro cierto de que sea utilizado como arma biológica; fue descubierto en agosto de 1976 en el poblado de Yambuku, en el norte de la República Democrática del Congo (Ébola Cepa Zaire) con una mortalidad del 60 al 90 por ciento, después de tantos años, recientemente (2020) se aprobaría una vacuna[17].

Los agentes o dispositivos CBRNE a menudo se denominan ADM; sin embargo su uso por delincuentes y terroristas puede tener un alcance menor con un número limitado de bajas pero causar un gran efecto psicosocial.

La DCBRN incluye el conjunto de acciones dirigidas a la protección contra toda la gama de agentes químicos, biológicos, radiológicos y nucleares que producen efectos nocivos para la salud, la integridad de los materiales y las operaciones militares. Integra un campo interdisciplinario que incluye a las FFAA, FFSS y los Sistemas Sanitarios (estos últimos referidos tanto a la salud humana como a la animal y vegetal - recordemos el caso del agente naranja como defoliante usado por Estados Unidos en la guerra de Vietnam).

Solo específicamente en el campo de la salud vemos la participación de diferentes saberes y profesiones: médicos, enfermeras, veterinarios, técnicos, farmacéuticos, y bioquímicos, bioingenieros, entre otros. Las acciones de apoyo se centran en la medicina preventiva, la vigilancia de la salud y los programas de higiene[18].

---

13 https://www.who.int/csr/don/11-June-2020-ebola-drc/es/

14 Reglamento USA para sus FFAA, 2016, *"Multi – Service Tactics, Thechniques, and procedures for Healt Service Support in CBRN Enviromental"*, disponible en https://fas.org/irp/doddir/army/atp4-02-7.pdf

15 Del folleto Efectos de los agentes de la guerra biológica, publicado por el Departamento de Salud, Educación y Bienestar de los Estados Unidos de Norteamérica, en julio de 1959, citado por Joel Jardim en su articulo "Guerra química y biológica", recuperado de http://www6.rel-uita.org/agricultura/agrotoxicos/agente-naranja-aun-mata.htm.

16 Ariel Perez Lew (2014), "Ébola el comienzo de una pandemia", Edith Hiel Producciones S.L., disponible en amazon.com

17 https://www.who.int/csr/don/11-June-2020-ebola-drc/es/

18 Renata Simões Barros y José Roberto Pinho de Andrade Lima, 2019, " La actuación del médico veterinario militar de otras naciones en la Defensa Química, Biológica, Radiológica y Nuclear", disponible en http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/RMM/article/view/1890

En la Tabla 1 se presentan en forma muy sintética las amenazas de agentes CBRN en función de tiempo de ocurrencia /reacción antes de que sean visibles las lesiones o enfermedades, la magnitud o área que puede abarcar y la disponibilidad – probabilidad del tipo de amenaza.

TABLA 1. ADVERTENCIA, MAGNITUD Y DISPONIBILIDAD DE MATERIALES PARA INCIDENTES CBRN, ADAPTADO DE DISASTER INFORMATION MANAGEMENT RESEARCH CENTER[19]

Incidente Agente	Advertencia /Tiempo de lesión o enfermedad	Magnitud	Disponibilidad
Químicos	Segundos a Horas	Localizado a Regional	Alto
Biológicos	Días a Semanas	Local/ Global	Medio
Radiológicos	Horas y Días	Local	Medio
Nuclear	Minutos a Horas	Ciudad/ Regional	Bajo
Explosivo	Inmediato	Local	Alto

Adaptado de Disaster Information Management Research Center

Nuevamente nos surgen preguntas:

- **¿Estamos indefensos?**
- **¿Qué medidas de protección podemos adoptar?**
- **¿Estamos preparados?**
- **¿Quién se ocupa?**
- **¿Tenemos instalaciones / laboratorios fijos y móviles para detectar y analizar?** (Por ejemplo: el anexo 2 muestra las facilidades relacionadas con niveles de bioseguridad según normas internacionales)

DOCENCIA - INVESTIGACIÓN – DOCTRINA

Principales Organismos de C&T y Educación militar sobre DCBRN

Muchas son las FFAA que cuentan con organismos militares que se dedican a la docencia e I&D en DCBRN, generalmente las escuelas o facultades están ligadas a universidades militares, facultades de ingeniería (química y nuclear), centros de investigación que incluyen estudios de posgrados y laboratorios de las áreas químicas y nucleares, de sanidad y veterinaria, algunas poseen grandes campus donde capacitan y entrenan a sus cuadros y personal civil de FFSS y de Defensa Civil.

Otras incluyen funciones de coordinación, difusión de información y doctrina con otros organismos especialistas en la temática. La OTAN y la UE tienen proyectos que mantienen organizaciones militares para sus FFAA y FFSS.

El capítulo describe los principales centros militares. En la Figura 4 vemos un cuadro que resume los centros de educación e I&D DCBRN y las disciplinas que abarcan.

1. Estados Unidos:

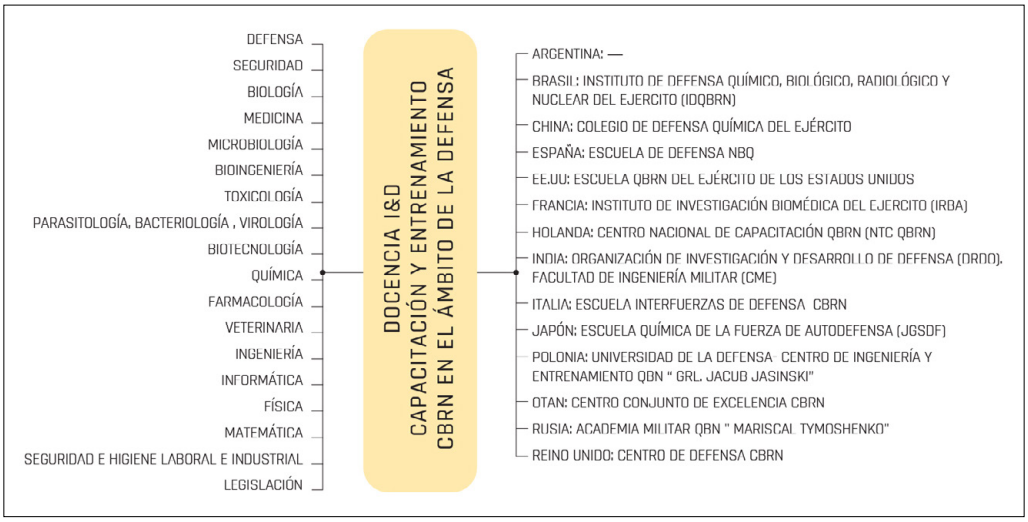
Escuela de Defensa Química, Biológica y Nuclear (USACBRNS) del US ARMY20

La Escuela está localizada en Fort "Leonard Wood", Missouri y ofrece numerosos cursos para los cuadros y soldados de sus FFAA, agencias del Gobierno y militares extranjeros.

19 https://www.nlm.nih.gov/dis_courses/cbrne/01-000.html

20 https://www.goarmy.com/soldier-life/becoming-a-soldier/advanced-individual-training/cbrn-school.html
https://mybaseguide.com/installation/fort-leonard-wood/community/u-s-army-chemical-biological-radiological-and-nuclear-school-usacbrns-2/

FIGURA 4. PRINCIPALES CENTROS DE ESTUDIOS Y DE I&D DEL ÁREA DE LA DEFENSA



La Escuela capacita desde la identificación y detección de amenazas hasta la operación de vehículos y equipos utilizados en operaciones CBRN.

Entre sus instalaciones más relevantes se encuentran:

> El Centro de Capacitación en Defensa Química, donde los estudiantes entrenan y se familiarizan con agentes químicos, isótopos radiactivos y agentes biológicos inertes

> El laboratorio de enseñanza radiológica Edwin Bradley, que es uno de los pocos laboratorios de enseñanza radiológica con licencia de la Comisión Reguladora Nuclear de USA (NRC), proporciona una variedad de capacitación en defensa radiológica y nuclear bajo la supervisión de científicos acreditados.

2. Francia

Instituto de Investigación Biomédica del Ejército (IRBA)[21]

El IRBA es el Instituto de investigación biomédica del ejército, que reúne investigadores de servicio de sanidad del ejército (Médicos, farmacéuticos, veterinarios y paramédicos) que desarrollan programas duales al servicio de las FFAA y de la población civil.

Sus objetivos son mejorar el cuidado y el tratamiento de los enfermos y heridos durante los conflictos armados, proteger y prevenir al sector militar frente a las amenazas vinculadas con su entorno de empleo.

Las temáticas de investigación del Instituto presentan un carácter médico-militar y determinados programas tienen consecuencias en la sanidad pública. Se especializa entre otros programas en riesgos CBRN, realizan sondeos de exposición y el diagnóstico de los agentes infecciosos naturales, es un centro colaborador de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Desarrolla programas para hacer frente a eventos que ponen en peligro la seguridad de las poblaciones civiles como el riesgo NRBQ y enfermedades tropicales.

21 https://www.defense.gouv.fr/espanol/servicio-sanitario/investigacion-biomedica/instituto-de-investigacion-biomedica-del-ejercito

El IRBA forma a los investigadores del Servicio sanitario del ejército otorgando títulos de máster y doctorado. Todas las unidades del IRBA están abiertas a los estudiantes e investigadores civiles y extranjeros en el marco de acuerdos de cooperación.

3. Rusia

Academia Militar QBN "Mariscal Tymoshenko"[22]

La Academia, una verdadera Universidad por la cantidad de disciplinas que abarca, tiene su origen en la Academia Química Militar del Ejército Rojo de 1932, que incluía estudios de ingeniería militar, carreras afines e industriales, contaba con personal docente capaz no solo de proporcionar un alto nivel de capacitación para los estudiantes, sino también de resolver con éxito problemas científicos complejos para los intereses de la defensa del país de aquella época.

Actualmente cuenta con personal docente e investigadores altamente calificados, la formación incluye candidatos en ciencias militares y médicas, estudios de doctorado y otros posgrados.

Como institución militar de educación superior de las Fuerzas Armadas, los temas y contenidos de las áreas de investigación de la academia corresponden a necesidades militares, sus facultades y departamentos reflejan los objetivos prácticos de las Fuerzas Armadas sobre los problemas tecnológicos CBRN, el desarrollo y la producción de materiales especiales, equipos de defensa biológica para las tropas y el medio ambiente, entre otros.

Es interesante resaltar que en su sitio web se enuncia lo siguiente: "Los graduados de la academia cumplieron honorablemente su deber militar en Afganistán, en la operación antiterrorista en el norte del Cáucaso, y en el accidente nuclear de Chernóbil".

Las instalaciones del Instituto Científico y de Investigación en Defensa Radiológica y Química (NII Radiatsionnoy Khimicheskoy i Biologicheskoy Zashchity - NII RKHBZ), ocupan un área de 460 kilómetros cuadrados.

4. China

Army Chemical Defense Academy[23]

La Academia del Ejército Popular de Liberación Chino, fundada en 1950, es una institución de educación superior sobre temas de protección CBRN, para formar cuadros de las Fuerzas Armadas. Es, en sí misma, una universidad con la característica e impronta de las ciencias militares, que se dedica a una serie de disciplinas que incluyen la ingeniería, la biotecnología, la protección radiológica y la seguridad nuclear.

Otorga títulos de bachiller en ingeniería, así como de posgrado, se cursan doctorados y maestrías para candidatos médicos e ingenieros, desarrolla cursos para la Organización Internacional para la Prohibición de las Armas Químicas (OPW) y otras organizaciones del estado.

Posee laboratorios de capacitación profesional, laboratorios nacionales de certificación y acreditación, laboratorios militares de defensa CBRN y de otras disciplinas y campos de entrenamiento, entre otras instalaciones académicas.

Está ubicada en el distrito de Changping, en Beijing.

---

22 http://ens.mil.ru/education/higher/more.htm?id=8690@morfOrgEduc | https://varhbz.mil.ru/

23 http://www.chinamil.com.cn/201311jxjjh/2019-06/26/content_9539455.htm
http://www.cbrneportal.com/china-on-the-defensive/
http://www.whatchina.cn/top-10-military-schools-in-china.html
http://eng.chinamil.com.cn/default.htm

5. India

Faculty of Nuclear Biological Chemical Protection
College of Military Engineering[24]

La Facultad de Ingeniería Militar (CME) es el alma mater del Cuerpo de Ingenieros. "Primero en la batalla y el último en salir" es su lema. El Instituto remonta su existencia a la antigua Escuela de Ingeniería Militar (SME) establecida en 1943.

La CME es responsable de la capacitación del personal del Cuerpo de Ingenieros, además de impartir instrucciones en materia de ingeniería de combate, protección QBRN, ingeniería civil y de información geográfica.

6. Italia

Scuola Interforze per la Difesa Nucleare, Biologica e Chimica[25]

La Escuela Conjunta de Defensa QBRN funciona como un Centro Conjunto de Defensa Química, Biológica y Nuclear. Está ubicada en el cuartel "Verdirosi" en Rieti; su misión institucional principal es capacitar al personal de las Fuerzas Armadas, y otras agencias involucradas en el campo de la defensa QBRN, redactar y difundir publicaciones doctrinales sobre el tema que deben reflejar las directivas de la OTAN y de las FFAA italianas.

El programa educativo incluye un curso a distancia (obligatorio para asistir a cursos presenciales), cursos básicos CBRN, cursos para especialistas y programas de cooperación con universidades.

Desarrolla y promueve eventos sobre la temática, seminarios y conferencias con el objetivo de aumentar y actualizar a la nación en lo relacionado con la defensa CBRN; mantiene vínculos con universidades e instituciones científicas para el desarrollo de la enseñanza y la actualización sobre temas CBRN y participa con representantes propios en los Grupos de Trabajo de la OTAN.

El área de entrenamiento "NUBICH" (NUclear BIological, CHemical), dentro del antiguo aeropuerto "Ciuffelli", incluye muchos escenarios donde realizar actividades prácticas y entrenamiento.

La Escuela supervisa el Centro de Control de Área CBRN (ACC), que es la estructura administrativa de la Red Militar Nacional para la Observación y Advertencia de eventos CBRN.

7. Japón

Ground Self-Defense Force Chemical School[26]

El Japón a lo largo de su historia ha desarrollado y empleado Armas de Destrucción Masiva (Químicas y Biológicas)[27] y ha sufrido dos ataques nucleares, no es objeto de este trabajo hacer un recuento de estas, pero sí es importante recordarlo a los fines geopolíticos, científicos y culturales que influyen el presente (los Estados Unidos empiezan su proyecto de armas biológicas luego de la Segunda Guerra Mundial).

---

24 https://indianarmy.nic.in/Site/FormTemplete/frmTempSimple.aspx?MnId=UHfTkRLOZqLWKJw/24UEzw==&ParentID=/EGXORsYW77EEHBbgQ3LNg==

25 https://cbrnitalia.it/en/nbc-defense-interforces-school/
https://www.difesa.it/EN/SMD/JMI/CBRN/Pagine/default.aspx
https://www.difesa.it/SMD_/EntiMI/ScuolaNBC/Pagine/default.aspx

26 http://nct-magazine.com/august18/interview-with-maj-gen-yoshino/overlay/im-whitepaper-reserved/
https://cbrnecentral.com/japan-ground-self-defense-force-cbrn-training-u-s-army/9991/

27 Martin Lema, "Guerra biológica y bioterrorismo", Siglo XXI editores, Buenos Aires, 2005.
http://www6.rel-uita.org/agricultura/agrotoxicos/guerra_quimica.pdf

Actualmente, la Escuela Química de la Fuerza de Autodefensa de Japón (JGSDF), es un verdadero centro de I&D y educativo universitario militar está ubicada en Omiya.

Establecida en 1956, la misión principal de Campus Omiya Chemical School es desarrollar la capacitación necesaria para adquirir el conocimiento y las habilidades para proteger al personal de JGSDF contra los eventos CBRN, así como para formar a los responsables de defensa civil, la policía, el servicio de bomberos y guardacostas en DCBRNe.

En 1995, Tokio experimentó las consecuencias del ataque Sarín del metro de Tokio perpetrado el 20 de marzo por el grupo terrorista Aum Shinrikyo. En cinco ataques coordinados, los autores liberaron sarín en tres líneas del metro de Tokio durante la hora pico, matando a 13 personas e hiriendo a unas 6.000.

Después de los eventos de terrorismo con ántrax en los Estados Unidos en 2001, las Tropas Químicas japonesas comenzaron un programa de defensa de armas biológicas.

En 2011, Japón sufrió el accidente de la Central Nuclear de Fukushima Daiichi causado por un terremoto masivo y el consecuente tsunami, que condujo a la fusión del núcleo y la liberación de grandes cantidades de radioactividad.

8. NATO – OTAN

Joint Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Defense Centre of Excellence (JCBRN Defense COE)[28]

El JCBRN Defense COE es un organismo militar de la OTAN que ofrece apoyo de educación y entrenamiento, lleva adelante los ejercicios militares de defensa QBRN así como el asesoramiento operativo de defensa QBRN a distintos integrantes de la alianza.

La misión y tareas del Centro JCBRN consisten en desarrollar doctrina y capacidades de defensa CBRN, organizar cursos, talleres y conferencias, además coopera en la temática con la Unión Europea (UE).

En el anexo 1 se agrega un listado de la normativa OTAN – STANAG sobre DCBRN, vigente para sus Fuerzas Armadas.

9. Holanda

Defensie Chemisch Biologisch Radiologisch Nucleair (CBRN) Centrum[29]

El objetivo del Centro de Defensa QBRN (DCBRNC) es proporcionar educación, capacitación y apoyo en el dominio QBRN para el personal militar y los socorristas de Defensa Civil.

En caso de incidentes nacionales QBRN, la organización tiene una Unidad de Respuesta QBRN (CBRN RE) disponible en todo momento. Esta unidad apoya a los servicios y las autoridades civiles de emergencia sobre las medidas que deben tomarse en caso de un incidente o amenaza de ataque QBRN.

El DCBRNC es único en Europa y consta de un equipo multidisciplinario de personal militar y civil que asegura un alto nivel de conocimiento, educación y capacitación en QBRN, está disponible para organizaciones nacionales e internacionales involucradas en la respuesta a incidentes QBRN.

---

28 https://www.jcbrncoe.cz/index.php/organization-65/mission-64
https://www.usanato.army.mil/About-Us/Articles/Article/1513241/joint-chemical-biological-radiological-and-nuclear-defence-centre-of-excellence/#:~:text=Joint%20Chemical%2C%20Biological%2C%20Radiological%20and%20Nuclear%20Defence,Centre%20of%20Excellence%20(JCBRN%20COE)&text=The%20JCBRN%20Defense%20COE%20is,the%20Alliance%20and%20other%20partners.

29 https://www.dcbrnc.nl/english

Las organizaciones de defensa civil y primeros auxilios involucradas en la respuesta a incidentes químicos, biológicos, radiológicos nucleares (QBRN) están representadas en el DCRBNC a través de oficiales de enlace. Estos oficiales son clave para realizar capacitación mono y multidisciplinaria (conjunta) en el Centro Nacional de Capacitación QBRN.

El DCBRNC consta de un Centro especializado de defensa CBRN, la Escuela CBRN, el Centro nacional de capacitación CBRN y la Unidad de respuesta CBRN.

Facilidades del Centro Nacional de Capacitación QBRN

La necesidad de capacitación conjunta es uno de los objetivos clave del Centro, el entrenamiento incluye una amplia gama de situaciones y escenarios diferentes, un laboratorio químico, hospital, supermercado, restaurante, patio ferroviario, laboratorio de drogas ilegales y una estación de metro completa, desde fugas de barriles durante el transporte hasta la producción ilegal de drogas y desde terrorismo internacional hasta incidentes cotidianos.

Los instructores de la escuela QBRN brindan educación inicial y especializada en los diferentes aspectos del dominio QBRN tanto a los aprendices militares como a los civiles. El equipo de instructores proporciona experiencia en el campo de los equipos de protección QBRN, gestión de riesgos, advertencias e informes, detección e identificación de amenazas, contramedidas médicas y descontaminación de personal y materiales.

Mantiene una importante base de conocimiento sobre la defensa QBRN que puede ponerse a disposición de organizaciones civiles y militares para mejorar sus capacidades de defensa QBRN y cuenta con una Unidad de Respuesta QBRN.

10. Polonia

Centrum Szkolenia Wojsk Inżynieryjnych i Chemicznych im. gen. Jakuba Jasińskiego[30] (Centro de Formación en Ingeniería y Fuerzas Químicas General Jakub Jasiński)

El Centro de Formación de Ingeniería y Fuerzas Químicas del ejército polaco, tiene como misión planificar y organizar la educación de los candidatos militares (oficiales y soldados profesionales) de las Fuerzas Armadas, en las áreas propias del arma de ingenieros y a los especialistas en DQBN en todos los niveles.

Respecto de las "Fuerzas Químicas" capacita y entrena en: servicios de laboratorio químico y radiométrico, equipos de reconocimiento descontaminación, mantenimiento y calibración de equipos para detección, reconocimiento y análisis de contaminación y de equipos de protección individual y colectiva DQBN.

11. Reino Unido (UK)

Centro de Defensa Química, Biológica, Radiológica y Nuclear (DCBRNC)[31]

El Centro DCBRNC del ejército británico diseña y lleva adelante los cursos de defensa QBN para sus FFAA; se encuentra en Winterbourne Gunner.

Además del entrenamiento militar, DCBRNC apoya la respuesta civil en asociación con la Agencia de Protección de la Salud y el Departamento de Salud.

30 https://www.jednostki-wojskowe.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=391&Itemid=27

31 https://www.army.mod.uk/who-we-are/our-schools-and-colleges/defence-cbrn-centre/
https://www.gov.uk/government/publications/defence-chemical-biological-radiological-and-nuclear-centre-dcbrnc/defence-chemical-biological-radiological-and-nuclear-centre

El Centro mantiene un grupo intergubernamental a cargo de un cirujano general para desarrollar y orientar la clínica QBRN, capacitación médica e investigación.

12. España

Escuela de Defensa NBQ[32]

La Escuela de DCBRN es el principal centro de educación y capacitación QBRN en España; su misión principal es la formación en las Fuerzas Armadas y de los Cuerpos de Seguridad en la temática, tanto para Oficiales como de Suboficiales; además realiza un Curso de Riesgos NBQ para personal de la Administración local, autonómica y nacional y colabora en cursos organizados por otros Organismos.

Es el centro de referencia militar nacional para doctrina, adquisición de materiales y equipos, estándares de entrenamiento y lecciones aprendidas de todas las FFAA, está ubicada en las cercanías de Madrid.

La Escuela se creó en 1982, pero heredó las misiones y los antecedentes de las unidades y comandos anteriores, que se remontan al comienzo de la guerra química. Hoy en día está integrada con la Escuela de Guerra, en el Centro de Enseñanza Avanzada del Ejército.

Los niveles de competencia en Defensa QBRN se han adaptado de los estándares de la OTAN.

Básicamente existen tres niveles de capacitación:

> Básico: es el entrenamiento para cualquier personal en operaciones militares, está diseñado para proporcionar el conocimiento para sobrevivir en un entorno QBRN.
> Intermedio: proporciona a cierto personal el conocimiento y la capacitación adicional para realizar algunas tareas DCBRN específicas en las operaciones (reconocimiento QBRN, advertencia, operadores de equipos, informes, etc.)
> Especialista: capacita en la planificación y conducción de operaciones.

Representa al gobierno español en los distintos grupos de trabajo de Defensa NBQ de la OTAN y de la Agencia de Defensa de la Unión Europea.

13. Brasil

Instituto de Defensa Química, Biológica, Radiológica y Nuclear del Ejército (IDQBRN)[33]

Escudos de armas del Centro Tecnológico del Ejercito (CTEx) y del Instituto de Defensa Química, Biológica, Radiológica y Nuclear del Ejército (IDQBRN)

El IDQBRN, se dedica a la I&D de productos relacionados con la Defensa QBN, está ubicado en el Centro Tecnológico del Ejercito (CTEx), posee laboratorios fijos y móviles con capacidad de identificar agentes biológicos o cooperar con agencias nacionales e internacionales.

Entre sus capacidades cuenta con:

> El Instituto de Biología del Ejército (IBEx)[34],

---

32 https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Madrid/emdnbq/
http://www.cbrneportal.com/the-spanish-cbrn-defense-school/

33 file:///C:/Users/jparr/Downloads/slides_Application_of_Computatio.pdf

34 https://www.zona-militar.com/foros/threads/not%C3%ADcias-del-ej%C3%A9rcito-de-brasil.10211/page-152
https://www.eb.mil.br/web/noticias/noticiario-do-exercito/-/asset_publisher/MjaG93KcunQI/content/id/11535666

- > El laboratorio de contención con Bioseguridad nivel 3 (NB3) y los dos laboratorios NB2 para investigación científica y análisis relacionados con la defensa biológica del Instituto Biológico del Ejercito (IBEx).
- > Laboratorios de análisis químicos y síntesis orgánicas
- > Un laboratorio móvil químico y biológico
- > Laboratorios de radiobiología, materiales radiados, de identificación de agentes radiológicos, de calidad y verificación de instrumentos
- > Un laboratorio móvil radiológico y nuclear
- > Un área de modelado de escenarios y análisis de riesgos
- > Fracciones equipadas para identificar y descontaminar materiales
- > El 1º Batallón de DCBRN (1er DQBRN Btl)
- > Una Compañía de Defensa QBRN.

El origen del 1º Btl DQBRN se remonta a 1953, cuando se creó la Compañía de Guerra Química, originalmente subordinada al cúmulo de Unidades-Escuela (GUEs), en dependencias de la Escuela de Instrucción Especializada (EsIE).

FFAA - ARGENTINA

14. Argentina

Las FFAA argentinas a la fecha no cuentan con ninguna Escuela o Instituto especializado.

Actualmente el Ejército Argentino (EA) cuenta operacionalmente con una Compañía DQBN, la **"Compañía de Ingenieros, Apoyo a Emergencias Químico, Biológico y Nuclear (QBNR)", orgánica del Batallón 601 del Ejército**, su misión es el apoyo a la comunidad en emergencias y catástrofes naturales o antrópicas en el marco de las operaciones de protección civil[35].

Antecedentes de la DCBRN militares de la República Argentina

Escuela de Guerra Toxica de 1960, otras organizaciones Capacitación y Doctrina desactivados y en funcionamiento relacionadas con DCBRN, en el ámbito civil y militar.

Emblema de la Ex Escuela de Tropas Toxicas del EA creada en 1960 y desactivada en 1969

Si bien a la fecha, como ya se mencionó, el EA no tiene una Escuela o Instituto de capacitación DCBRN, merecen citarse los antecedentes del tema en el EA, dado que demuestran las capacidades con que alguna vez se contaron y que, en 1969, por algún motivo, se abandonaron.

Centro de Instrucción de Guerra Tóxica (CITOX) del Ejército (QBN) y luego, a partir de 1964, Escuela de Guerra Tóxica

El Centro fue creado en 1960 mediante Decreto S273/1960[36] y se constituyó en una verdadera especialidad dentro del EA, en ella se capacitaban cuadros de las FFAA y FFSS.

35 https://www.cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/ancaq

36 https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-273-1960-209100

En los considerandos del Decreto se especificaba:

"Que resulta necesario actualizar los conocimientos de los cuadros del Ejército adecuándolos a la evolución de los procedimientos de conducción y de los nuevos medios de lucha, y que la guerra tóxica constituye una de las formas más importantes de la guerra moderna y que por lo tanto es necesario disponer de un organismo que entienda en todo lo relacionado con la preparación e instrucción del personal superior y subalterno en esa especialidad..."

Su misión consistía en instruir a los cuadros y tropas del Ejército, en todo lo relacionado con la Guerra Tóxica (QBN); capacitar a oficiales y suboficiales de las unidades y organismos para formar los instructores de las unidades en que prestan servicios, dirigir la instrucción de las unidades de guerra tóxica dependientes, realizar experiencias con los materiales y organizaciones a poner en práctica y confeccionar reglamentos técnicos y de conducción para las unidades de Guerra Tóxica.

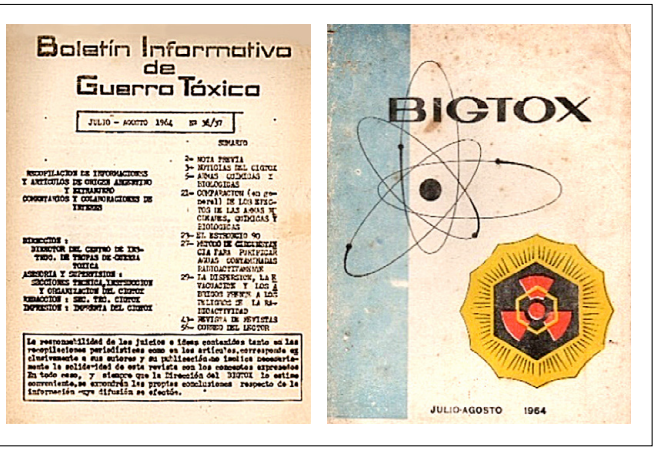
Estas organizaciones contaban con personal militar del Cuerpo Comando de todas las armas y del Cuerpo Profesional[37] - Servicio de Sanidad y Veterinarios: médicos, veterinarios, farmacéuticos y bioquímicos.

Por lo que se ha podido rescatar del Boletín Informativo de Guerra Toxica (BIGTOX) una publicación del CIGTOX, en 1964 se impartían cursos de la especialidad de Guerra tóxica presenciales y a distancia para los cuadros de las FFAA y Gendarmería, se enviaban Oficiales al Cuerpo Químico del US ARMY para cursos de empleo de armas Nucleares e instructores QBN.

Se capacitaba a las "Enfermeras Militares del HMC, y a los alumnos que realizaban el curso de Operaciones Tóxicas para Oficiales del Cuerpo Profesional, incluso pasaban a la reserva como Subtenientes y Cabos de guerra tóxica los Aspirantes a Suboficiales y Oficiales de Reserva (AOR).[38]

En la Figura 5 podemos apreciar una imagen de publicación mensual BIGTOX del año 1964, que tenía por objeto difundir las tecnologías y doctrinas de la guerra QBN en el EA y publicar noticias del Centro, pases, ascensos y cursos realizados.

FIGURA 5. BOLETÍN BIGTOX DEL CENTRO DE INSTRUCCIÓN DE GUERRA TÓXICA DEL EJÉRCITO ARGENTINO



Otros antecedentes relacionados con la DCBRN en el EA actualmente desactivados:

- 1960 - Centro de Instrucción de Guerra Tóxica del Ejército (Dec. Nac. S 273/1960 BUENOS AIRES, 13 de enero de 1960, Boletín Oficial, 6 de marzo de 2013 Individual, Solo Modificatoria o Sin Eficacia, Id SAIJ: DN19600000273.
- 1962 - Inspección de Tropas de Guerra Toxica (CITOX) de la Secretaría de Guerra
- 1962 - Publicaciones BIGTOX de la especialidad Guerra Tóxica.

37 Datos obtenidos de la lectura de los boletines BIGTOX, que hacen referencia a actividades y cursos.

38 Fuente: archivo propio.

- > 1964 – El CITOX cambia de denominación a Escuela de Guerra Tóxica.
- > 1964 – Agrupación Química, Biológica, Radiológica 601- Núcleo.
- > Curso Avanzado de Operaciones Tóxicas para las FFAA y Gendarmería.
- > Curso medio de Guerra Tóxica para Suboficiales del Ejército (por correspondencia y de siete meses de duración).
- > Formación de Subtenientes y Cabos de reserva de Guerra Tóxica.
- > 1967 – Manual sobre el comportamiento de armas químicas en el terreno M34 -1.
- > 2009- Curso de Armas de destrucción masiva y no proliferación en la Escuela Superior Técnica del Ejercito EST[39].

Personal Militar afectado en Organismos de C&T y otros relacionados con DCBRN

En organismos de C&T y de Control, nacionales e internacionales, han cumplido servicios una gran cantidad de Oficiales de las FFAA especialmente de Ejército y la Armada, que por la importancia de los cargos y funciones ejercidas merecen ser mencionados como ejemplo de política institucional.

Se destaca el hecho que, desde su creación, en 1952 hasta 1983, la CNEA estuvo a cargo de la ARA (orgullo para nuestro país y uno de los pocos ejemplos de políticas de estado).

Los Oficiales fueron destinados al ámbito Nuclear como en el Químico: Comisión de Energía Atómica, Instituto Balseiro, Autoridad Regulatoria Nuclear, Fabricas de munición y explosivos, Organización para la Prohibición de Armas Químicas (en este caso, por concurso ante la OPAC), CITEFA (actualmente, CITEDEF), lugares sin duda estratégicos para la Defensa.

En síntesis, el personal militar (ingenieros nucleares, físicos, ingenieros químicos, bioquímicos, etc.) cumplió funciones exitosamente como investigadores, a cargo de proyectos y en áreas de gestión, aportando su formación, cultura castrense y la visión de la Defensa Nacional.

El último egresado militar del Instituto Balseiro (ingeniero nuclear) fue un Oficial del Ejército en 1994.

Organismos y actividades vigentes en el ámbito militar e instrumentos contribuyentes a la misión de DCBRN

- > Formación de Ingenieros militares en Química, Carrera de Ingeniería Química en la Facultad de Ingeniería del Ejercito (FIE) - UNDEF.
- > Tecnicatura y Maestría en Higiene y Seguridad Ocupacional de la FIE.
- > 1995 – Se designa al Centro de Investigación y Desarrollo de las FFAA (CITEDEF) como instrumento de la ley 24534 / 95 sobre "Convención sobre la prohibición del desarrollo, la producción, el almacenamiento y el empleo de armas químicas y su destrucción".
- > 1997 – Se sanciona el Decreto 920/97 que confiere atribuciones y responsabilidades concretas al Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las FFAA (CITEFA) para la organización de cursos y seminarios destinados a la formación de inspectores nacionales y el empleo de su personal y laboratorios.
- > 1998 – Se crea la Compañía de Ingenieros QBN y de Apoyo a la Emergencia 601.
- > 1999 – Se crea el Registro de Armas Químicas - Resolución 9904/1998 de la Secretaria de Industria Comercio y Minería.
- > 2003 – Se publican dos reglamentos del EA "Operaciones en ambiente QBN", ROP – 04 -18, y el "Manual sobre el comportamiento en el terreno de los agentes QBN", MFP-04-03.

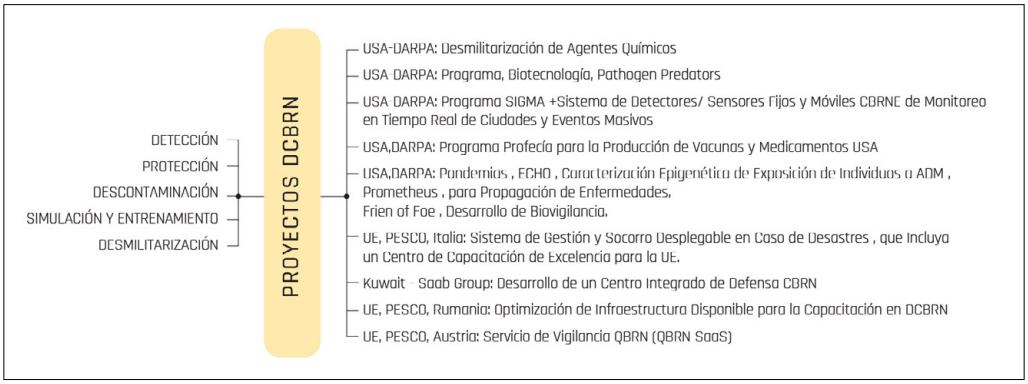
39 http://npsglobal.org/esp/images/stories/pdf/Regimen_Internacional_de_Salvaguardias.pdf

PROYECTOS

Proyectos de C&T, básicos y aplicados relacionados con CBRN

En la Figura 6 se presenta un resumen de proyectos DCBRN actualmente en desarrollo.

FIGURA 6. PRINCIPALES PROYECTOS DBCRN EN DESARROLLO



1. Proyecto de desarrollo y provisión de un centro integrado de defensa QBN en Kuwait por la empresa Saab[40]

Saab, la empresa de defensa y seguridad sueca, asociada con una empresa kuwaití, Bader Sultan & Bros, ha desarrollado y entregado en 2017 al gobierno de Kuwait, el primer centro integrado nacional de defensa QBN, que ya está en funcionamiento. Es el primer centro C4I diseñado para cubrir un país entero con puestos fijos y móviles de sensores y de unidades QBN, mientras que también proporciona capacidad para entrenamiento y simulación.

Durante 2015, Saab ya había entregado el sistema AWR (Automatic Warning and Reporting) a la Guardia Nacional de ese país. El AWR es una solución flexible, modular y fácilmente modernizable para la detección, identificación, alerta, monitoreo y reporte de riesgos QBN. Ayuda al operador a tomar decisiones rápidas y precisas para limitar los efectos de un ataque QBN y es una parte esencial del sistema C4I.

2. Proyecto DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)[41]: Depredadores de Patógenos

El programa Pathogen Predators se centra en el desarrollo de nuevas contramedidas contra amenazas biológicas que involucran agentes bacterianos. Actualmente, la defensa más común contra tal amenaza son los antibióticos tradicionales, pero si bien estos antibióticos han sido notablemente efectivos en el pasado, su uso generalizado ha aumentado el riesgo de que las tropas contraigan infecciones bacterianas resistentes a los antibióticos.

Se necesita un nuevo tipo de medicamento para superar la amenaza que representan las bacterias resistentes a los antibióticos.

---

40 Si bien el proyecto no está en desarrollo es relevante como ejemplo de desarrollo de un sistema integral. https://saabgroup.com/globalassets/cision/documents/2017/20170727-first-integrated-national-cbrn-centre-now-operational-in-kuwait-en-0-2630892.pdf

41 https://www.darpa.mil/program/pathogen-predators

3. Proyecto DARPA: Desmilitarización de Agentes Químicos (ACDC)[42]

La destrucción en grandes cantidades de agentes de guerra química (CWA) y precursores orgánicos es un desafío importante para la comunidad internacional. Los procedimientos actuales requieren el transporte de agentes desde el sitio de almacenamiento a un sitio de neutralización. Garantizar el transporte seguro del agente puede agregar costos y tiempo significativos al proceso. El programa de Desmilitarización de Agentes Químicos (ACDC) de DARPA está explorando nuevas tecnologías para neutralizar los agentes químicos y precursores orgánicos en o cerca del sitio de almacenamiento. ACDC está desarrollando las tecnologías necesarias para construir un sistema prototipo transportable que convierta los compuestos orgánicos en óxidos de carbono, nitrógeno, fósforo o azufre constitutivos y sales de metales alcalinos o alcalinotérreos estables, u otra forma segura.

4. Proyecto DARPA: Derrota de patógenos (Profecía)[43]

El Departamento de Defensa de USA busca avances en la atención médica para garantizar que los combatientes puedan operar al máximo rendimiento. En este contexto, el programa Prophecy (Pathogen Defeat) explorará la evolución de los virus con la esperanza de predecir mutaciones virales y en última instancia desarrollar medicamentos y vacunas.

Según el Instituto Nacional de Alergias y Enfermedades Infecciosas, en los últimos 20 años, de los patógenos recientemente reconocidos que afectan la salud humana y animal, aproximadamente el 44 por ciento son virus.

Muchos de estos patógenos, en particular los virus se caracterizan por una alta tasa de mutación que les permite adaptarse rápidamente a un entorno cambiante, como ocurrió en la pandemia de H1N1 en 2009. Además, muchos virus sufren eventos genéticos que alteran significativamente el genoma viral. Estos cambios pueden producir viriones capaces de evadir la inmunidad existente en el convaleciente o adquirida con la vacuna.

Los agentes antivirales y las vacunas actuales están diseñados para proteger contra virus que ya son endémicos, virulentos y médicamente significativos para la salud humana o animal.

Con la excepción del pronóstico limitado del virus de la influenza basado en estadísticas globales desiguales, actualmente no existe una capacidad confiable para predecir el reordenamiento viral o las mutaciones responsables de la aparición de nuevas cepas virales. Esta brecha de capacidad deja a los militares vulnerables a los efectos perjudiciales para la salud de las futuras cepas virales y, por lo tanto, representa un riesgo significativo para la preparación militar.

El programa Profecía busca transformar la empresa de desarrollo de vacunas y medicamentos de observacional y reactivo a predictivo y preventivo.

5. Proyecto DARPA: SIGMA + [44]

El proyecto se basa en el diseño y desarrollo de sensores para detectar amenazas Químicas y Nucleares.

El programa SIGMA comenzó en 2014, demostró una capacidad a escala de una ciudad para detectar amenazas radiológicas y nucleares; a partir de 2019 se está implementando operativamente.

El programa SIGMA + tiene como objetivo expandir la capacidad de SIGMA para detectar materiales radioactivos y nucleares mediante el desarrollo de nuevos sensores y redes que también alertarían a las autoridades sobre amenazas químicas, biológicas y de explosivos.

---

42 https://www.darpa.mil/program/agnostic-compact-demilitarization-of-chemical-agents

43 https://www.darpa.mil/program/prophecy-pathogen-defeat

44 https://www.darpa.mil/program/sigma

SIGMA + exige el desarrollo de detectores altamente sensibles y análisis de inteligencia avanzados para detectar rastros minuciosos de diversas sustancias relacionadas con amenazas de armas de destrucción masiva (ADM). Utilizará una infraestructura de red común y una estrategia de detección móvil, un concepto que se demostró eficaz en el programa SIGMA.

La red de detección de explosivos químicos, biológicos, radiológicos, nucleares y de alto rendimiento (CBRNE) SIGMA + sería escalable para cubrir una gran ciudad metropolitana y su región circundante.

6. Proyectos DARPA y otras agencias gubernamentales: Pandemia COVID-19[45]

DARPA tiene varios programas actuales dedicados a la pandemia COVID – 19 para detectar rápidamente la exposición y / o infección en individuos sintomáticos y asintomáticos:

> **Proyecto caracterización y observación epigenética (ECHO),** tiene como objetivo construir un dispositivo que analice la "huella digital" epigenética de un individuo para revelar potencialmente un historial detallado de la exposición de ese individuo a patógenos, productos químicos o incluso ADM.

Se prevé que la misma tecnología podría proporcionar diagnósticos rápidos para las personas que pueden haber estado expuestas a COVID-19, proporcionando una señal oportuna para aplicar contramedidas médicas efectivas.

> **Proyecto Prometheu**s para desarrollar una prueba molecular para determinar si un individuo puede propagar la enfermedad después de la exposición a un agente infeccioso y predecir dentro de las 24 horas posteriores a la exposición si ese individuo se volverá contagioso.

> **Proyecto Friend of Foe:** tiene como objetivo desarrollar tecnología de biovigilancia que pueda detectar patógenos bacterianos.

7. Proyectos de la Unión Europea bajo la estructura de cooperación en Defensa (PESCO)[46]

La Unión Europea desarrollo una Estructura de Cooperación Permanente (PESCO)[47], de la que forman parte 25 del total de 27 de sus FFAA. Han suscripto compromisos para invertir, planificar, desarrollar y operar capacidades de defensa de manera conjunta, dentro del marco de la Unión.

El objetivo es llegar conjuntamente a un espectro completo coherente y eficiente de las capacidades de defensa disponibles para misiones y operaciones nacionales y multinacionales (UE, OTAN, ONU, etc.).

Dentro de PESCO se han desarrollado una serie de proyectos en los que también incluyen capacidades DCBRNE.

8. Proyecto UE - PESCO, Rumania, de Infraestructura para la Capacitación en Defensa QBRN (BRNDTR)[48]

Coordinado por Rumania en los que participan Francia e Italia, el proyecto aborda la capacitación individual y colectiva estandarizada de DCBRN, utilizando las instalaciones e infraestructura exis-

45 https://www.darpa.mil/work-with-us/covid-19

46 https://pesco.europa.eu/

47 https://pesco.europa.eu/

48 https://pesco.europa.eu/project/cbrn-defence-training-range-cbrndtr/

tentes. Su objetivo es desarrollar aún más las instalaciones actuales como soporte a un espectro completo de capacitación práctica, incluida la capacitación de agentes químicos en vivo, para especialistas en DCBRN y unidades pequeñas, hasta el nivel Batallón.

9. Proyecto UE- PESCO, Austria, "Servicio deVigilancia QBRN (QBRN SaaS)[49]
Coordinado por Austria, el proyecto "Servicio de Vigilancia CBRN (SaaS CBRN) busca establecer una red de sensores tripulados y no tripulados, persistentes y distribuidos, que conste de sistemas aéreos no tripulados (UAS) y sistemas terrestres no tripulados (UGS) que serán interoperables con sistemas heredados para proporcionar una imagen CBRN para las misiones y operaciones de la UE.

10. Proyecto UE- PESCO, Italia, Sistema desplegable en caso de desastres[50]**,**
Servicio de Vigilancia QBRN
El sistema con capacidad militar de socorro en casos de desastre, será capaz de gestionar una serie de emergencias, incluidos desastres naturales, emergencias civiles y pandemias; tiene como objetivo el establecimiento de un nuevo Centro de Excelencia de Capacitación en Socorro en Desastres de la UE con capacidad de despliegue.

INDUSTRIA – TECNOLOGÍA DISPONIBLE

Industria DCBRN y jugadores clave[51] – Tecnologías y productos

En la Figura 7 se pueden apreciar los principales referentes de la Industria DCBRN y los productos que desarrollan.

Dada la gran variedad de bienes y servicios que producen en algunos casos estas empresas, se mostrará, a modo de ejemplo, alguno de ellos tratando de abarcar mínimamente los equipos indispensables en la DBCRN.

Queda para otro estudio recopilar las hojas de datos técnicos de las tecnologías disponibles.

Tres funciones asociadas a la tecnología de los detectores:
> **detectar para advertir**
> **detectar para proteger**
> **detectar para tratar**

Inicialmente, la detección de agentes de guerra química se realizaba mediante papeles reactivos y medios absorbentes, y posteriormente estos medios se automatizaron para la generación de alarmas mediante sensores y se comenzaron a incorporar tecnologías para el muestreo del aire.

En la figura 3 vemos un kit desechable, una simple cartilla de papel que cabe en un bolsillo del soldado, para la detección de líquidos de agentes químicos de tres vías - G, H, V (G: Neurotóxico, H: Vesicante, V Nervioso en líquido), usado para el combatiente individual por las FFAA USA, que puede realizar hasta 24 tests.

---

49 https://pesco.europa.eu/project/chemical-biological-radiological-and-nuclear-cbrn-surveillance-as-a-service-cbrn-saas/

50 https://pesco.europa.eu/project/deployable-military-disaster-relief-capability-package/

51 *Informe de investigación de mercado de defensa QBRN: pronóstico global para el informe 2023* https://www.marketresearchfuture.com/reports/cbrn-defense-market-1296

FIGURA 7. PRINCIPALES JUGADORES DE LA INDUSTRIA DCBRNE Y SUS PRODUCTOS

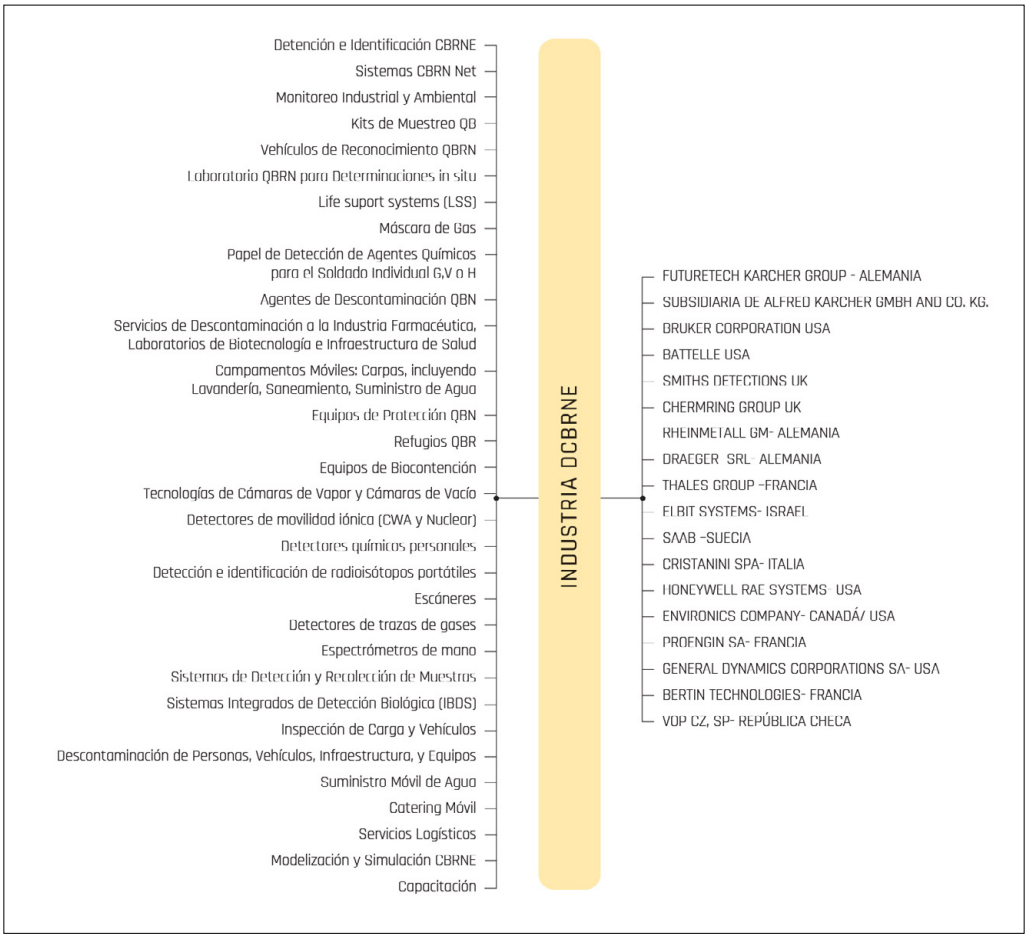
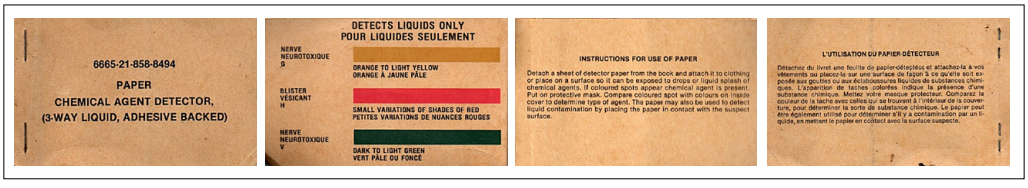


FIGURA 3. PAPEL / CARTILLA DE BOLSILLO 6665-21-858-8494 PARA DETECCIÓN DE LÍQUIDOS DE AGENTES QUÍMICOS DEL COMBATIENTE INDIVIDUAL DE TRES VÍAS, G, H, V (G: NEUROTÓXICO, H: VESICANTE, V NERVIOSO EN LÍQUIDO), USADO PARA EL COMBATIENTE INDIVIDUAL POR DIFERENTES FFAA, CONTIENE HASTA 24 DETERMINACIONES[52]



52 Los papeles del Detector de líquido de agente químico se diseñaron para satisfacer la necesidad de un método simple y rápido de detección y diferenciación entre los tres grupos principales de agentes de guerra química líquida.

Principales jugadores y productos

1. Kärcher Futuretech GmbH[53] - Alemania

Con sede en Schwaikheim, cerca de Stuttgart, es una subsidiaria de Alfred Kärcher GmbH & Co. KG desarrolla y fabrica sistemas de descontaminación QBRN, suministro de agua, catering móvil y campamentos para operaciones militares y de defensa civil a nivel mundial.

Ha provisto equipos a las FFAA de Brasil, Austria, Países Bajos, Omán, Arabia Saudita, entre otros servicios logísticos de carácter militar y de defensa civil.

> Sistemas móviles de descontaminación
> Contenedores de descontaminación
> Sistema de módulos para la descontaminación

2. Bruker Corporation[54] - Estados Unidos

Es una de las principales empresas de instrumentación analítica del mundo. Desarrolla instrumental científico de alta gama para los mercados académicos, farmacéutico /biotecnológico, diagnóstico clínico e industrial, así como para el sector militar y de seguridad.

Desarrolla, fabrica y suministra tecnologías que incluyen equipos de respuesta de emergencia, ofrece sensores con capacidad de detección e identificación de agentes QBRNE.

Ha desarrollado sistemas de Comando y Control DCBRN con monitoreo automático continuo para agentes de guerra química, químicos industriales tóxicos y contaminación radioactiva.

Detector portátil, **RAID-M 100** puede detectar, identificar, cuantificar y monitorear continuamente los niveles de concentración de los agentes de armas químicas (CWA) y TIC.

3. Chemring Group[55] - Reino Unido

Chemring es un proveedor e integrador de sistemas de detección de amenazas químicas y biológicas. Sus productos en este campo incluyen:

---

53 https://www.karcher-futuretech.com/es/
http://www.cbrneportal.com/industry-profile-karcher-futuretech/

54 https://www.bruker.com/applications/homelandsecurity/military.html

55 https://www.chemring.co.uk/what-we-do/sensors-and-information/chemical-and-biological-detection/chemical-detection

> Espectrómetros de mano, para identificación de vapores químicos, de explosivos y otras sustancias (por ejemplo, narcóticos), de vapores de agentes nerviosos.
> Sistemas de detección química para diferentes plataformas (terrestres, aéreas y marítimas).
> Sistemas de detección de virus, esporas, bacterias y toxinas, de detección y recolección biológicas y de identificación de agentes biológicos.

El sistema **JSLSCAD** detecta, identifica e informa los vapores de agentes nerviosos y de ampollas a distancias de hasta dos kilómetros en el campo de combate.

ATHINA® DC200 en un sistema integrado de detección y recolección de partículas que proporciona una alerta temprana de amenazas biológicas y detecta bacterias, esporas, virus y toxinas.

4. Smiths Detection[56] **– Reino Unido**

Se dedica a proveer soluciones de seguridad avanzadas en los mercados civiles y militares de todo el mundo, desarrolla y fabrica productos tecnológicos para detectar e identificar explosivos, agentes químicos y biológicos.

Es parte de Smiths Group, un líder global en la aplicación de tecnologías avanzadas en detección de amenazas. Emplea alrededor de 23.000 personas en más de 50 países.

HazMatID Elite Identificador químico FT-IR de mano.

Análisis automatizado de mezclas con alertas prioritarias de explosivos, CWA, TIC y narcóticos.

5. Organización Battelle[57] **- Estados Unidos**

Es una organización sin fines de lucro, dedicada a la C&T, el desarrollo de ingeniería y la innovación, en el área de defensa ofrece soluciones de DCBRN, desmilitarización química, servicios y equipos de toxicología de alto riesgo y biocontención, asistencia y soluciones para la salud pública.

---

56 https://www.smithsdetection.com/about-us/our-business/
https://www.smithsdetection.com/market-sectors/defence/

57 https://www.battelle.org/laboratory-management

Es interesante detallar algunos de sus laboratorios que están dedicados al servicio de la seguridad nacional:

> **Laboratorio Nacional Brookhaven (BNL)**
Se dedica a la investigación fundamental en física nuclear y de partículas, aplica la investigación de nanomateriales a los desafíos energéticos y realiza una investigación interdisciplinaria sobre el cambio climático, la energía sostenible y los ecosistemas de la Tierra.

> **Laboratorio Nacional Lawrence Livermore (LLNL)**
Tiene la misión de fortalecer la seguridad de la nación, reduciendo la amenaza global del terrorismo y las armas de destrucción masiva.

> **Laboratorio Nacional de Los Álamos (LANL)**
Trabaja para diversas agencias gubernamentales, incluidos el Departamento de Energía, el Departamento de Defensa y el Departamento de Seguridad Nacional, la estrategia de LANL refleja las prioridades de Estados Unidos, que abarcan seguridad nuclear, inteligencia, defensa, respuesta de emergencia, no proliferación, lucha contra el terrorismo, seguridad energética, amenazas emergentes y gestión ambiental.

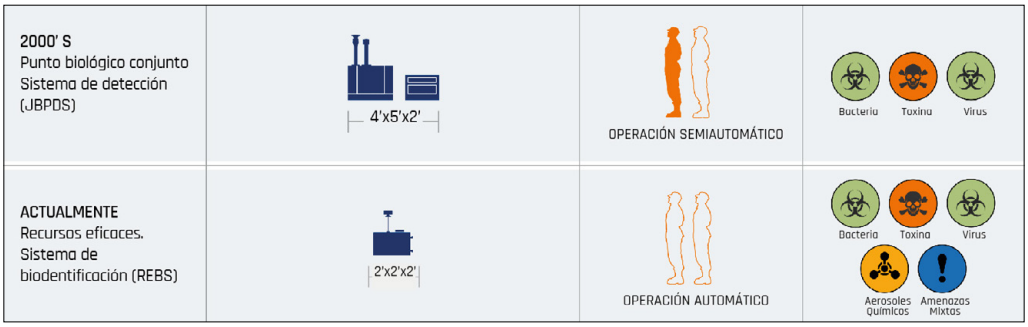
LANL es administrado por Triad National Security, LLC (Battelle, The Texas A&M University System y University of California son las compañías miembro de LLC).

> **Centro Nacional de Análisis y Contramedidas de Biodefensa (NBACC)**
Se dedica a realizar análisis biofísicos para obtener las evidencias de un biocrimen o ataque terrorista y proporciona datos científicos para investigaciones judiciales.

El laboratorio también realiza estudios y experimentos de laboratorio para llenar los vacíos de información para comprender mejor las amenazas biológicas actuales y futuras.

NBACC es administrado por Battelle National Biodefense Institute, LLC (Battelle es la compañía miembro de LLC).

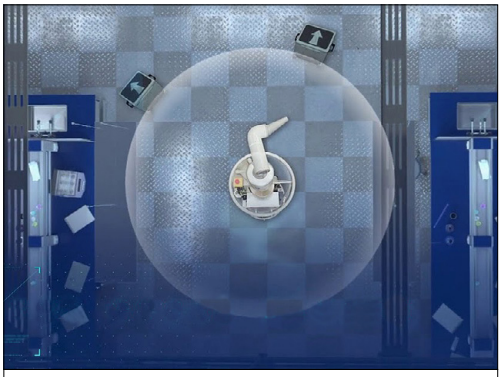
Sistema desarrollado para las FFAA



6. Bioquell[58] **– Reino Unido**

Empresa de servicios que brinda soluciones de reducción de riesgos para la industria farmacéutica, de biotecnología y de salud.

Se especializa en la descontaminación de contaminantes biológicos (bacterias, virus, hongos, esporas entre otros), con vapor de peróxido de hidrogeno.



El proceso automatizado llena la habitación con vapor de peróxido de hidrógeno al 35% de Bioquell.

El ciclo se completa y la zona está inmediatamente lista para su uso.

7. Rheinmetall AG[59] **– Alemania**

Con el lema "la protección de las Fuerzas es nuestra misión", el Grupo empresario dedicado al sector de defensa y seguridad es uno de los principales proveedores de las Fuerzas Armadas de la Unión Europea.

En el área de DCBRN, es el principal proveedor mundial de sistemas móviles de reconocimiento QBRN y desarrolla blindados todo terreno para operaciones militares, vehículos ligeros para las fuerzas de seguridad, laboratorios móviles de campo para determinaciones in situ. Algunos de sus clientes principales son las fuerzas de la OTAN y el cuerpo de bomberos alemán.

---

58 https://www.bioquell.com/life-sciences/systems-and-services/decontamination/?lang=en-uk

59 https://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/systems_and_products/nbc_reconnaissance_systems/index.php

Sistema de reconocimiento NBC blindado Fuchs / Fox, equipado con detectores de última generación incorporados, el sistema puede determinar rápidamente la presencia de contaminación NBC en el suelo y en el aire, cubriendo grandes áreas.

Laboratorios de campo QBRN móviles. El equipo analítico más moderno se instala dentro de los refugios estándar de la OTAN que se pueden desplegar en camión, avión, tren o barco.

8. Dräger[60]. SRL – Alemania

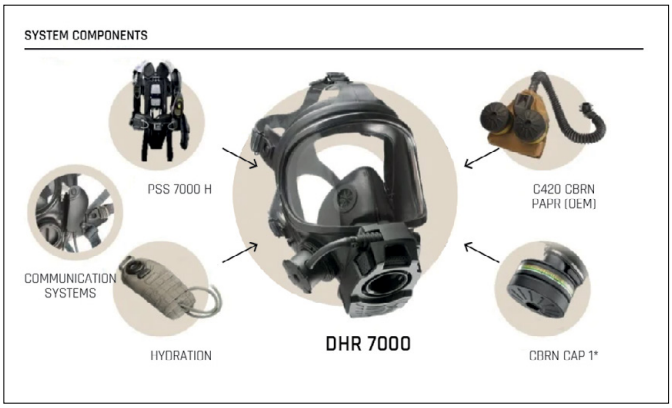
Dräger una empresa de tecnología médica y de seguridad, creada en 1889. Tiene una larga tradición en DCBRN: desde principios de 1900 fabricó equipos de rescate para mineros (Drägermen) y durante la Segunda Guerra Mundial se le asignó la producción de equipos de protección química.

Actualmente en tecnología DCBRN, diseña y fabrica una serie de detectores y protectores QBRN, incluidos los equipos para identificar agentes de armas químicas. También se especializa en protección respiratoria y descontaminación.

Kit de Prueba de defensa QBN. Puede medir cinco gases o vapores a la vez, identificar y medir ocho agentes de guerra química en el lugar en menos de cinco minutos, que incluyen:

> Compuestos orgánicos básicos de nitrógeno (mostaza nitrogenada)
> Cianuro de hidrógeno
> Compuestos orgánicos de arsénico y arsina
> cloro
> Fosgeno
> Tioéter (mostaza sulfurada)
> Cloruro de cianógeno
> Ester de ácido fosfórico

60 https://www.draeger.com/Corporate/Content/the-history-of-draeger-en.pdf
https://www.draeger.com/Library/Content/9107144-19031-cbrn-br-en-us.pdf



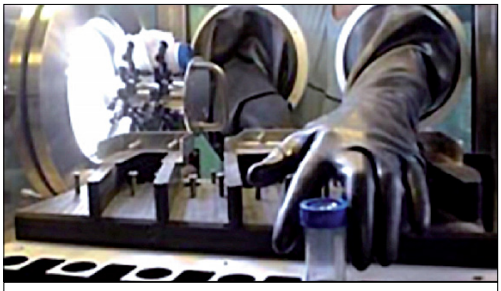
Respiradores y máscaras Dräger
> CDR 4500
> DHR 7000

9. Thales Group[61] **- Francia**

El Grupo Thales es una empresa francesa de electrónica dedicada al desarrollo de sistemas de información y servicios para los mercados aeroespacial, de defensa y seguridad.

En especial, se dedica al desarrollo de ingeniería en sistemas de Comando, Control, Comunicaciones, Computación, Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (C4ISR), seguridad urbana y de infraestructura, defensa aérea y guerra electrónica.

En DCBRN interviene en el desarrollo de proyectos con diferentes organismos y Fuerzas Armadas de la Unión Europea y Suiza sobre: Laboratorios de identificación de campo (estándar) de la OTAN (STANAG 4632), vehículos blindados de reconocimiento, vehículos de control QBRN para servicios de defensa civil y extinción de incendios, arquitectura de defensa QBRN, software de gestión y balizas de alerta QBRN, equipos de protección NBC, provisión de equipos de detección de químicos y kits de muestreo, y sistemas de detección biológica y equipo de prueba asociado.



El sistema desarrollado por Thales y Euro Bio Concept comprende aisladores transportables que pueden desplegarse en el campo para el procesamiento y análisis biológico de muestras, como los patógenos de clase 4.

Sistema C2
PELICANO: Plataforma de software para evaluación de los sistemas de defensa QBRN

61 https://www.thalesgroup.com/en/markets/defence-and-security/protection-systems/cbrne-solutions
http://tda-armements.com/sites/default/files/medias/documents/Thales%20CBRN%20Brochure%20uk%20062016.pdf

10. Elbit Systems Ltd.[62] **- Israel**

Es una de las principales empresas fabricantes de materiales electrónicos de Defensa en Israel con sede en la ciudad de Haifa. Entre sus actividades comerciales, desarrolla desde municiones hasta sistemas UAV y C4ISR.

En DCBRN, provee equipos modulares que funcionan como parte del soporte vital del vehículo (especialmente para sus blindados) y se utiliza junto con los sistemas de climatización o como sistema independiente.

Elbit Systems Kinetics
Equipo de protección QBRN, para vehículos de combate blindados: proporciona aire acondicionado, ventilación, y calefacción.

11. SAAB[63] **- Suecia**

SAAB: "Aeroplane Company Limited" se dedica principalmente a la producción de aviones de combate, en el área de DCBRN desarrolla equipos para aeronaves.

En 2017 entregó al gobierno de Kuwait el primer centro integrado nacional de defensa QBN. El Centro C4I fue diseñado para cubrir el país entero con puestos fijos y móviles de sensores y de unidades QBN, que tiene capacidad para entrenamiento y simulación.

Kit de muestreo CBRN / TIM
Estuche portátil con una gama seleccionada de equipos de muestreo. Proporciona a los equipos de primera respuesta, con todas las herramientas que necesitan para llevar a cabo una recolección de campo eficiente, adecuada y segura de todo tipo de agentes químicos, biológicos y radiológicos, incluidas las toxinas y otros materiales industriales tóxicos.

---

62 https://elbitsystems.com/about-us-introduction/ | http://www.elbitsystems-us.com/land

63 https://saab.com/
https://saabgroup.com/globalassets/cision/documents/2017/20170727-first-integrated-national-cbrn-centre-now-operational-in-kuwait-en-0-2630892.pdf
https://saab.com/land/force-protection/cbrn/cbrn-sampling-equipment/?gclid=CjwKCAjwi_b3BRAGEiwAemPNUyUBKBnfs_mebCw1C41TU79Y0lOh9JdlX_RON94WHKr5OyXjCPOylhoCaJIQAvD_BwE

12. Cristanini SpA[64] – Italia

Es un prestador de servicios e integrador de tecnologías DNBQR italiano.
En América Latina ha proporcionado laboratorios móviles y sistemas tácticos de remolque de descontaminación y estaciones fijas de descontaminación para la copa mundial de futbol de 2016 en Brasil, es proveedor del Ejército brasilero[65].

El EA ha adquirido algunos equipos de la empresa.

Estación inflable para descontaminación y detoxificación masiva de personas, con mezclador automático descontaminante BX 29 certificado para ser utilizado directamente sobre la piel humana, con tres vías separadas para hombres, mujeres y personas heridas. Capacidad de descontaminación: 120 personas / h y heridos: 7 personas / h
IMFL – Laboratorio biológico autónomo de campaña, diseñado para ser utilizado en las zonas contaminadas y en condiciones climáticas extremas. Permite la identificación de agentes biológicos a través de análisis de diferentes matrices (líquidos, sólidos, aerosoles, paños).

13. Honeywell RAE Systems[66] – Estados Unidos

Es un proveedor de instrumentos y sistemas de detección de gases y radiación en tiempo real de alcance mundial. Entre sus clientes se encuentran BP, Chevron y Total Petroleum en el sector energético, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos y la Armada y el Departamento de Seguridad Nacional.

Ofrecen servicios de monitoreo portátil para eventos públicos y deportivos.

Area RAE Pro
Monitorea hasta siete amenazas, entre las que se incluyen radiación gamma, compuesto orgánicos volátiles (COV), combustibles, tóxicos y oxígeno. Nivel de rendimiento de ppb en la medición de COV, ranura de sensor gamma dedicada, estación meteorológica local, con configuraciones inalámbricas ISM y Wi-Fi.

64 https://www.cristanini.it/spa/productos/descontaminaci%C3%B3n-nbqr

65 http://cefadigital.edu.ar/bitstream/1847939/550/1/TFL%20LEO%202013%20P3D3_91.pdf

66 https://www.raesystems.com/solutions/national-security-military

14. Environics Company[67]
Canadá – Estados Unidos
Es una empresa dedicada a detección e identificación de agentes CBRN, a la seguridad CBRN individual y de infraestructura critica. Realiza la gestión integral de proyectos, soporte de ingeniería y entrenamiento sobre sus equipos.

El **ChemPro100i** es un detector portátil de gases y vapores para la detección y clasificación de productos químicos industriales tóxicos (TIC) y agentes de guerra química (CWA).

El kit tiene módulos adicionales para permitir la identificación rápida de radiación gamma y de rayos X peligrosos y varios agentes biológicos como: Ántrax, SmallPox, SEB, Yersinia, Tularemia, Botulinum, Ricin Toxin.

15. Proengin SA[68] **– Francia**
Proengin se especializa en sistemas de detección de agentes de guerra química y biológica con el uso de la espectrometría de llama.

Diseña, desarrolla y fabrica toda su gama de productos que abarca sistemas para vehículos, barcos, infraestructuras y detectores de mano, es proveedor de equipos a las fuerzas francesas, la defensa civil y la policía, y de diferentes FFAA: incluido Estados Unidos (Personal de primera respuesta, Ejército), Israel (Fuerzas Armadas y Policía), Japón, Australia (Fuerzas Armadas y Defensa Civil), Suecia (Fuerzas Armadas, Defensa Civil, Guardacostas) Real Fuerza Aérea del Reino Unido, Italia (Fuerza Aérea, Policía), Portugal y España.

Detector químico **AP2C** portátil, para control de contaminación por agentes G (GA, GB, GD, GF), VX y HD en forma de vapor o aerosoles. Adecuado para uso militar (encendido rápido, medida inmediata, operación con una sola mano, simplicidad de uso, capacidad para apagarse sin precauciones).

El **AP4C-F** es un detector de agentes de guerra química en tiempo real, se utiliza en el campo de combate o en un entorno urbano sobre plataformas móviles para misiones de reconocimiento. Detectan simultáneamente material industrial tóxico.

67 https://www.environics.fi/company/ ; https://www.environics.fi/us/

68 https://www.defence-industries.com/suppliers/proengin

16. General Dinamics Corporations SA[69] (GD) – **Estados Unidos**

General Dynamics es un conglomerado de empresas estadounidense del sector aeroespacial y militar, fruto de la fusión de numerosas compañías.

El **M93A1 / M93A1P1** Fox es un vehículo de reconocimiento CBRN desarrollado por General Dynamics Land Systems (GDLS) y Henschel Wehrtechnik. El conjunto de sensores NBC integra la alarma de agente químico de detección remota M21 (RSCAAL), el espectrómetro de masas móvil MM1, el monitor de agente químico (CAM) o el monitor de agente químico mejorado (ICAM), el detector de agente químico automático Beta Radiac AN / VDR-2 y M22 / alarma (ACADA).

17. Bertín Technologies[70] **Francia**

Es una empresa de ingeniería de origen francés. Desarrolla y proporciona productos en los campos de la atención médica y la defensa militar. Se especializa en detección química y biológica y en monitoreo radiológico y nuclear.

Coriolis RECON es un muestreador de bio-aire portátil, ligero y resistente para la recolección de agentes de guerra biológica para operaciones militares o de primera respuesta.

El **SaphyRAD MS** es un medidor de levantamiento múltiple con funciones de medición de tasa de dosis gamma y detección de contaminación diseñado para operaciones militares.

69 https://cbrnecentral.com/dod-cbrn-modeling-software-contract-awarded-general-dynamics/10734/
https://cbrnecentral.com/joint-effects-model-jem-cbrn/4285/
https://www.army-technology.com/projects/m93a1-m93a1p1-fox-nbc-reconnaissance-vehicle/

70 https://bertin-technologies.com/
https://www.bertin-instruments.com/bertin-instruments-to-exhibit-its-cbrn-threat-detection-solutions-cbrne-convergence-europe-london-may-16th-18th/

18. VOP CZ, sp[71] **– República Checa**

La compañía se dedica principalmente a la reparación de equipos militares de sus FFAA y al desarrollo de ingeniería. En DCBRN sus productos incluyen sistemas de descontaminación modulares con configuraciones adecuadas para personal y material.

SDO sistema de descontaminación de personal

LINKA-08 **Descontaminación de vehículos**

Conclusiones

La investigación pone de manifiesto los recursos disponibles en nuestro país y alerta sobre las carencias y necesidades, tanto en lo material como lo doctrinario, especialmente se destaca que:

- En un mundo cada vez más complejo e interconectado, la posibilidad de accidentes, de emergencias de origen natural, o de la ejecución deliberada por actos terroristas o ataques no es un escenario lejano.
- La pandemia del Covid-19 se debe asumir como una la lección (tomada imaginariamente como la resultante de un arma biológica), demuestra que ningún país puede permanecer seguro, si se usa el arma biológica.
- No existe un organismo ni a nivel mundial ni local para el control sobre las "Armas Biológicas y Toxinicas", por la dificultad de su implementación (la amenaza biológica es silenciosa y difícil de evaluar).
- El virus del Ebola es un ejemplo del peligro que acecha, fue descubierto en 1976 y aún está en desarrollo la vacuna.
- Los agentes químicos y bilógicos son más fáciles y económicos de producir que las armas nucleares.
- Las potencias nucleares están modernizando sus arsenales.
- La demanda de tecnología DCBRN (de uso dual) está creciendo en todo el mundo. Los sistemas de C3I, los no tripulados y los basados en múltiples sensores que detectan e identifican agentes QBN son las demandas de proyectos actuales.
- **Las FFAA de los principales países cuentan en el área de Defensa con universidades, escuelas o centros militares para mantenerse al día con las amenazas CBRNE. Capacitar, entrenar, planificar, desarrollar doctrina y tecnología son algunas de sus misiones.**

71 http://www.vop.cz/; http://www.vop.cz/en/kategorie/nbc-protection.aspx

> El EA no tiene una Escuela o Instituto de capacitación DCBRN.
> Las capacidades / equipamiento de respuesta militar del EA no son suficientes.
> Un tema de estudio es la falta de un marco jurídico específico que regule el funcionamiento de la Unidad DQBN Operativa del EA. Se la muestra como herramienta de la ANCAC, pero el EA solo puede actuar frente a la agresión de un Estado, no de fuerzas irregulares o por atentados.
> Las amenazas CBRN están latentes.

Concretamente las FFAA argentinas no cuentan con un centro de C&T y Educación Superior DCBRN, perdieron esa capacidad en la década del 60 cuando dejó de funcionar la Escuela de Tropas Tóxicas (léase QBN). No se poseen laboratorios móviles, ni capacidad de detección nuclear ni detección e identificación de agentes biológicos o de análisis e identificación químicos, entre otros medios.

A pesar de la realidad económica actual, es posible y necesario integrar capacidades con el objetivo de construir una estructura que a futuro planifique y desarrolle capacidades de DCBRN. Para ello se propone que se articulen en la tarea organizaciones ya existentes como: la Escuela de Ingenieros (por su incumbencia en el tema), la Facultad de Ingeniería del Ejército (carrera de ingeniería química y de posgrados), la Escuela Superior de Guerra del Ejército (doctrina y estrategia), los laboratorios militares (farmacéuticos y veterinarios), la Sanidad Militar (médicos, farmacéuticos, bioquímicos), el Servicio de Veterinaria, los egresados o especialistas en Seguridad e Higiene en el Trabajo (por ejemplo, de la FIE), así como la unidad operativa DQBN, la Compañía de Ingenieros "Apoyo a Emergencias Químico, Biológico y Nuclear (QBNR)".

Pensar el carácter futuro de las operaciones militares es una tarea central en la profesión militar[72]; la información, el conocimiento y la preparación son el antídoto para la supervivencia ante una catástrofe.

Nunca tan oportuna la frase que le gustaba repetir al Gran Químico y Microbiólogo Louis Pasteur: "La suerte solo favorece a los espíritus preparados"[73].

¿Estamos preparados?

Bibliografía y Fuentes consultadas

> Martin Lema, "Guerra Biológica y Bioterrorismo"; SXXI editores; 2005; Buenos Aires.
> Ariel Perez Lew; "EBOLA el comienzo de una pandemia"; Ed. Hiel Producciones; disponible en www.amazon.com
> Marcelo Pir, 2020, "Las peores pandemias de la historia y sus consecuencias", disponible en www.amazon.com
> Marcelo Pir, 2020, "La Gripe Española": la pandemia de 1918 que comenzó en EEUU; disponible en www.amazon.com
> David Petriello; "Bacteria an Bayonets"; Casemate Publishers; USA and UK; 2015; disponible en www.amazon.com

72 Conocimiento, C&T y Poder militar en el SXXI – Las Guerras del Futuro; TEC1000 2017 CEPTM Mosconi; 2018; EST – UNDEF.

73 Colección Grandes Pensadores, Microbiología, Louis Pasteur, pág. 50, Ed. Planeta DeAgostini, S.A. 2008, España.

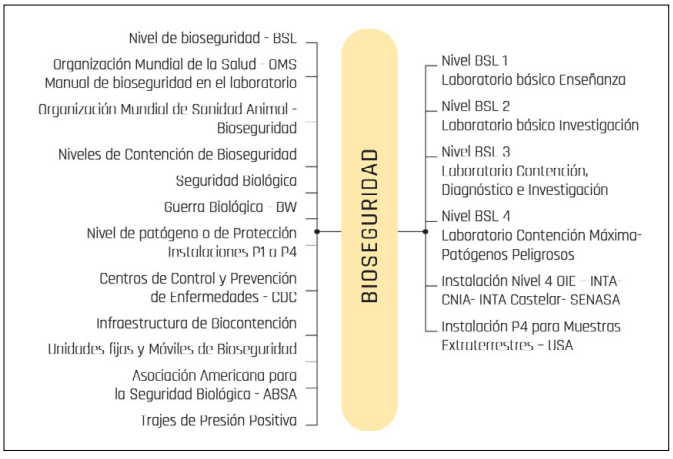
- Nicolás Gerardo Pietribelli; "Diseño del elemento de Defensa QBN a nivel Gran Unidad de Combate para dar una correcta y oportuna respuesta ante los nuevos escenarios actuales ESG"; 2013; Trabajo Final de Licenciatura; disponible en: http://cefadigital.edu.ar/bitstream/1847939/550/1/TFL%20LEO%202013%20P3D3_91.pdf
- Omar A. Locatelli, "La destrucción de Armas Químicas en Siria", ESGC 2014, Revista Visión Conjunta, disponible en: http://cefadigital.edu.ar/bitstream/1847939/202/1/VC%2011-2014%20LOCATELLI.pdf
- Gustavo Amoroso; "ADM vigencia de la problemática"; http://www.rs.fundacionsoldados.com.ar/articulos/articulo-706-Armas-Destruccion-Masiva.pdf
- JC Perez Arrieu; "Conocimiento, C&T y Poder militar en el SXXI – Las Guerras del Futuro"; TEC1000 2017 CEPTM Mosconi; 2018; EST – UNDEF.
- E. Lundquist; "La amenaza de guerra fría sigue vigente"; 2010; Revista Publicaciones Navales; Argentina; disponible en http://www.ara.mil.ar/archivos/Docs/a14.pdf
- Renata Simões Barros y José Roberto Pinho de Andrade Lima, 2019, "La actuación del médico veterinario militar de otras naciones en la Defensa Química, Biológica, Radiológica y Nuclear", disponible en http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/RMM/article/view/1890
- Sistema de Observación y Vigilancia Tecnológica (SOPT); "Detección e identificación de agentes de guerra química. Estado del arte y tendencia futura"; Ministerio de Defensa; España; 2011. Disponible en file:///C:/Users/jparr/Downloads/Deteccion%20e%20Identificacion%20de%20Agentes%20%20Guerra%20quimica%20monografia_sopt_11.pdf
- Joel Jardim, "Guerra química biológica", informe publicado en los años 70 por la Revista "Transformaciones", en Buenos Aires, Argentina. Disponible en http://www6.rel-uita.org/agricultura/agrotoxicos/guerra-quimica.htm
- Estela López Sardi, Beatriz García, Ricardo Picicelli; "Detección de agentes químicos"; FIE-UNDEF; 2017; disponible en file:///C:/Users/jparr/Downloads/Dialnet-DeteccionDeAgentesQuimicos-6223471.pdf
- Boletines Informativos de Guerra Toxica – BIGTOX; Inspección de Tropas de Guerra Tóxica: N° 14, agosto de 1962; N° 16, octubre de 1962; EA.
- Boletines Informativos de Guerra Tóxica – BIGTOX, CIGTOX – Escuela de Guerra Tóxica – Dep. Enseñanza; EA; N° 14, N° 36/37, julio agosto de 1964; N° 38/39, septiembre octubre de 1964; N° 40/41 noviembre diciembre de 1964; N° 42/ 43, enero febrero de 1965; EA.
- ROP 04 -18, "Operaciones en ambiente QBN", Ejército Argentino, 2003.
- MFP 04-03, "Manual sobre el comportamiento de agentes QBN en el terreno", Ejército Argentino, 2003.
- Global Chemical, Biological, Radiological & Nuclear (CBRN) - Market and Technology Forecast; disponible en https://marketresearch.biz/report/cbrn-defense-market/
- http://www.cbrneportal.com/
- https://cbrnecentral.com/

Anexos[74]

ANEXO 1 - LISTADO DE NORMAS BRN OTAN STANAG

OTAN - ATP-3.8.1 VOL I	Operaciones de defensa QBRN – Volumen I
OTAN - STANAG 2909	Orientación de los comandantes sobre medidas defensivas contra productos químicos industriales tóxicos (TIC)
OTAN - AJP-3.8	Doctrina conjunta aliada para la defensa QBRN
OTAN - ATP-3.8.1 VOL III	Normas de defensa QBRN para educación, formas de defensa QBRN, capacitación y evaluación – Volumen III
OTAN - ATP-65	Efectos de uso de equipo DCBRN en el desempeño individual y en las operaciones militares
OTAN - STANAG 2984	Niveles de amenazas QBRN y medidas de protección asociadas
OTAN - ATP-3.8.1 VOL II	Capacidades de los especialistas de defensa QBN Vol II
OTAN - STANAG 2112	Reconocimiento nuclear, biológico y químico
NATO - STANAG 4632	Laboratorio analítico NBC móvil
OTAN - AEP-49 VOL I	Manual operacional de la OTAN para el muestreo e identificación de agentes Radiológicos (SIRA) - VOLUMEN I –
OTAN - STANAG 2047	Alarmas de emergencias de peligro o ataque CBRN
OTAN - STANAG 2048	Vigilancia y control de plagas y vectores
OTAN - AEODP-8	Interservicio QBRN, operaciones de eliminación de explosivos (CBRN EOD) operaciones conjuntas
OTAN - AMEDP-6	Manual de la OTAN sobre los aspectos médicos de las operaciones defensivas de la NBC; Parte I - Nuclear, Parte II - Biológica, Parte III - Química
STANAG 2474 -	Registro de la exposición a la radiación ionizante, con fines médicos y gestión de dosímetros
STANAG 2957 -	Unidades del sistema internacional (SI) utilizadas por las FFAA en el campo radiológico /nuclear

ANEXO 2 – NIVELES DE BIOSEGURIDAD[75]



Cuatro niveles de bioseguridad asociados a cuatro niveles de riesgos para los trabajos en laboratorios

74 https://standards.globalspec.com/std/1670653/stanag-2048

75 https://www.oie.int/es/para-los-periodistas/editoriales/detalle/article/biosafety-biosecurity-and-prevention-of-diseases/ http://ria.inta.gob.ar/contenido/laboratorio-del-inta-referente-mundial-en-trabajo-con-virus-exoticos

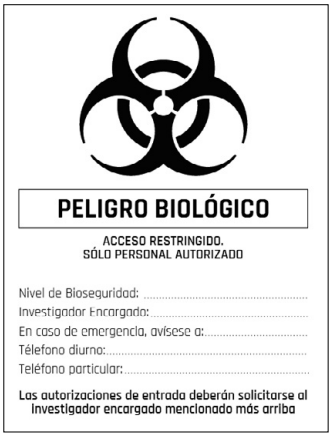
Los microorganismos infecciosos por grupos de riesgo para laboratorios[76]

> **Grupo de riesgo 1** (riesgo individual y poblacional escaso o nulo) Microorganismos que tienen pocas probabilidades de provocar enfermedades en el ser humano o los animales.

> **Grupo de riesgo 2** (riesgo individual moderado, riesgo poblacional bajo) Agentes patógenos que pueden provocar enfermedades humanas o animales pero que tienen pocas probabilidades de entrañar un riesgo grave para el personal de laboratorio, la población, el ganado o el medio ambiente. La exposición en el laboratorio puede provocar una infección grave, pero existen medidas preventivas y terapéuticas eficaces y el riesgo de propagación es limitado.

> **Grupo de riesgo 3** (riesgo individual elevado, riesgo poblacional bajo)
Agentes patógenos que suelen provocar enfermedades humanas o animales graves, pero que de ordinario no se propagan de un individuo a otro. Existen medidas preventivas y terapéuticas eficaces.

> **Grupo de riesgo 4** (riesgo individual y poblacional elevado)
Normalmente no existen medidas preventivas y terapéuticas eficaces. Agentes patógenos que suelen provocar enfermedades graves en el ser humano o los animales y que se transmiten fácilmente de un individuo a otro, directa o indirectamente.



(*) **Juan Carlos Pérez Arrieu:** Coronel de Artillería, egresado del Colegio Militar de la Nación; Ingeniero Militar de la especialidad Sistemas de Armas Electrónicas; Magister en Dirección de Empresas, Diplomado en Management Estratégico; Especialista en Higiene y Seguridad. En el área de I&D del EA, desempeño funciones en el Comando Antártico, DIDEP, CIDESO, EST y CITEDEF. Actualmente es docente e investigador universitario del Centro de Prospectiva Tecnológica Militar "Grl Mosconi" de la Facultad de Ingeniería del Ejército y de la UTN.

76 OMS, 2 Manual de bioseguridad en el laboratorio, 2005, tercera edición, recuperado de: https://www.paho.org/spanish/ad/ths/ev/lab-biosafety_omsspa.pdf?ua=1

1.7

La simulación como herramienta para planificar el uso de agentes QBN

Por el Coronel Rafael Mario Olivieri*

Introducción

Los militares tienen una larga y rica historia de uso de modelos y simulaciones. Solo el ejército de los Estados Unidos gasta cientos de millones de dólares en la adquisición, diseño, instalación y operación de sistemas de simulación. Esta situación se repite en los principales ejércitos del mundo. Nuestro Ejército realizó un importante esfuerzo en las últimas décadas por desarrollar y consolidar el empleo de estos sistemas para entrenamiento y para apoyar el proceso de toma de decisiones.

En tanto, la planificación del uso de agentes QBN requiere de herramientas que permitan predecir sus alcances, la magnitud de sus efectos o su persistencia temporal sin recurrir a experimentos reales que podrían tener consecuencias impredecibles y costosas, por las graves consecuencias que puede ocasionar la realización de un experimento a escala real.

En 1942 con la Segunda Guerra Mundial en curso, se llevaron a cabo varias pruebas biológicas por parte de científicos militares británicos del Departamento de Biología de Porton Down. El Gobierno Británico estuvo investigando la viabilidad de un ataque químico con ántrax, y realizó un experimento en la isla de Gruinard. Como consecuencia, permaneció cerrada y deshabitada hasta su descontaminación y apertura en 1990.

Por tal motivo, adquiere particular importancia la simulación. La simulación es un proceso que permite diseñar y desarrollar un modelo a partir de un sistema real para realizar experimentos con él, en lugar de hacerlo con el sistema real, y cuya finalidad es comprender el comportamiento del sistema o bien evaluar nuevas estrategias para su funcionamiento.

Un modelo es un esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja que se elabora para facilitar su comprensión y para el estudio de su comportamiento. Los modelos sirven para responder a cuestiones sobre la realidad que no serían accesibles mediante la experimentación directa y su utilidad para conocer o predecir está condicionada por la selección de los factores relevantes para el problema y por la adecuada descripción de las relaciones funcionales. Al construirlo se aplican hipótesis de simplificación, puesto que resulta imposible considerar todas las condiciones reales. En ocasiones, si se hace una mala simplificación, algunas de estas condiciones o variables pueden adquirir relevancia y, en este caso, el modelo falla y no representa al sistema real.

Existen diferentes métodos para simular, en general modelos matemáticos, como el método que emplea la ecuación de distribución normal gaussiana para determinar la variación de las concen-

traciones de contaminantes en la atmósfera, el modelo para epidemias SIR por S (población susceptible), I (población infectada) y R (población recuperada), los métodos de Poisson Runge-Kutta y el método de Euler equilibrado, entre otros.

Pero también existen métodos no matemáticos, particularmente útiles para simular procesos que no pueden caracterizarse mediante modelos matemáticos, como la simulación por agentes, que podemos definir inicialmente como entidades de software con un comportamiento definido que interactúan entre sí, como una colonia de hormigas.

Modelado de sistemas

Como dijimos, un modelo es una representación de la realidad. Así, el modelo de un barco será una representación a escala del respectivo barco de tamaño real, y una fotografía puede considerarse un modelo de la escena que se fotografió.

Al construirlo se aplican hipótesis de simplificación, y esto es particularmente importante y relativo a la calidad, objeto y alcance del modelo. Por ejemplo, en una clase de física podemos describir el tiro en el vacío, en el cual solo se consideran parámetros principales que sirven para describir la trayectoria del proyectil en su forma conceptual, pero habrá que considerar más datos, como fuerza y dirección del viento, efecto de la rototraslación terrestre y otras si se quiere predecir un tiro a la distancia de varios kilómetros con buena precisión.

Por otro lado, incluir demasiadas variables en el modelo genera una excesiva complejidad y costo, que no garantiza tampoco su calidad. Existe un lugar de equilibrio donde prevalece la simplicidad.

En este punto entonces, será importante el análisis de la realidad a simular y que las hipótesis de simplificación elegidas sean adecuadas al objetivo, alcance y calidad del modelo.

Posteriormente se considerará el paradigma o metodología para el modelo. Siempre pensamos en "modelos matemáticos", pero no todos los modelos matemáticos pueden satisfacer nuestros objetivos, y existen otros "no matemáticos" y opciones mixtas.

Para realizar una simulación es necesario recorrer una serie de etapas, que van desde la formulación del problema a resolver, definición del estudio a realizar hasta el análisis de los resultados del modelo. No es motivo de este trabajo detallar todo el proceso, pero sí dejar claro que se trata de un proceso metódico sistemático, como así también el empleo del modelo y la interpretación de sus resultados. Cualquier modelo o sistema de simulación mal empleado conducirá a resultados que no reflejarán el comportamiento del sistema real.

Estado del arte

En la actualidad, la simulación es ampliamente empleada en diferentes disciplinas, ciencia, educación, negocios, industria, planeamiento urbano, arquitectura, medicina, etc., y obviamente la guerra.

Para cada una de ellas existen modelos, herramientas y técnicas que se adaptan a cada actividad particular. Todos sacan provecho de ella y adaptan su concepto a sus necesidades particulares. Destacamos a continuación algunas clasificaciones, tan diferentes como útiles a determinadas necesidades.

Modelos matemáticos y no matemáticos

En este punto, podemos establecer algunas diferencias entre paradigmas matemáticos y no matemáticos.

En los sistemas basados en ecuaciones, la dinámica global del sistema se define a priori utilizando las relaciones matemáticas entre las propiedades del sistema global (por ejemplo, el número total de individuos). El resultado se obtiene por la aplicación de estas ecuaciones.

En los modelos no matemáticos, de los cuales los sistemas basados en agentes son los más importantes, se modelan las entidades que interactúan y su dinámica (por ejemplo, las características individuales y comportamientos, acciones e interacciones entre los organismos y el medio ambiente, etc.). De esta forma, el comportamiento global del sistema se obtiene como resultado de estas dinámicas a nivel agentes y emerge como resultado de esa interacción.

Tipos de simulación

Existe también otra forma de clasificación de los sistemas de simulación, a saber:

- **Simulación discreta:** Se trata de la modelación de un sistema por medio de una representación en la cual el estado de las variables cambia por saltos de tiempo determinados o instantes. (En términos matemáticos el sistema solo puede cambiar en instantes de tiempo dados).
- **Simulación continua:** Es la forma de modelar un sistema por medio de una representación en la cual las variables de estado cambian continuamente en el tiempo. Típicamente, los modelos de simulación continua involucran ecuaciones diferenciales que determinan las relaciones de las tasas de cambios de las variables de estado en el tiempo.
- **Simulación combinada discreta-continua**: Es el modelado de un sistema por medio de una representación en la cual unas variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo y otras cambian instantáneamente en instantes de tiempo dados.

  Es una simulación en la cual interactúan variables de estado discretas y continuas.
- **Simulación determinística y/o estocástica:** Una simulación determinística es aquella que utiliza únicamente datos de entrada determinísticos, no utiliza ningún dato de entrada azaroso. En cambio, un modelo de simulación estocástico incorpora algunos datos de entrada azarosos al utilizar distribuciones de probabilidad.
- **Simulación estática y dinámica:** La simulación estática es aquella en la cual el tiempo no juega un papel importante, en contraste con la dinámica en la cual sí es muy importante.
- **Simulación con orientación hacia los eventos:** Se realiza con un enfoque hacia los eventos, en el cual la lógica del modelo gira alrededor de los eventos que ocurren instante a instante, registrando el estado de todos los eventos, entidades, atributos y variables del modelo en todo momento.
- **Simulación con orientación hacia procesos:** Con un enfoque de procesos, en el cual la lógica del modelo gira alrededor de los procesos que deben seguir las entidades. Está basado en un esquema de flujo grama de procesos.

Herramientas que más se adaptan a las necesidades de la guerra QBN

En general, existe poca información sobre aplicaciones militares para guerra QBN, en consecuencia, trataremos de destacar las que consideramos pueden adptarse mejor para este uso.

Según Joel Jardim “Se define como guerra biológica el uso intencional de organismos vivos o sus productos tóxicos para causar muerte, invalidez o lesiones en el hombre, animales o plantas. Su objetivo es el hombre, ya sea causando su muerte o enfermedad o a través de la limitación de sus fuentes de alimentación u otros recursos agrícolas. El hombre debe sostener una continua batalla para mantenerse y defenderse a sí mismo, a sus animales y a sus plantas, en competencia con insectos y microbios. El objeto de la guerra biológica es malograr estos esfuerzos mediante la distribución deliberada de gran número de organismos de origen local o foráneo, o sus productos tóxicos, haciendo uso para ello de los medios más efectivos de diseminación y utilizando puertas de entrada inusuales. La guerra biológica ha sido adecuadamente descrita como salud pública al revés”.

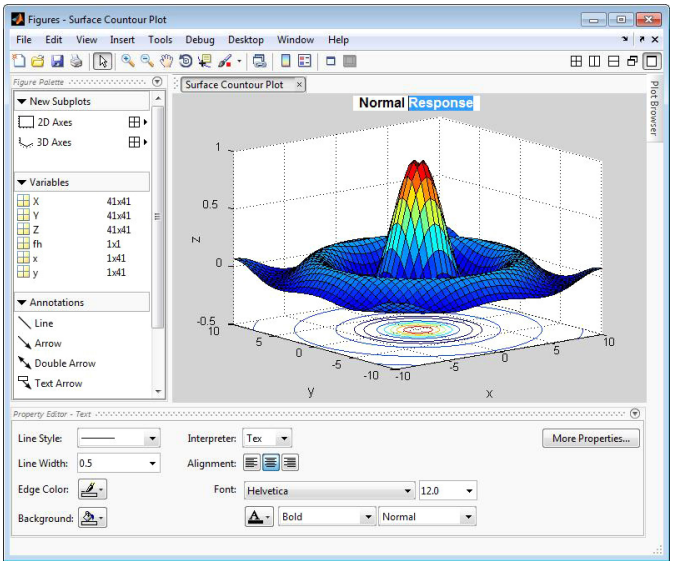
Por otro lado, la detonación de un arma nuclear produce efectos físicos, caracterizados por su radiación térmica y de la explosión en sí, más otros de tipo biológicos por la explosión, como la compresión de órganos en las personas, y otros de tipo biofísicos y biológicos debido a la radiación ionizante generada por la detonación. En este caso el objetivo es el hombre, pero también la inutilización o destrucción de los recursos materiales del enemigo.

En cualquiera de los dos casos, la simulación debe enfocarse en los objetivos de cada arma, y mostrar cuáles serían los efectos de su empleo. Los recursos informáticos y los métodos científicos que pueden emplearse son los mismos que se emplean en simulaciones científicas, educativas, o de defensa civil frente a catástrofes naturales o antrópicas. Sola basta la adaptación al arma que se quiere simular.

Por otro lado, los principales recursos informáticos se pueden integrar modularmente para obtener la aplicación requerida. Por ejemplo, una base de datos, un servidor de aplicaciones, una interfase gráfica, un simulador y un sistema de información geográfica pueden integrarse en una aplicación. Todos estos componentes existen independientemente, están suficientemente probados y existen herramientas de desarrollo que permiten integrarlos en una aplicación agregando la lógica requerida.

En esa línea, existen aplicaciones propietarias o bajo licencia y otras con licencia libre, en general GNU o GPL (General Public License). Las propietarias son cerradas, no se pueden modificar, pero sí emplear componentes de las mismas o generados con ellas bajo los términos de la licencia del fabricante. En cambio, las licencias GPL, muy difundidas, permiten su uso libre, y la modificación del código para uso propio.[1]

Ejemplos de herramientas para simular sistemas:



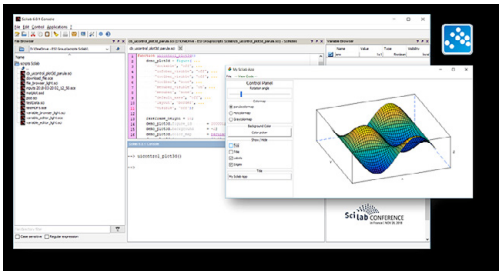
> MATLAB (MATrix LABoratory) es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio. Está disponible para las plataformas Unix, Windows, macOS y GNU/Linux. Dispone de dos herramientas adicionales, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Contiene herramientas y funciones para simulaciones físicas y biológicas. Cuenta con interfaces para conectar con otras aplicaciones y es una aplicación propietaria.

  En particular, el componente Simulink permite el modelado de sistemas físicos, eléctricos, fluidos y otros, y dispone de módulos funcionales que se pueden interconectar para simular el comportamiento de un sistema complejo.

1 https://www.gnu.org/licenses/licenses.es.html

MATLAB es un producto propietario de Mathworks, y los usuarios están sujetos al uso de licencia y pueden ser bloqueados por el vendedor si no se valida correctamente. Existen licencias preferenciales, más económicas para uso educativo.[2]

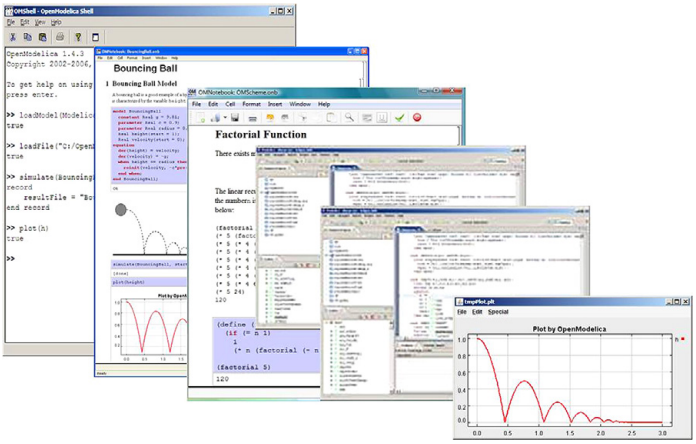
> SCILAB es un software para análisis numérico, con un lenguaje de programación de alto nivel para cálculo científico. Es desarrollado por Scilab Enterprises, bajo la licencia CeCILL, compatible con la GNU General Public License.



Las características de Scilab incluyen análisis numérico, visualización 2-D y 3-D, optimización, análisis estadístico, diseño y análisis de sistemas dinámicos, procesamiento de señales, e interfaces con Fortran, Java, C y C++, mientras que la herramienta Xcos permite una interfaz gráfica para el diseño de modelos de forma similar al Simulink. Es similar a Matlab pero libre. Es un desarrollo promovido en Francia por el INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique)..

Tiene amplio uso y difusión como alternativa a Matlab en Europa, Rusia, China y Canada como países de mayor uso. [3, 4]

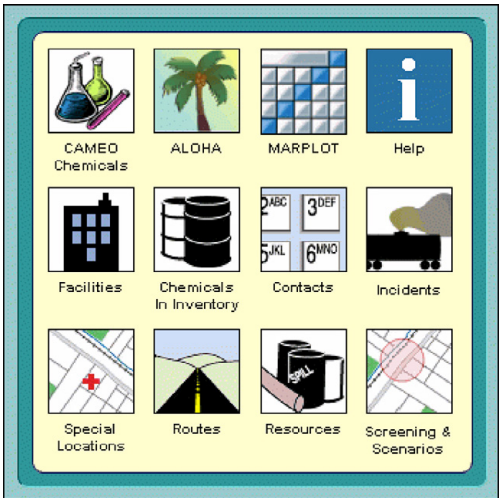
> OPEN MODELICA es un software de código abierto basado en el lenguaje de modelado Modelica para modelar, simular, optimizar y analizar sistemas dinámicos complejos. Este software es desarrollado activamente por Open Source Modelica Consortium, una organización no gubernamental sin fines de lucro. El Open Source Modelica Consortium se ejecuta como un proyecto de RISE SICS East AB (RISE es el instituto de investigación de Suecia y socio de innovación) en colaboración con la Universidad de Linköping, Suecia)[5, 6]



> El paquete de software CAMEO® es un sistema de aplicaciones de software que se utiliza ampliamente para planificar y responder a emergencias químicas. Es una de las herramien-

2 https://www.mathworks.com/products/matlab.html
3 https://www.scilab.org/
4 https://www.inria.fr/fr
5 https://openmodelica.org/
6 https://liu.se/en

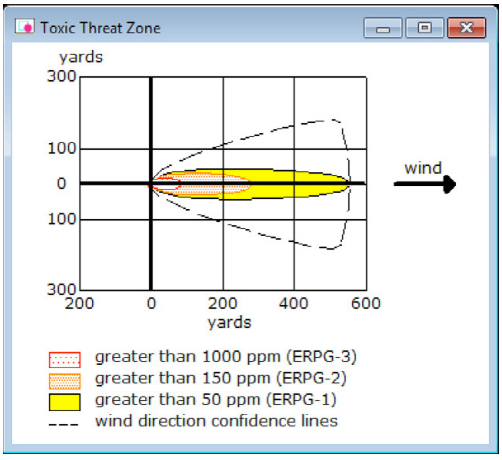
tas desarrolladas por la EPA (United States Environmental Protection Agency) y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) para ayudar a los planificadores y respondedores de emergencias químicas de primera línea. Pueden usar CAMEO para acceder, almacenar y evaluar información crítica para desarrollar planes de emergencia. Además, CAMEO respalda el cumplimiento normativo al ayudar a los usuarios a cumplir con los requisitos de informes de inventario de sustancias químicas de la Ley de Planificación de Emergencias y Derecho a Saber de la Comunidad.



El sistema CAMEO integra una base de datos de productos químicos y un método para administrar los datos, un modelo de dispersión de aire y una capacidad de mapeo. Todos los módulos funcionan de forma interactiva para compartir y mostrar información crítica de manera oportuna. El sistema CAMEO está disponible en formatos Macintosh y Windows.

CAMEO incluye: bases de datos, modelo de dispersión de gas tóxico llamado ALOHA y un programa para trazar un mapa llamado MARPLOT (Mapping Applications for Response, Planning, and Operacional Tasks).[7]

> ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) es una aplicación para computadora diseñada para modelar las liberaciones de sustancias químicas en un espacio libre para uso en la planificación en respuesta a emergencias. Puede estimar cómo una nube tóxica podría dispersarse después de una liberación química, así como varios escenarios de incendios y explosiones.

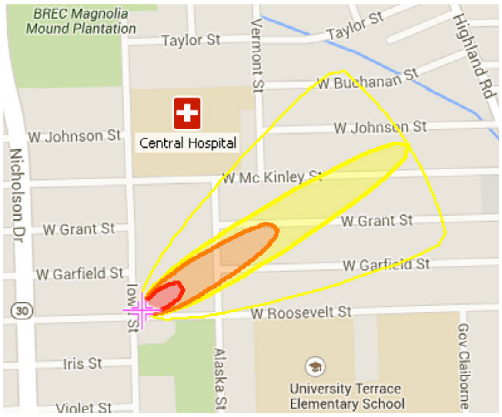


ALOHA está diseñado para producir resultados razonables lo suficientemente rápido como para ser de gran utilidad en la respuesta ante una emergencia real. Integra sistemas de información geográfica (SIG) y bases de datos de sustancias peligrosas entre sus principales características.

Es libre y parte de una suite más completa, CAMEO, desarrollada por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos.

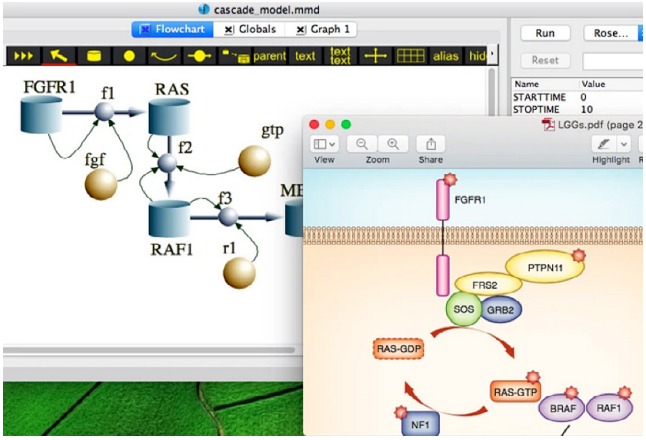
7 https://www.epa.gov/cameo

> MARPLOT MARPLOT® es el programa de mapeo para el paquete de software CAMEO® que se usa ampliamente para planificar y responder a emergencias químicas.



La interfaz GIS fácil de usar de MARPLOT permite agregar objetos a un mapa, así como ver y editar datos asociados con los objetos. Se puede elegir entre varias imágenes de mapa base de fondo y personalizar aún más el mapa con anotaciones y capas en línea de Web Mapping Services. También se puede interactuar con el mapa de otras formas, como obtener estimaciones de población dentro de un área. MARPLOT se puede ejecutar por sí mismo como un programa de mapeo general. También se puede utilizar de forma interactiva con los programas de la suite CAMEO para mostrar estimaciones de zonas de amenaza ALOHA® en el mapa o para vincular objetos del mapa a registros de bases de datos en CAMEO.

> BERKELEY MADONNA Es un software de modelado matemático, desarrollado en la Universidad de California en Berkeley. Resuelve numéricamente ecuaciones diferenciales ordinarias y ecuaciones diferenciales, desarrolladas originalmente para ejecutar programas STELLA.



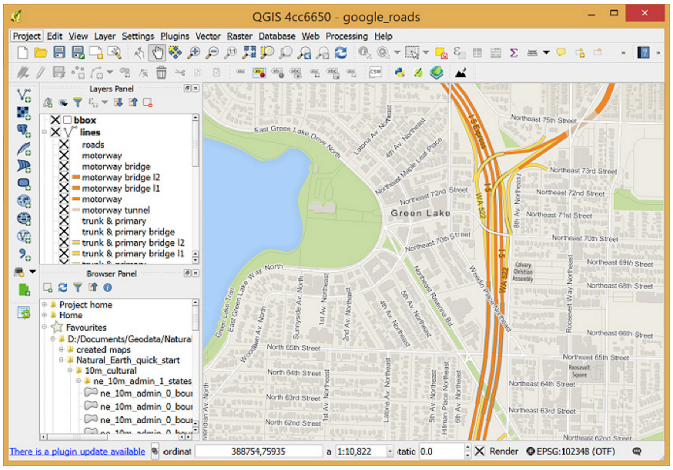
Fue desarrollado originalmente para modelar y visualizar reacciones químicas, pero se desarrollan fácilmente también modelos de contagio, como el SIR.

Su fuerza radica en una sintaxis relativamente simple para definir ecuaciones diferenciales junto con una interfaz de usuario simple pero potente. En particular, Berkeley Madonna proporciona la facilidad de poner parámetros en un control deslizante que a su vez puede ser movido por un usuario para cambiar el valor. Dichas visualizaciones permiten evaluaciones rápidas.

Se obtiene bajo licencia a un costo relativamente bajo.[8]

> SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA (SIG) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos que están vinculados a una referencia espacial, lo que facilita la incorporación de aspectos sociales, culturales, económicos, militares, ambientales y otros facilitan notablemente la toma de decisiones.

8 https://berkeley-madonna.myshopify.com/



En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de los SIG puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística y, por supuesto, la militar. De hecho, el SIG es uno de los componentes principales de un sistema de comando y control moderno.

Un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calcular fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, conectado con cualquier sistema de simulación o con información proveniente de sensores reales distribuidos en el terreno.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de los mapas digitales. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en el mapa.

Tienen en la actualidad amplia difusión, desde aplicaciones en la web, como Google Maps hasta diversos sistemas de licencia propietaria y libre, disponibles para uso directo o como componentes de código documentado para que los desarrolladores de software puedan integrarlo en sus aplicaciones. Esta última opción es particularmente importante para su empleo en simuladores para guerra QBN.

Entre los más importantes, podemos mencionar:

> Esri (Environmental Systems Research Institute) con ArcGIS y otros productos con licencia.[9]
> QGIS (Quantum GIS) es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android.[10]
> gvSIG abrevia la denominación Generalitat Valenciana Sistema de Información Geográfica.[11]
> EOSDIS (Earth Observing System Data and Information System) de la NASA.[12]

Entre otros

9 https://www.esri.es/es-es/home
10 https://www.qgis.org/es/site/
11 http://www.gvsig.com/es
12 https://earthdata.nasa.gov/eosdis

Ejemplos de herramientas para desarrollar sistemas:
Además de los compiladores tradicionales como C, C++ y Fortran para diferentes sistemas operativos, existen otras de más alto nivel que permiten desarrollos específicos en forma más rápida, entre ellos:

> FIPA: La Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) es un organismo para el desarrollo y establecimiento de estándares de software para agentes heterogéneos que interactúan y sistemas basados en agentes.

FIPA fue fundada como una organización suiza sin ánimo de lucro en 1996 con el ambicioso objetivo de definir un conjunto completo de normas para la implementación de sistemas en los que se puedan ejecutar agentes (plataformas de agentes) y especificación de cómo los propios agentes se deben comunicar e interactuar. Tiene varios usos, y la simulación es uno de ellos.[13]

> JAVA: es una máquina virtual que actualmente mantiene Oracle, para la mayoría de los sistemas operativos, incluso dispositivos móviles. Está asociada a un lenguaje de programación "Java" que permite desarrollar aplicaciones portables, es decir, que pueden correr en cualquier máquina que tenga instalada la máquina virtual de Java o runtime. Es ampliamente difundido y se destaca porque se logran desarrollos rápidos y por la calidad de sus recursos gráficos y posibilidades de integración con otros componentes, por ejemplo, los sistemas de información geográfica desarrollados en Java como gvSIG.[14]

> PYTHON: es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, dinámico y multiplataforma, es decir, tiene intérpretes en diferentes sistemas operativos, lo que lo hace igualmente multiplataforma.

Tiene buenos recursos gráficos, de red y de base de datos entre otros.

El sistema de simulación para apoyo a las operaciones frente al COVID 19 desarrollado por la FIE emplea este recurso.[15]

Antecedentes en el Ejército Argentino

En el Ejército Argentino la simulación se emplea básicamente como herramienta para el entrenamiento. En ese sentido, se destacan dos importantes tipos de simulación, la simulación virtual y la simulación constructiva.

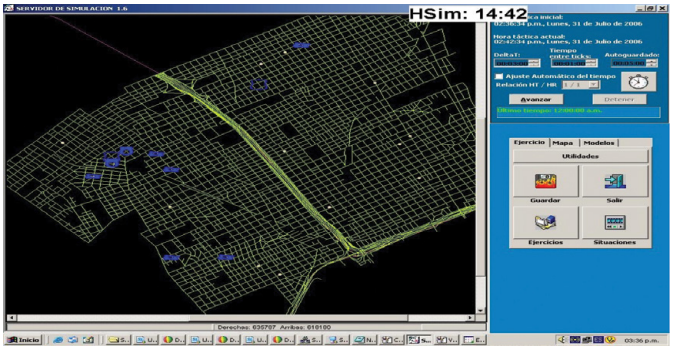
Típicamente, la primera se emplea para entrenar al personal con material simulado en un entorno simulado o sintético. Como ejemplos tenemos el entrenamiento con simuladores de vuelo para aeronaves y el tiro de armas portátiles o artillería, dónde las armas, el terreno y el contexto son simulados.

Mientras que la simulación constructiva se emplea para entrenar grupos humanos, como estados mayores, niveles de comando, fracciones y otros en la conducción y toma de decisiones con equipos simulados en un ambiente también simulado. En este grupo de aplicaciones tenemos desarrollos propios por parte del Centro de Investigación y Desarrollo de Sistemas Operacionales (CIDESO

13 http://www.fipa.org/

14 https://www.java.com/es/about/whatis_java.jsp

15 https://www.python.org/



– dependiente de la Dirección General de Investigación y Desarrollo) como Batalla Virtual, Simupaz o Emercat. En estos sistemas se desarrolla un ejercicio planificado, y el sistema genera estímulos o situaciones simuladas, frente a las cuales los roles entrenados adoptan decisiones. Esas decisiones modifican la situación o el entorno y motivan nuevas respuestas del sistema, logrando realismo y aprendizaje.

El caso particular de Emercat (Emergencias y Catástrofes) es el sistema de entrenamiento derivado de Batalla Virtual que permite el entrenamiento de Estados Mayores o cualquier centro de comando o grupo de personas en respuesta a emergencias y catástrofes naturales o antrópicas. Justamente este sistema está destinado entre otros, a la respuesta ante cualquier desastre o catástrofe producida por agentes QBN.[16]

¿Cómo lo hace? Mediante la ejecución de un ejercicio planificado, en el cual se imponen situaciones a los roles entrenados, que actúan como estímulos al proceso de toma de decisiones, las cuales son convenientemente evaluadas para la revisión o crítica, y para generar lecciones aprendidas. Este sistema se puede combinar con el empleo de otros, para mayor realismo, como la ejecución de simulaciones específicas con Aloha (ya descripto), que permiten evaluar las consecuencias de las decisiones adoptadas o no.

En septiembre de 2008 se realizó un ejercicio simulando un accidente con sustancias químicas en la Fábrica Militar Río Tercero, con la participación del personal de la fábrica mencionada, de Atanor, Weatherford, PRIII, y la Municipalidad de Río Tercero entre otros, donde se expuso la idea y se probó con éxito el sistema.

Emercat se encuentra provisto, junto con Batalla Virtual al Ejército Argentino para apoyar los requerimientos de entrenamiento de Estados Mayores de la Fuerza.

También, en esa época se desarrollaron reuniones con Autoridad Regulatoria Nuclear – Centro de Control de Emergencias para el uso del sistema.

Por otro lado, recientemente la Facultad de Ingeniería del Ejército "General de División Manuel Nicolás Savio" con la participación de docentes y

16 http://www.iese.edu.ar/eude/revistas/rue_10.html

alumnos de la carrera de Ingeniería Informática desarrolló un sistema de simulación destinado al apoyo en la toma de decisiones de las diferentes instancias que conducen la operaciones de apoyo a la comunidad en el marco de la pandemia de COVID 19. Este sistema permite evaluar las posibilidades de contagio del personal que participa de estas operaciones en sus diferentes roles.

El sistema se basa en el modelo SIR (susceptible – Infectado – Recuperado) y participó en su desarrollo personal militar, médicos militares y otros expertos consultados para crear un modelo que se adapte a la realidad propia.[17]

Conclusiones

En este informe solo destacamos los recursos y herramientas más conocidos y populares, aunque no todos, con lo que podemos concluir que contar con sistemas de simulación para operaciones QBN, tanto para planificar el ataque, como la defensa, no es una limitación para nadie.

El conocimiento está ampliamente difundido, y solo las herramientas informáticas gratuitas sirven para desarrollar software de excelente nivel y calidad, con solo dedicar recursos humanos competentes que implementen buenas prácticas en el análisis y definición del modelo, y posteriormente en el desarrollo informático y pruebas que lo avalen.

El Ejército Argentino cuenta con experiencia y recursos que puede poner en movimiento como la Facultad de Ingeniería del Ejército "General de División Manuel Nicolás Savio" y el CIDESO (dependiente de la DIGID – Dirección General de Investigación y Desarrollo y laboratorio asociado a la FIE).

Adicionalmente existen numerosos recursos a nivel nacional CITEDEF, las demás Fuerzas Armadas, Universidades, empresas públicas o privadas y particulares especialistas con los cuales se pueden formular convenios o contratos a la hora de liderar cualquier iniciativa para desarrollar cualquier sistema de simulación particular.

(*) **Rafael Mario Olivieri** es Coronel del Ejército Argentino en situación de retiro, promoción 116, Arma de Comunicaciones, Ingeniero Militar especialidad Informática, Especialista en Redes de Datos, Analista del Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar "Grl Mosconi" de la FIE.
Se desempeñó en diferentes proyectos de desarrollo de software y comunicaciones en el Ejército Argentino, profesor de Sistemas Operativos, Comunicaciones, Redes y Teoría de Control; ha realizado publicaciones sobre su especialidad.

17 http://www.fie.undef.edu.ar/

1.8

Situación actual en el ejército argentino respecto de la problemática QBNR

Por el Coronel Ing. (R) Ing. Mil D Alejandro Marcelo Gazpio*

Temario

1. Introducción 236
2. Presentación - notas históricas 236
3. Organización QBNR actual 238
4. Capacidades 239
5. Dependencia orgánica de la CA ING QBNR APY EMERG 601 239
6. Normas o reglamentos vigentes 239
7. Capacitación del personal de la subunidad QBNR 242
8. Equipamiento 242
9. Conclusiones 243
10. Base documental 244
11. Agradecimientos 244

Resumen

Se realizará un análisis cronológico de la evolución de la actividad QBNR en el Ejército Argentino. Sus inicios; 30 años de descuido y finalmente un desarrollo y evolución con limitaciones y mucho esfuerzo, que se ha mantenido en el tiempo desde el año 1998 al día de hoy. Se destaca la organización existente y sus capacidades, esta es una Subunidad del Arma de Ingenieros (organizada; instruida y equipada para operaciones QBNR) en apoyo general. También se hará una breve referencia al plexo doctrinario vigente sobre la temática QBNR y el equipamiento disponible. Finalizando este trabajo se desarrollan conclusiones acerca del contenido; las fuentes de consulta y agradecimientos especiales a quienes colaboraron con su invalorable apoyo.

PALABRAS CLAVE: Defensa QBNR – Historia en el Ejército Argentino - Escuela de Guerra Tóxica - Organización QBNR – CA ING QBNR APY EMERG 601 – Doctrina – Equipos QBNR

Introducción

La historia está llena de guerras que todo el mundo sabía que no ocurrirían.

-Enoch Powell –

Para comenzar voy a trascribir las palabras finales de un prestigioso expositor en el Centro de Instrucción de Guerra Tóxica, en el cual parafrasea sobre la decisión final de las próximas guerras, de ahí la trascendencia que quiso poner de manifiesto sobre la Guerra QBNR:

"El porvenir de las guerras no es el combate sino el hambre: no la matanza de hombres sino la bancarrota de las naciones y el desmoronamiento de todo el sistema social. Los soldados deberán luchar, pero es el hambre el que dará la decisión final".

(La guerra futura y sus relaciones con la técnica y la política M.I. Block 1897)

…con estas palabras el Dr. Ernesto Aberg COBO finalizó su disertación en el Centro de Instrucción de Guerra Tóxica el 6 de julio de 1960.

Presentación - Notas históricas

A modo de presentación o palabras iníciales, voy a proponer unas breves notas sobre el desarrollo histórico de la temática que nos convoca. Previamente diremos que, conforme a los antecedentes recabados, se considera al 7 de diciembre como aniversario de la creación de la especialidad de guerra tóxica.

Los orígenes o antecedentes de la Defensa QBNR en el país y, en particular, en el Ejército Argentino, se remontan a la década del 60. Tengamos en cuenta que desde la Primera Guerra Mundial se hacen visibles la utilización de armas denominadas no convencionales: como las químicas y algunos indicios de biológicos. Durante la Segunda Guerra Mundial, el concepto de protección de armas no convencionales como la química formaba parte de procedimientos operativos, debido a que ya existía un importante arsenal de estas por parte de algunos ejércitos.

Tal es así que en el período que abarca los años 1960 a 1969 se crearon y realizaron sus actividades organizaciones ad hoc. Por Resolución en BCE (Boletín Confidencial del Ejercito) 268 del 13 de enero de 1960 y con fecha 8 de marzo de 1960 inició sus actividades en el cuartel de la calle Juramento 1775 de la Capital Federal el CENTRO DE INSTRUCCIÓN DE GUERRA TÓXICA DEL EJÉRCITO. Luego con fecha 12 de diciembre de 1960 y por BCE 280 pasa a denominarse CENTRO DE INSTRUCCIÓN DE GUERRA TÓXICA.

> Primer Director: Teniente Coronel I D Emiliano Antonio Silvio FLOURET
> Primer Jefe Sección Cursos: Mayor Comodoro D Hugo Eduardo POLACINO

La misión de este Centro, se encuentra inserta en el Decreto de creación del Poder Ejecutivo Nacional que versaba: "…tendrá como misión: Instruir a los cuadros y tropas del Ejército destinados al Centro, en todo lo relacionado con la guerra tóxica, capacitar a Oficiales y Suboficiales de las unidades y organismos sobre dicha clase de guerra para formar los instructores y subinstructores de las unidades en que prestan servicios; dirigir la instrucción de las unidades de guerra tóxica dependientes; realizar experiencias con los materiales y organizaciones a poner en práctica y confeccionar reglamentos técnicos y de conducción para las unidades de guerra tóxica".

Por BCE 281 del 16 de diciembre de 1960, se crean dependientes del CENTRO DE INSTRUCCIÓN DE GUERRA TÓXICA: la Agrupación Escuela y la Agrupación tropas. La Agrupación Escuela tuvo su asiento junto con el CENTRO DE INSTRUCCIÓN DE GUERRA TÓXICA y la Agrupación Tropas en los cuarteles ubicados en la calle Zufriategui 4800 de Villa Martelli – provincia de Buenos Aires.

Posteriormente, con fecha 16 de noviembre de 1964, el Centro pasa a denominarse Escuela de Guerra Tóxica. Funcionó en Campo de Mayo en los cuarteles ubicados sobre la ruta nacional N° 8 y el camino a puerta 1 (uno).

La Escuela de Guerra Tóxica durante su funcionamiento elaboró una publicación o boletín de noticias denominado BIGTOX, la cual se constituyó en el órgano más adecuado para la difusión de información y conocimientos sobre la metodología de guerra QBNR.

Asimismo, con la misma fecha anterior, se crea una Unidad con la especialización de Tropas Tóxicas denominada Agrupación Química; Biológica; Radiológica 601 (núcleo). Ese núcleo se conformó sobre la base de una fracción segregada del Comando en Jefe del Ejército.

La Agr QBR 601 (núcleo) fue constituida por personal superior ordenado por Superior Resolución inserta en el BRSG (Boletín Reservado de la Secretaría de Guerra) N° 4059. Ese núcleo se conformó sobre la base de una fracción segregada del Comando en Jefe del Ejército.

El personal designado fue:

> Jefe: My C (Esp Gtox) D Roque Luis VERA ROBINSON
> S3: Cap Ing (Esp Gtox) D Eduardo Andrés GARAYAR
> Tte 1ro Ing D Norberto Ricardo FERRERO
> Tte 1ro A (Esp Gtox) D Jorge ABUIN
> Tte 1ro Com D Eduardo Eleuterio ASCHERI
> Tte C D Pedro Osvaldo CABALLERO

Los equipos con que contaba eran fundamentalmente de detección y defensa sobre agresivos radioactivos y químicos. Se disponía de una gran cantidad de detectores geiger y pipetas para tomar muestras de aire con código de colores para identificación de gases. Asimismo, un número importante de trajes de protección personal. Cabe acotar que todo este equipamiento era de tecnología de la década del 40 y que fue recibido por un convenio con los Estados Unidos.

En octubre de 1969 se establece la disolución de la Escuela de Guerra Tóxica. La reestructuración del Ejército, iniciada en virtud del Decreto PEN 9080/64, no fue concretada en todas sus previsiones, debido a dificultades de orden económico-financiero y carencia de personal.

Según propuesta del Jefe de Estado Mayor General del Ejército de fecha 22 de septiembre de 1969 (considerando el Decreto 5496/69 del Poder Ejecutivo Nacional, que estableció la necesidad de realizar modificaciones a la estructura orgánica del Ejército, asimismo que las modificaciones y/o ajustes tienden a "racionalizar la estructura para adecuarla a las reales posibilidades económico-financieras") el Comandante en Jefe del Ejército resuelve ejecutar las modificaciones contenidas en el Decreto del Poder Ejecutivo Nacional N° 5496/69 y las propuestas específicas del JEMGE.

Por ello, por Superior Resolución, inserta en Boletín Confidencial del Ejército (BCE) 395 del 14 de octubre de 1969 ANEXO 1-MODIFICACIONES ORGÁNICAS A INTRODUCIR AL EJÉRCITO PARA 1970, se estableció la disolución de la Escuela de Guerra Tóxica. En las consideraciones que se esgrimieron para la reorganización del año 1970 se estableció: "Actualizar las organizaciones internas de los elementos orgánicos componentes del Ejército, en función de las exigencias operacionales y de las reales posibilidades de la Fuerza".

Pasados 30 años, una segunda etapa en el devenir del desarrollo de las actividades de la Defensa en ambientes de protección contra armas no convencionales dentro del campo de combate, se estableció en los cuarteles del Batallón de Ingenieros 601 en Campo de Mayo. Desde el año 1998 hasta el año 2013 funcionó la Compañía de Defensa QBNR orgánica de la mencionada unidad.

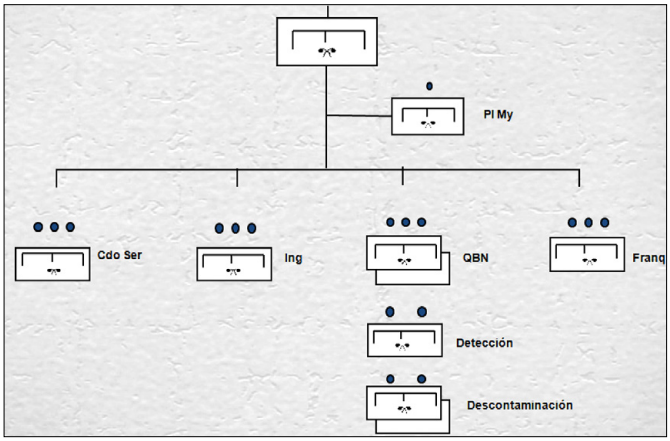
Finalmente el 1 de enero del año 2014, se creó la subunidad denominada COMPAÑÍA DE INGENIEROS QBNR Y APOYO A LA EMERGENCIA 601, tomando como base el personal y equipos de la Compañía de Defensa QBNR del Batallón de Ingenieros 601, que se encuentra operativa en su lugar de asiento en la ciudad de San Nicolás de los Arroyos, provincia de Buenos Aires. Actualmente, esta subunidad del arma de Ingenieros depende de la Agrupación de Ingenieros 601(dependiente del Comando de Adiestramiento y Alistamiento del Ejército).

Se aprecia en los últimos años una nada despreciable continuidad de la actividad realizada por el Arma de Ingenieros, lo que ha permitido, con sus limitaciones, recomponer la cadena del conocimiento y disponer de un número importante de personal Superior y Subalterno que manejan estos aspectos tan particulares. Cabe destacar que la Compañía, además de recibir capacitación Internacional en distintos cursos de entidades rectoras como la OPCW y OIEA. Y es centro de Instrucción para el Ejército y también da cursos Conjuntos a la Armada y Fuerza Aérea introduciéndolos a la problemática QBNR.

Organización QBNR actual

En la actualidad el Ejército Argentino cuenta con un elemento operacional cuya magnitud es de una Compañía de Ingenieros. Dicha compañía está organizada a fin de poder cumplir con misiones específicas QBNR. La denominación y misión es:

CA ING QBNR APY EMERG 601, BRINDARÁ APOYO GENERAL MEDIANTE EL ASESORAMIENTO, DETECCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN EN UN AMBIENTE, QUÍMICO, BIOLÓGICO, NUCLEAR Y RADIOLÓGICO.

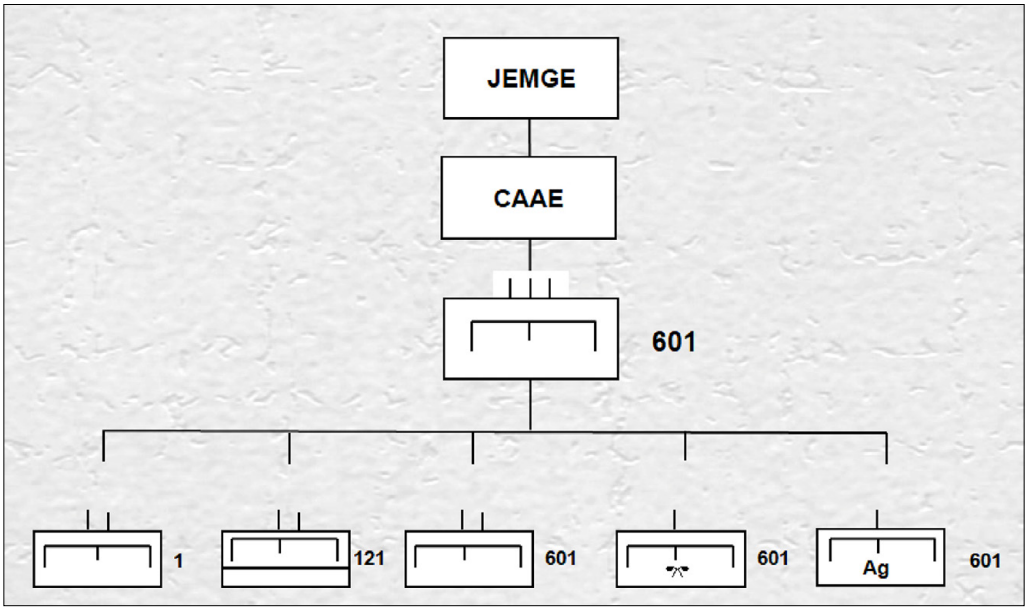


Capacidades

> Recolección o toma de muestras
> Reconocimiento y detección
> Rescate y TRIAGE
> Descontaminación
> Puesto médico de avanzada (internación transitoria)
> Traslado y evacuación

Dependencia orgánica de la CA ING QBNR APY EMERG 601:

CAAE (COMANDO DE ALISTAMIENTO Y ADIESTRAMIENTO DEL EJÉRCITO)



Normas o reglamentación vigentes

La normativa vigente se encuentra en 4 (cuatro) reglamentos.
Un reglamento Conjunto y tres reglamentos específicos del Ejército Argentino.

1. REGLAMENTOS VIGENTES

DENOMINACIÓN	SIGLAS	CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD	Año
PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL Y COLECTIVA QBNR	PC-23-06 PROYECTO	PÚBLICO	2007
Operaciones en Ambiente QBNR	ROP-04-18	Público Militar	2003
Manual sobre Comportamiento en el Terreno de los Agentes QBNR	MFP - 04 - 03	Público Militar	2003
Procedimientos de Protección Individual y Colectiva QBNR	RFP-04-11	Público Militar	2001

2. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LOS REGLAMENTOS:

1) MANUAL SOBRE COMPORTAMIENTO EN EL TERRENO DE LOS AGENTES QBNR MFP - 04 – 03

FINALIDAD: Proporcionar al personal los conceptos técnicos sobre el comportamiento en el terreno y según las condiciones meteorológicas de los agentes QBNR

Consta de 108 páginas.

CONTENIDO:
CAPÍTULO I FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS OPERACIONES QBNR
CAPÍTULO II NOCIONES METEOROLÓGICAS
CAPÍTULO III CONCEPTOS METEOROLÓGICOS EN LAS OPERACIONES QBNR
CAPÍTULO IV COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES QUÍMICOS
CAPÍTULO V COMPORTAMIENTO DE LAS PANTALLAS DE HUMO
CAPÍTULO VI COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS
CAPÍTULO VII COMPORTAMIENTO DE LOS AGENTES NUCLEARES

ANEXOS:
> UNIDADES DE MEDIDAS (TEMPERATURA –LONGITUD-VELOCIDAD)
> ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO
> CUADRO DE COMPARACIÓN DE LOS AGENTES QUÍMICOS
> TABLA PSICROMÉTRICA
> GLOSARIO DE TÉRMINOS

2) PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL Y COLECTIVA QBNR PROYECTO PC 23-06

FINALIDAD: Proporcionar al personal los conceptos técnicos y tácticos referidos a la defensa química, biológica y nuclear. Establecer los procedimientos de detección y protección en ambientes contaminados que permitan mantener la aptitud de las tropas.

Consta de 123 páginas.

CONTENIDO:
CAPÍTULO 1 OPERACIONES QUÍMICAS, BIOLÓGICAS Y NUCLEARES
CAPÍTULO 2 LA PROTECCIÓN QBNR
CAPÍTULO 3 PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL
CAPÍTULO 4 PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA

ANEXOS:
> CARACTERÍSITCAS DE LOS AGENTES QUÍMICOS
> EFECTOS FISIOLÓGICOS PRODUCIDOS POR DOSIS ABSORBIDA DE RADIACIÓN
> CARACTERÍSITICAS DE LAS SEÑALES DE DEMARCACIÓN QBNR
> DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS Y ACCESORIOS DE LA MÁSCARA M17 A1

> FACTORES DE PROTECCIÓN RADIOACTIVA
> CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE POSICIONES ESPECIALES
> INFORME SOBRE ATAQUE QUÍMICO, BIOLÓGICO Y NUCLEAR
> TERMINOLOGÍA

3) PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL Y COLECTIVA QBNR RFP - 04 – 11

FINALIDAD: Proporcionar al personal los conceptos técnicos y tácticos referidos a la defensa química, biológica, nuclear y radiológica. Asimismo, establecer los procedimientos de detección y protección en ambientes contaminados que permitan mantener la aptitud de las tropas.

Consta de 101 páginas.

CONTENIDO:

CAPÍTULO I CONCEPTOS GENERALES SOBRE LAS OPERACIONES QUÍMICAS, BIOLÓGICAS Y NUCLEARES Y RADIOLÓGICAS
CAPÍTULO II LA PROTECCIÓN QBNR
CAPÍTULO III PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL
CAPÍTULO IV PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA

ANEXOS:
> DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS Y ACCESORIOS DE LA MÁSCARA M17 A1
> CARACTERÍSTICAS DE LOS AGENTES QUÍMICOS
> EFECTOS FISIOLÓGICOS PRODUCIDOS POR DOSIS ABSORBIDA DE RADIACIÓN
> CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES DE DEMARCACIÓN QBNR
> INFORME SOBRE ATAQUE QUÍMICO, BIOLÓGICO Y NUCLEAR
> CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE POSICIONES ESPECIALES
> FACTORES DE PROTECCIÓN RADIOACTIVA

4) OPERACIONES EN AMBIENTE QBNR ROP - 04 – 18

FINALIDAD: Este reglamento tiene por finalidad establecer normas para la conducción de operaciones militares en ambiente QBNR en el nivel táctico, y proporcionar un encuadre conceptual para la elaboración de doctrina QBNR derivada.

Consta de 94 páginas.

CONTENIDO:

CAPÍTULO I LA CONDUCCIÓN DE LAS FUERZAS DEL IMT EN AMBIENTE QBNR
CAPÍTULO II LA DEFENSA QBNR
CAPÍTULO III LOS MEDIOS DEL IMT EN LA DEFENSA QBNR
CAPÍTULO IV LAS OPERACIONES TÁCTICAS EN AMBIENTE QBNR
CAPÍTULO V LAS OPERACIONES DE COMBATE BÁSICAS EN AMBIENTE QBNR
CAPÍTULO VI OPERACIONES COMPLEMENTARIAS EN AMBIENTE QBNR

CAPÍTULO VII PLANEAMIENTO EN AMBIENTE QBNR
CAPÍTULO VIII FACTORES QUE INFLUYEN EN EL EMPLEO DE LOS SISTEMAS DE ARMAS QBNR

ANEXOS:
> MEDIDAS DE COORDINACIÓN Y SÍMBOLOS MILITARES DE DEFENSA QBNR

Capacitación del personal de la subunidad QBNR

> Curso básico de defensa QBNR
> Curso avanzado de defensa QBNR
> Curso conjunto de introducción a la problemática QBNR

CURSOS REALIZADOS EN EL PAÍS
> CIQUIME/CIPET/CATAMP
> Bomberos locales/PFA
> Defensa Civil
> Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN
> SAME - Asesoría en Manual de Primeros respondedores

CURSOS REALIZADOS FUERA DEL PAÍS
> Escuela de Defensa QBNR (Estados Unidos)
> Agencia de reducción de riesgos (Estados Unidos)
> Primer Batallón de Defensa QBNR (Ejército brasilero)
> OPAQ - Organización para la Prohibición de Armas Químicas (Panamá, República Dominicana, Qatar, Buenos Aires).
> Especialización en protección radiológica y fuentes de radiación (OIEA – ARN – FIUBA)
> Posgrado en seguridad nuclear (OIEA – ARN – FIUBA)

CURSOS EN ORGANIZACIÓN PARA LA PROHIBICIÓN DE ARMAS QUÍMICAS (OPAQ).
> Curso básico antes emergencias químicas para América y el Caribe.
> Curso avanzado antes emergencias químicas para América y el Caribe.
> Ejercicio de respuesta antes emergencias químicas para América y el Caribe.
> Capacitación para capacitadores.
> Basic Course on Response to Chemical Attacks and Incidents with Toxic Industrial Chemicals for States Parties from the Latin America and Caribbean Region.
> Taller regional de Seguridad Química
> Seminar on the CWC and Chemical Safety and Security Management for Member States in the Asia Region

Equipamiento

> Sistemas de descontaminación CRISTANINI (CBRN)
> Sistema de descontaminación colectiva 104 personas c/ 4 horas, 3 líneas descontaminación
> Sistemas de descontaminación individual

> Sistemas SANIJET C 921
> Sistemas PSDS 10
> Sistemas PSDC 1.5
> Unidad móvil detoxificación y descontaminación rápida NBQR (con dos operadores simultáneamente)
> Carpas de 60 metros cuadrados
> Carpas para dos personas

Equipamiento de campaña en desarrollo:
Se encuentra en proceso de armado de un laboratorio móvil que dará la capacidad de poder realizar la identificación de los agentes químicos en el campo, confirmando aquello detectado por los AP4C. Esto también se aplica a situaciones biológicas y radiológicas, con el siguiente equipamiento

> Contador hematológico
> Equipo de química clínica
> Diferentes microscopios
> Equipo de serología
> Ionograma, orinas, F. Coagulación
> Equipo de Biología -Molecular (Film Array).

Conclusiones

1. La problemática QBNR estuvo en el Ejército Argentino tempranamente presente, desde la década del 60. Como se aprecia en esta reseña, desde una adelantada época, se estimó la necesidad de obtener conocimientos; capacitación; organización y equipamientos tanto para las operaciones militares como para la Defensa Civil.
2. Se verifica que la disolución de la Escuela de Guerra Tóxica obedeció fundamentalmente a problemas de: ***"reales posibilidades económico-financieras*** así como ***exigencias operacionales y de las reales posibilidades de la Fuerza".*** Es decir, a mi juicio, un empleo insospechado y demasiado oneroso para disponer en el Ejército de la capacidad de guerra QBNR.
3. Luego de un largo impasse (30 años) hasta el inicio de los 2000, se retoma la actividad con la desventaja de haberse roto la cadena de transmisión del conocimiento, en un mundo cambiante y de gran desarrollo y evolución de las armas QBNR, ha representado un grave perjuicio. Retomar esta temática se debe a que luego de la Guerra del Golfo se observó que en virtud de la asimetría en el campo de combate, existe la posibilidad de la utilización de armas no convencionales y en este sentido es primordial tener la capacidad de Defensa QBNR.
4. En un principio, la actividad QBNR no tuvo una dependencia de arma única alguna, sino que los cuadros de conducción pertenecían a distintas armas, en la actualidad la responsabilidad está en manos del Arma de Ingenieros. Aunque el equipamiento de protección personal, así como equipos de detección individual tendrían que ser para todos los efectivos del Ejército Argentino.
5. Por la misión asignada a la Subunidad, es decir de apoyo general, tiene que responder requerimientos operacionales a lo largo y ancho del país con una organización muy reducida. Esta cuestión, a mi juicio, es una gran limitación.
6. Otro problema que se aprecia es que no existe una organización, llámese Escuela o Centro de Capacitación en conducción de operaciones QBNR. Asimismo, la capacitación individual y de conjunto en las unidades de las armas no se estaría realizando. Se puede apreciar en que los

equipos individuales no son suficientes como para que todo el Ejército Argentino disponga de un equipo básico de protección.
7. Es cierto que existe doctrina pero ya está desactualizada. Además, en principio no parecería cubrir con las necesidades de los distintos escalones de: conducción; planificación; asesoramiento y ejecución.
8. Se aprecia que no se están utilizando sensores remotos para la tarea de detección, identificación y análisis a distancia, a fin de evitar la exposición prematura., valga la redundancia.
9. Es importante entender el contexto del escenario actual de los nuevos conflictos que son muy distintos a los que tenemos hoy en nuestra doctrina, en la que la asimetría de fuerzas y el aumento de la probabilidad de uso de armas de destrucción masiva aumenta. Tengamos en cuenta que dentro del concepto del uso de este tipo de armas se encuentra justamente explotar la debilidad de la falta de preparación de contra medidas para mitigar su efecto.
10. Además, tener la capacidad de poder mitigar efectos de ataques o intervenciones de tipo terroristas que intenten afectar objetivos estratégicos a nivel nacional que afecten la estabilidad del Estado es fundamental para el cumplimiento de la misión del Ejército. Tenemos que entender que la intervención por parte de elementos de Defensa QBNR de las Fuerzas Armadas se realiza cuando están superados los elementos de las fuerzas de seguridad.

Base Documental

> Libros históricos de los elementos de guerra tóxica.
> Boletín BIGTOX (Escuela de guerra tóxica)
> Presentación de la Ca Ing QBNR Apy Emerg 601
> MANUAL SOBRE COMPORTAMIENTO EN EL TERRENO DE LOS AGENTES QBNR MFP - 04 – 03
> PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL Y COLECTIVA QBNR (PROYECTO) PC 23-06
> PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL Y COLECTIVA QBNR RFP - 04 – 11
> OPERACIONES EN AMBIENTE QBNR ROP - 04 – 18

Agradecimientos

Un especial agradecimiento por su colaboración para la elaboración de este informe a los señores:

> CR Ing OIM Rafael GUERRERO
> TC Ing OIM Augusto Maximiliano TADDEO
> TC Ing OEM Nicolás PIETROBELLI
> TC (R) Juan Pablo AGUIRRE FAGET

(*) **Alejandro Marcelo Gazpio,** Coronel en situación de retiro, promoción 106, Arma de Ingenieros, Ingeniero Militar especialidad Geográfica, Comisión permanente en la República de Bolivia, especialista en seguridad e higiene ocupacional, ex Subdirector IGM, integrante del CEPTM de la FIE, profesor de topografía, geomorfología y tecnología de la representación, perito judicial; ha realizado distintas publicaciones sobre su especialidad.

Breves Conclusiones sobre el Trabajo Prospectivo de DQBN – ADM

Por el Coronel (R) Oficial Ingeniero Militar José Alberto Guglielmone*

> Como ya se ha expresado, el presente trabajo prospectivo de Defensa Química Biológica y Nuclear sobre Armas de Destrucción Masiva, realizado por el Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológico Militar "Grl MOSCONI", tiene por objetivo principal profundizar el conocimiento en temas específicos de defensa y seguridad, a fin de obtener diferentes productos elaborados con información confiable, ser puestos a disposición de los decisores de los distintos niveles, para que se logre una adecuada planificación y así concretar hechos que contribuyan a mejorar la situación actual en la cual nos encontramos.

> Si bien cada artículo que antecede en este estudio académico prospectivo tiene sus conclusiones detalladas y específicas, nos ha permitido arribar a la primera en su conjunto, la cual es tomar verdadera dimensión de la debilidad de nuestros recursos, tanto humanos como materiales, para enfrentar cualquier situación que involucre la presencia o aun una amenaza en estos tipos de ambientes.

> Se advierte un escenario de posible empleo de ADM, particularmente en el uso de Armas Biológicas y Químicas, por parte de grupos no estatales (terroristas o delincuencia), ya que los conocimientos sobre este tipo de tecnología se encuentran disponibles y al alcance de estas organizaciones para ser utilizadas dentro de los parámetros y circunstancias que ellas consideren.

> Actualmente ningún estado puede enfrentar por sí solo estas amenazas, sino que debe afrontarlas de manera colectiva, formando parte de las organizaciones supranacionales, apoyando y adoptando las diferentes medidas que se tomen en los regímenes y acuerdos internacionales y estableciendo mecanismos de cooperación.

> De igual manera a nivel nacional es imprescindible adoptar las medidas necesarias para prevenir y responder al empleo de ADM, alcanzando diferentes espacios involucrados. Estas pueden estar dadas en: la revisión y modificación de la legislación vigente a fin de poder actuar bajo un marco legal razonable, instauración de autoridades nacionales que velen y clamen por el cumplimiento de los acuerdos internacionales, mantener a la comunidad informada sobre el tema mediante redes de alertas a civiles, el llamado al sector científico a involucrarse asesorando y participando con su saber en proyectos de investigación y desarrollo y, por úl-

timo, e imprescindible lograr que las Fuerzas Armadas, de Seguridad y comunidad Sanitaria, alcancen un adecuado nivel de capacitación, organización y equipamiento, para afrontar y mitigar este tipo de amenazas.

> Como elemento adicional para el análisis, no debe descartarse la posibilidad de que las Fuerzas Armadas, las Fuerzas de Seguridad y la comunidad civil involucrada en la temática deban operar en ambientes químicos, biológicos o nucleares, no sólo por el empleo de ADM, sino por la presencia de este tipo de agentes por causas naturales como en el caso de la presente pandemia, o por la dispersión de dichos agentes debido a accidentes o catástrofes como también eventualidades del combate.

> Una comunidad civil educada y con expertos en ADM es esencial para comprender la peligrosidad de estas armas en el entorno de seguridad y defensa, por lo que será necesario la integración de todos los recursos humanos con injerencia en el tema, debiendo ser incluidos todos aquellos que tengan participación en los conocimientos básicos y especiales.

> Si bien el virus SARS-COV-2 no se podría considerar como una ADM del tipo biológica, claro está que los efectos producidos a nivel global hasta el momento por esta enfermedad llamada COVID-19, tales como los riesgos para la salud que esta conlleva, principalmente en los millones de muertos, el colapso de las economías, la alteración en la conducta social, etc. son razones más que suficientes para ser tratado y realizar las operaciones necesarias para contrarrestar esta pandemia como si fuera una ADM.

> La acción primaria para poder contrarrestar o reducir el accionar de ADM u operar en ambientes QBN, es la toma de conciencia de la necesidad de capacitar, organizar y emplear a las Fuerzas Armadas, Fuerzas de Seguridad y comunidad civil involucrada. Es por ello que se considera imprescindible la capacitación de estos, prioritariamente de las Fuerzas Armadas, mediante la creación de un instituto de DQBN, con analogía de la antigua Escuela de Guerras Tóxicas del EA, lo que permitirá reestablecer e incrementar el conocimiento y preparación en la DQBN. El instituto tendría la responsabilidad primaria en la educación e instrucción de cuadros y tropas de los diferentes elementos de las Fuerzas, mediante el dictado de cursos afines a la temática, la participación en proponer actualizar la doctrina y la organización, en la generación de proyectos de investigación y desarrollo relacionados, en el seguimiento de las posibles vacantes para participar en los organismos internacionales vinculados, y en la determinación del posible equipamiento requerido por el Estado. El EA particularmente por los recursos y conocimiento que posee, inicialmente podría generar el núcleo del instituto mencionado.

> La amenaza que representan las ADM sigue siendo un desafío ineludible para la seguridad nacional, parafraseando a Sun Tzu en el "Arte de la Guerra", decía: "No dependas de que el enemigo no llegue, sino de estar listo para enfrentarlo".

(*) **José Alberto Guglielmone:** Coronel de Artillería (R); Ingeniero en Sistemas de Armas Electrónicas; Posgrado en Criptografía y Seguridad Teleinformática (EST "Grl M N Savio); Docente Investigador (Ministerio de Educación); Miembro COPITEC. Se desempeñó en la recepción de materiales y proyectos de Defensa Antiaérea con la fábrica Oerlikon; como Secretario de Investigación de la EST "Grl M. N. Savio"; en el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, como Jefe del Departamento de Control Guiado y Simulación, Gerente de Tecnología e Innovación y Director de Proyectos de Ejército. Docente Universitario de la Facultad de Ingeniería del Ejército "Grl M N Savio" y de la Universidad de Palermo-Facultad de Ingeniería. Participa en proyectos en el Centro de Investigación de Desarrollo de Sistemas Operacionales del Ejército; Analista y Director del CEPTM "Grl MOSCONI".

2. ARTÍCULOS SELECCIONADOS EN CONVOCATORIA 2019/2020

2.1

Tecnología de radar de apertura sintética y sus aplicaciones en defensa y seguridad

Por S. Balbarani, G. F. Truffe, C. Escartin, F. M. Galbán, SpaceSUR & Facultad de Ingeniería del Ejército (UNDEF), Argentina

Resumen

La seguridad nacional permite la estabilidad necesaria para el desarrollo de un país mediante la implementación de recursos y estrategias para la defensa. Actualmente, las amenazas vienen dadas por el delito, el terrorismo, los riesgos ambientales y algunos fenómenos sociales que afectan al territorio, la población y a las libertades.

La tecnología de radar resulta muy conocida en al ámbito militar ya que es utilizada para rastrear barcos, aviones y guiar armas. En los años 50, con la aparición de los radares de imágenes, y en especial, los radares de apertura sintética, comenzaron a surgir aplicaciones civiles de esta tecnología, convirtiéndose en un mecanismo muy particular para observar el territorio y los fenómenos.

Un radar de apertura sintética es un sensor activo de la teledetección en el rango de las microondas, montado sobre una plataforma, aérea o satelital, que permite adquirir imágenes de alta resolución, independientemente de las condiciones atmosféricas y del momento de las adquisiciones. Esta tecnología tiene aplicaciones en sectores como, agricultura, silvicultura, geología, ingeniería, alertas y emergencias ante catástrofes, y en defensa y seguridad, entre otros.

El presente artículo académico aborda una temática emergente, con carácter disruptivo en el ámbito militar: la tecnología satelital de radar de apertura sintética. Está basado en experiencias personales y reconocidas fuentes bibliográficas nacionales e internacionales. Se presenta su evolución histórica, los fundamentos y las principales aplicaciones en defensa y seguridad.

El trabajo pretende despertar interés en esta tecnología de percepción remota, sus avances y tendencias. El radar de apertura sintética se encuentra en pleno auge a nivel nacional, dado que Argentina se posiciona a la vanguardia por comandar una misión satelital en banda L, única en el

mundo. La tecnología posee un gran potencial como generadora de soluciones innovadoras, y de respuesta rápida, para la seguridad y la defensa nacional.

Palabras clave: radar de apertura sintética - aplicaciones - defensa y seguridad.

Tipo de Artículo
Artículos sobre tecnologías estratégicas, emergentes o disruptivas.

Eje Temático
Sensores remotos y detectores.
Emergencias y catástrofes.

Introducción

Defensa y seguridad son dos conceptos muy relacionados pero que representan cuestiones diferentes. La seguridad incluye el conjunto de acciones para mantener la integridad, el patrimonio y los derechos de una Nación. En tanto, la defensa son las acciones que buscan preservar la integridad del Estado. La política de defensa nacional se utiliza para prevenir en forma disuasiva o efectiva, amenazas externas que atenten contra su soberanía e independencia, así como a su integridad territorial y capacidad de autodeterminación. Las amenazas más comunes vienen dadas por la delincuencia, el terrorismo, los riesgos por desastres ambientales, y fenómenos sociales globales como las migraciones, que impactan sobre el territorio y los ciudadanos (Polverini, 2010).

Entre los riesgos y amenazas que afectan la seguridad, aparece un común denominador que es el espacio territorial. La defensa del territorio y su población quedan supeditados al monitoreo y control del espacio. En este sentido, las tecnologías de observación de la Tierra cumplen un rol fundamental. La combinación de datos y herramientas geoespaciales transforman, por ejemplo, información satelital y *big data* en inteligencia oportuna, precisa y procesable para el sector de la defensa y la seguridad (Slater & Holzer, 2019)

Desde el lanzamiento del primer satélite artificial por la ex Unión Soviética, el Sputnik-1, en 1957, cientos de satélites de observación de la Tierra han sido puestos en órbita. La teledetección permite interpretar y analizar la vinculación entre los fenómenos naturales y/o antrópicos que ocurren sobre la Tierra y la radiación electromagnética que se emite o refleja desde ésta. Entre todos estos satélites artificiales, se encuentran aquellos que transportan un instrumento muy particular, los radares.

La tecnología de radar consiste en un sistema para detectar, localizar e identificar objetos móviles o estáticos, a distancia, mediante el uso de las ondas electromagnéticas de radio. El término deriva del acrónimo en inglés *radio detection and ranging,* que significa "detección y medición de distancias por radio". Se basa en la emisión de un impulso de radio, que interactúa y retro-dispersa sobre el objeto observado, y se recibe en un receptor. El eco recibido permite extraer una gran cantidad de información.

Entre los radares, el radar de apertura sintética (SAR, por sus siglas en inglés) es un sistema que nace como una tecnología con fines puramente militares, y que luego, las aplicaciones civiles fueron cobrando mayor importancia. Hoy en día, se define al SAR como una tecnología de observación de la Tierra, y de los procesos dinámicos que allí ocurren. Permite capturar imágenes de alta resolución, independientemente de la presencia o no, de radiación solar (diurno, nocturno)

y de las condiciones atmosféricas (presencia de nubes, lluvias, tormentas, humo) al momento de las adquisiciones. Esta capacidad de poder capturar información tanto de día como de noche permite aprovechar las pasadas de órbita ascendente y descendente, y aumentar el tiempo de revisita (Richards, 2009).

El SAR es un sistema activo de la teledetección por microondas que genera su propia energía en ese rango del espectro. Posee una configuración de observación lateral emitiendo radiación pulsada hacia la Tierra, y recogiendo la respuesta de los ecos tras interactuar con la superficie, de manera secuencial. La dirección de vuelo de la plataforma se la denomina azimut, y la línea de vista del radar, rango inclinado. Los sistemas SAR transmiten en una determinada frecuencia central que define un rango denominado banda SAR. La frecuencia central y la longitud de onda de la señal se relacionan mediante una fórmula muy conocida:

$$c=\lambda \cdot f$$

Donde:
c es la velocidad de la luz en el vacío.
λ es la longitud de onda de la señal.
f es la frecuencia central.

Los sistemas SAR quedan entonces caracterizados, principalmente, por la frecuencia central en la que generan su energía electromagnética y, a su vez, esta característica define las aplicaciones más importantes de la misión. Por ejemplo, frecuencias pequeñas son útiles para estudios forestales, dado su poder de penetración; y frecuencias altas son útiles para vigilancia marítima, cartografía y mapeo de inundaciones.

Las bandas de frecuencias SAR más comunes entre los sistemas, se presentan en la Tabla I (Moreira et al, 2013).

TABLA I

Banda	X	C	S	L	P
Frecuencia (GHz)	12,0 a 7,5	7,5 a 3,75	3,75 a 2,0	2,0 a 1,0	0,5 a 0,25
Longitud de Onda (Cm)	2,5 a 4	4,0 a 8	8 a 15	15 a 30	60 a 120

El objetivo del presente artículo es efectuar una revisión del estado de arte y las tendencias de la tecnología satelital de radar de apertura sintética, en un contexto internacional, y enfocado en el apoyo en que puede brindar para soluciones innovadoras en el sector de la defensa y seguridad. En este sentido, el estudio quedó acotado a instrumentos montados sobre plataformas espaciales, dejando de lado los sistemas de sensoramiento terrestre, plataformas aerotransportadas o en dispositivos remotamente pilotados.

El interés y la motivación radican en que actualmente la Argentina se encuentra a la vanguardia de esta tecnología y es protagonista central en el plano internacional. Por medio de la Agencia Espacial Argentina (CONAE), quien diseña, ejecuta, controla y administra la primera misión satelital de radar en banda L conocida como SAOCOM (Satélite Argentino de Observación CO Microondas). La aplicación del Plan Espacial Nacional está segmentado en ciclos de información espacial, es decir, información generada desde el espacio, con el objeto de optimizar determinadas áreas de la actividad socioeconómica, entre ellas, la defensa y la seguridad de nuestro país.

El artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: 1) Antecedentes: nacimiento, evolución, contexto actual y tendencias futuras de la tecnología; 2) Fundamentos: principios, geometría y modos de adquisición, y productos generados; 3) Aplicaciones en defensa y seguridad; y 4) Discusión y conclusiones.

1. Antecedentes

Evolución del Radar

Los conceptos básicos de radar fueron demostrados por los experimentos llevados a cabo por Heinrich Hertz, entre 1885 y 1889, quien verificó las predicciones teóricas realizadas por James Clerk Maxwell, en su artículo *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field,* de 1864. Los trabajos de Hertz fueron continuados por Christian Hülsmeyer, quien inventó el *Telemobiloskop*, patentado en 1903, y que básicamente era un radar rudimentario para detectar barcos y evitar que colisionaran (García Lebiére, 2012).

En los años 20, el ingeniero Guglielmo Marconi observó la detección de blancos durante sus experimentos con ondas de radio e incluyó este resultado en uno de sus discursos de 1922 ante el *Institute of Radio Engineers* (actual IEEE). Paralelamente, en 1922 Albert H. Taylor y Leo C. Young, de *United State Naval Research Laboratory,* observaron una señal fluctuante cuando un barco pasaba por la línea transmisor-receptor sobre el Río Potomac (Estados Unidos), al que se conoce como radar biestático de onda continua. En 1925, Gregory Breit y Merle Anthony Tuve, del Carnegie *Institution of Washington* midieron la altura de la ionosfera mediante la técnica de radar pulsado, y cuyo mismo principio podía utilizarse para detectar blancos, tales como barcos o aviones (García Lebiére, 2012).

Fue con los grandes bombardeos de finales de los años 20 y principios de los 30, cuando se le dio el gran impulso a la tecnología de radar. En los años 30, luego de varias pruebas, se redescubrió el radar pulsado, y se desarrolló de manera simultánea, independiente y secreta en los países intervinientes de los conflictos bélicos de la época. Se podría decir que la era de los radares modernos había empezado. Uno de los inventos que hizo acercar aún más estos radares a los que actualmente existen, fue el magnetrón, un aparato perfeccionado en la Universidad de Birmingham, Inglaterra. Esto cambió radicalmente los radares de aquel entonces. Fueron los científicos del *MIT Radiation Laboratory,* en 1940, los que consiguieron aunar el magnetrón con los radares de la época. Así pues, la tecnología y los sistemas radar crecieron de manera exponencial durante la Segunda Guerra Mundial.

Origen del SAR

Los radares de imágenes nacen a partir de sucesivos desarrollos de los radares aerotransportados, como por ejemplo el H2S, el primer sistema de radar aerotransportado que escaneaba la Tierra. La posibilidad de generar imágenes nocturnas y con presencia de nubes fue una gran ventaja, sin embargo, la capacidad de detectar objetos debajo de la vegetación fue la mayor motivación militar del momento. A principio de los años 50, algunos ingenieros se dieron cuenta de que utilizando altas frecuencias, y una antena larga y fija sobre el fuselaje de un avión, permitía conseguir mayores aperturas, y con ello, una mejora en la resolución en la dirección del azimut. A este tipo de radares se los denominó *side-looking aperture radar* (SLAR) y fueron el embrión de los radares SAR actuales.

El gran paso hacia los radares de apertura sintética lo dio Carl Atwood Wiley, un matemático que trabajaba para *Goodyear Aircraft Company* en Litcheld Park, Arizona, en 1951. Wiley se dio cuenta que dos blancos fijos, con una separación angular relativa al vector de velocidad, podían resolverse mediante un análisis frecuencial del espectro. Esto permitió mejorar la resolución en azimut ya que además de la separación espacial entre blancos añadía una separación respecto de la deriva de la frecuencia *Doppler*. Esta técnica simula o sintetiza una antena mucho más larga, a partir de una de menor tamaño, para mejorar la resolución del sistema en azimut. El

desarrollo fue patentado en 1954 como la técnica *Doppler beam-sharpening* (Wiley, 1954). Si bien el grupo de trabajo de Wiley estaba interesado en aplicaciones militares, crearon en 1953, el primer SAR aerotransportado en un avión DC-3.

En 1958, bajo un importante proyecto de Universidad de Michigan, y encargado por la *United States Army,* se desarrolló una gran cantidad de sistemas SAR aerotransportados que empezaron a generar mapas con el modo *Stripmap*. Uno de los principales logros del proyecto fue la mejora en la conversión de la señal en imágenes de alta resolución. A diferencia del SLAR, el SAR aparecía como un sistema coherente, por lo que requería que se preserven tanto la amplitud como la fase de las señales (Woodhouse, 2006).

Hubo que esperar un largo periodo de tiempo entre los desarrollos de estos sistemas militares y su desclasificación para uso civil. La primera aplicación civil a gran escala fue en 1967, cuando se relevaron 20.000 kilómetros cuadrados, en la provincia de Darién (Panamá), una región forestal con mucha presencia de nubosidad. El éxito de este proyecto condujo a la ejecución de nuevas iniciativas. En 1971, se relevaron 500.000 kilómetros cuadrados sobre Venezuela, lo que significó una gran mejora del inventario y mapeo de los recursos hídricos de ese país. En el mismo año comenzó el Proyecto Randam *(Radar of the Amazon)* con una cobertura de 8.500.000 kilómetros cuadrados con fines geológicos, forestales, minerales y otros. El éxito de estos proyectos permitió considerar a los radares de imágenes, en particular SAR, como una excepcional herramienta para cartografía (Woodhouse, 2006).

Inicio de la Era Satelital

Recién fue en 1978 cuando la NASA puso en órbita el primer satélite con un instrumento SAR, el SEASAT. Este satélite fue diseñado por el centro de investigación del JPL *(Jet Propulsion Laboratory)* para estudiar la viabilidad de monitoreo global de los océanos. Operaba en banda L (1,175 GHz) y con polarización HH, y permitía obtener imágenes con una resolución espacial de 25 metros y una cobertura de 40 kilómetros cuadrados. La misión duró tan solo 105 días; sin embargo, fue considerada todo un éxito.

Tras el SEASAT, el satélite *Shuttle Imaging Radar A* (SIR-A) fue lanzado en 1981. El principal objetivo de esta misión fue ampliar el conocimiento de cómo se observaban desde el radar satelital las distintas características geológicas. El radar operaba también en banda L obteniendo imágenes con resoluciones de 40 metros. Siguió el satélite *Shuttle Imaging Radar B* (SIR-B) que fue el segundo mayor avance de la NASA. A partir de los datos de las misiones previas, descubrieron la relación entre la intensidad de la imagen y el ángulo de iluminación. Por esta razón, el SIR-B se diseñó con una antena que podía variar dicho ángulo de manera mecánica. Fue lanzado en 1984, operaba en banda L y disponía de una antena de 11 x 2 metros. Finalmente, el *Shuttle Imaging Radar C/X-SAR* (SIR-C/X-SAR) fue un sistema de radar lanzado en dos misiones, en 1994. Trabajaba en multi-frecuencia (banda L, C y X) y la antena era de 12 x 4 metros, que podía trabajar a una sola frecuencia. Las misiones obtuvieron mapas de un 10 por ciento de la Tierra, con resoluciones de entre 25 y 50 metros. Estas misiones ayudaron a los científicos a entender procesos ambientales como la deforestación en el Amazonas o la desertización del Sahara.

Primera Generación

European Radar Sensing Satellite-1 (ERS-1) fue el primer programa de observación de la Tierra de la Agencia Espacial Europea (ESA). Fue lanzado en 1991. El sistema trabajaba en banda C (5,3 GHz), con polarización VV y resoluciones de 30 metros. Sin embargo, el satélite llevaba también un altímetro radar (RA), un radiómetro infrarrojo (ATSR-1), un radiómetro de microondas (MWR)

y un escaterómetro. La misión finalizó en marzo de 2000, cuando el satélite tuvo una falla en la computadora y en los giroscopios. Su predecesor, ERS-2, fue puesto en órbita en 1995. Fue similar a ERS-1, aunque añadiendo el GOME *(Global Ozone Monitoring Experiment)* y un espectrómetro de absorción. Estaba situado en el mismo plano orbital que ERS-1 lo cual posibilitó una misión "tándem", que permitía la repetición de adquisiciones con un día de diferencia. La misión culminó sus operaciones a mediados de 2011.

RadarSat-1 fue el primer satélite comercial canadiense de observación de la Tierra. Fue lanzado en 1995. Operaba en banda C y la antena era de 15 x 1,5 metros con polarización HH. Además, disponía de siete modos de adquisición, cada uno con diferente área de cobertura y resolución espacial. El modo más fino era el *Stripmap*, en el que se cubría un barrido de 45 kilómetros, con una resolución de 8 metros. La misión ha tenido un importante aporte a la agricultura, cartografía, hidrología, silvicultura, oceanografía, geología, vigilancia de hielos y océanos y en la detección de manchas de petróleo en el mar.

EnviSat *(Environmental Satellite)* fue un satélite construido por la ESA y puesto en órbita en marzo de 2002. Luego de la Estación Espacial Internacional, fue el mayor satélite artificial con una masa de 8,2 toneladas. Poseía nueve instrumentos para obtener información de la superficie terrestre, los océanos y la atmósfera. Entre ellos, el sensor ASAR *(Advanced Synthetic Aperture Radar)* que operaba en banda C (5,3 GHz), con la mayor resolución posible de 3 metros. Pocas semanas después de celebrar su décimo aniversario en órbita, el 8 de abril de 2012 se perdió de forma repentina el contacto con el satélite.

Las misiones ERS-1/2, y Envisat, representan un hito histórico trascendental en la primera generación de satélites SAR. Juntas acumulan más de 20 años de observación de la Tierra con radar, permitiendo variados y fructíferos estudios multitemporales, con esas imágenes.

Palsar *(Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar)* fue uno de los tres instrumentos que llevaba el satélite japonés ALOS que orbitó la Tierra entre 2006 y 2011. Fue la continuación de su predecesor JERS. Operaba en banda L del espectro y con modos polarimétricos completos, de característica similar al actual satélite argentino SAOCOM-1.

Finalmente, no se puede dejar de mencionar al SRTM *(Shuttle Radar Topography Mission)*. Fue una exitosa misión de radar de apertura sintética biestático operando en dos bandas (X y C). Esta duró tan solo 11 días y logró generar un modelo digital de elevaciones global, con una resolución y precisión inigualables en ese momento.

Segunda Generación

La segunda generación de satélites SAR nace aproximadamente en el año 2007, con la llegada de nuevas constelaciones que mejoraban considerablemente las resoluciones espaciales, el período de revisita y algunos aspectos tecnológicos propios de los instrumentos. Si bien las tres misiones que se describen a continuación se encuentran operativas, han sobrepasado exitosamente su promedio de vida útil, lo que permite esperar el fin de la misión de las respectivas misiones en un futuro no muy lejano.

La constelación italiana COSMO SkyMed (aún en órbita) está compuesta por cuatro satélites SAR operando en la banda X (9,6 GHz). El COSMO SkyMed-1 se lanzó en 2007 y tras los sucesivos lanzamientos, se completó la constelación en 2010. Las imágenes son utilizadas en varias aplicaciones como vigilancia en el mar, cartografía e inundaciones. Una segunda generación de COSMO SkyMed con nuevos modos de adquisición experimentales se está enviando al espacio. Son dos los satélites COSMO SkyMed-SG; el primero de ellos (CSG-1) fue lanzado exitosamente en diciembre de 2019 y se prevé el lanzamiento de CSG-2 en 2021.

Otra misión SAR en banda X puesta en órbita en 2007 fue TerraSAR-X. El principal objetivo de este proyecto alemán fue generar información topográfica de calidad para aplicaciones comerciales y científicas. Cuenta con diversos modos de adquisición, uno de los cuales *(Spotlight)* alcanza una resolución de 1 metro. Desde el año 2010, posee un satélite gemelo llamado TanDEM-X *(TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement)* situado en la misma órbita, muy cercano, para generar un MDE global de alta precisión.

RadarSat-2 es la continuación mejorada de su predecesor RadarSat-1. Se puso en órbita en 2007 y opera en banda C (5,4 GHz). Es utilizado en cartografía de los hielos relacionada con las rutas de los barcos, detección de icebergs, monitoreo de cultivos, vigilancia marítima y detección de contaminación, entre otras. En junio de 2019, fue lanzada parte de una misión sucesora y complementaria de tres satélites pequeños, denominada *RadarSat Constellation Mission* (RCM). Se espera que en los próximos años se sumen tres satélites más.

Actualidad

A partir de 2014, nuevas misiones se suman a las constelaciones de la segunda generación. Una de las más atractivas es la misión Sentinel-1, perteneciente al Programa Copernicus de la Unión Europea (UE). Esta misión de radar en banda C (5,4 GHz) forma parte de un conjunto de misiones satelitales, servicios y redes de datos de campo, disponibles de manera gratuita gracias a la política de acceso libre por parte de la Unión Europea.

La misión española Paz está compuesta por un satélite con un instrumento SAR que opera en banda X. Fue lanzado a principios de 2018 y se basa en las características de los satélites TerraSAR-X y TanDEM-X, que juntos conforman una constelación. Su objetivo está focalizado a las necesidades de defensa y seguridad de dicho país.

ALOS-Palsar-2 es la misión japonesa de observación de la Tierra como continuación de ALOS-Palsar. Fue lanzada en 2014 y opera en banda L (1,175 GHz). Posee varios modos de captura y polarimétricos. Dada su longitud de onda larga es muy utilizada para estudios forestales.

SAOCOM-1 es la primera misión SAR de la Argentina. Opera en banda L del espectro y está compuesto por el SAOCOM-1A y SAOCOM-1B, el primero de los cuales fue lanzado en octubre de 2018, y el segundo em 2020. La misión tiene como objetivo fundamental estimar mapas de humedad de suelo para toda la región pampeana de nuestro país, con fines productivos.

Las misiones COSMO SkyMed y SAOCOM-1, conforman una constelación de satélites denominada SIASGE (Sistema Ítalo Argentino de Satélites para la Gestión de Emergencias). Los seis satélites se encuentran ubicados en órbitas polares a la misma altura, en distintos planos orbitales, de tal manera que el conjunto funciona como un único instrumento (banda X + banda L). Esto permite un monitoreo en tiempo casi real, cada 12 horas, especialmente necesa-

TABLA II

Misión	Lanzamiento	Banda & Polarización	Agencia & País
COSMO SkyMed /-SG	2007	X (Quad)	ASI (Italia)
TerraSAR-X	2007	X (Doble)	DLR (Alemania)
TanDEM-X	2010	X (Quad)	DLR (Alemania)
Paz	2018	X (Quad)	CDTI (España)
Sentinel-1	2014	C (Doble)	ESA (Europa)
RadarSat-2	2007	C (Quad)	CSA (Canadá)
RadarSat RCM	2019	C (Quad)	CSA (Canadá)
Alos-Palsar-2	2014	L (Quad)	JAXA (Japón)
SAOCOM-1	2018	L (Quad)	CONAE (Argentina)

rio para el monitoreo y seguimiento de la evolución de catástrofes en Argentina, tales como: incendios, inundaciones, erupciones, terremotos, avalanchas, derrumbes y deslaves.

La Tabla II muestra las principales misiones de radar de apertura sintética que se encuentran actualmente operando. Sin embargo, debemos considerar que también existen otras misiones SAR desarrolladas por países como India, China y Corea. Por ejemplo: RISAT-2 (banda X) operado por ISRO, desde 2009. Kompsat-5 (banda X) operado por KARI, desde 2013. Y GaoFen-3 (banda C) operado por CNSA, desde 2016.

Por último, se debe considerar al proyecto NISAR como una misión satelital en conjunto entre la NASA e ISRO que llevará tecnología SAR en banda L y banda S, generando imágenes con resoluciones de 5 a 10 metros para estimación de topografía mundial y monitoreo de masa de hielo, principalmente. Se prevé su lanzamiento para el año 2022.

Perspectivas y Tendencias

Actualmente, el desarrollo de la tecnología SAR comenzó a ligarse al concepto de *NewSpace*, una industria privada emergente que contiene a empresas del sector aeroespacial con clara vocación comercial en este tipo de tecnologías.

Las nuevas constelaciones comprenden varios satélites pequeños *(smallsats)* mediante el despliegue de antenas inteligentes, y equipamientos de avanzada, en tan solo una masa de 100 kilos aproximadamente. Estas misiones vienen comandadas por empresas emergentes *(Startups)* que reciben inversiones para el desarrollo de sus proyectos. Las constelaciones operan principalmente en banda X, aseguran períodos de revisitas de unas pocas horas, y de menos de un día para pedidos interferométricos, y ofrecen productos de respuesta rápida, para el caso de alertas y emergencias. Las resoluciones parten de los 25 centímetros en dirección del azimut, y con excelente calidad radiométrica (Herrmann, 2018).

Uno de los grandes protagonistas es la empresa finlandesa ICEYE, cuya constelación estará compuesta por 18 *smallsats* con radar de apertura sintética en banda X (9,65 GHz) en polarización VV. Actualmente, la constelación cuenta con diez satélites en órbita. Está planificado a mitad del año 2021 otros 6 satélites más, con lo que se llegaría a 3 horas de período de revisita.

Otro actor importante es Capella Space, una empresa estadounidense cuya constelación opera en banda X con simple polarización (VV o HH) con resolución espacial hasta 25 centímetros y cobertura de 5 kilómetros por 20 kilómetros para el modo clásico *Stripmap*. Actualmente, han lanzado el primer satélite el 1ro de agosto de 2020, sumaron dos más en 2021 y esperan completar 36 satélites en 12 planos orbitales que permitirán una revisita de una hora por adquisición, y de 10 horas para interferometría SAR.

De esta manera, se podría seguir nombrando otros proyectos, tales como NovaSAR-1 de Reino Unido, SAR-XL de Umbrella Labs, MicroX SAR de la JAXA, MicroSAR System de Space Norway junto a KSAT, y STARSAR-X de MetaSensing.

2. Fundamentos

Principios de la Tecnología

La acepción radar de apertura sintética involucra el instrumento satelital que adquiere los datos, el algoritmo de procesamiento, los productos y la misión satelital. Un instrumento de radar de apertura sintética es un sensor activo que tiene la capacidad de generar su propia señal. Va montado sobre una plataforma satelital compuesta básicamente por: la antena SAR, la plataforma de

servicios y los paneles solares. La antena SAR es la encargada de emitir pequeños pulsos hacia la Tierra para luego recuperar la fase y la amplitud de la señal retrodispersada en función del tiempo. Está compuesta por una matriz de módulos radiantes de trasmisión recepción. La plataforma de servicios hace referencia a todos los sistemas y subsistemas electrónicos que permiten el funcionamiento integral. Y los paneles solares convierten la luz del sol en energía eléctrica para el funcionamiento del instrumento.

Un radar de tipo SAR funciona básicamente como un radar pulsado coherente en el que la antena emite pulsos electromagnéticos durante un período de tiempo de transmisión, y luego recibe una porción de los ecos reflejados. Dependiendo del sistema de radar, puede tener una antena única que sirve de transmisor y receptor (monoestático), o dos antenas, una transmisora y otra receptora (biestático) (Richards, 2009).

Esos pequeños pulsos poseen una determinada forma denominada *Chirp*. El sistema genera una réplica de la *Chirp* previa al envío de los mismos, y luego es utilizada para compararla con los ecos recibidos. Esta forma particular del pulso se basa en una modulación lineal de la frecuencia en vista de mejorar la resolución en el sentido de vista del satélite, llamada rango. Los pulsos son generados con una frecuencia de repetición que se denomina PRF *(Pulse Repetition Frequency)* que varía desde los 1.000 Hz a los 4.000 Hz. (Richards, 2009).

Mediante un análisis frecuencial de la señal recibida es posible formar imágenes de alta resolución haciendo uso del efecto *Doppler* que genera la antena de radar al estar en un movimiento constante (principio de apertura sintética). El proceso de sintetizar una antena larga se utiliza para mejorar la resolución en dirección del azimut, lo que permite obtener imágenes con pixeles del orden de metros o decenas de metros. Por lo tanto, en un sistema SAR, la resolución en dirección del rango Δr, y del azimut Δa, viene dada por:

$$\Delta r = \frac{c}{2 \cdot BW} \qquad \Delta a = \frac{L}{2}$$

Donde: c es la velocidad de la luz en el vacío, BW es el ancho de banda de la *Chirp* en el que se centra la frecuencia de la portadora, y L es la longitud física de la antena (Richards, 2009).

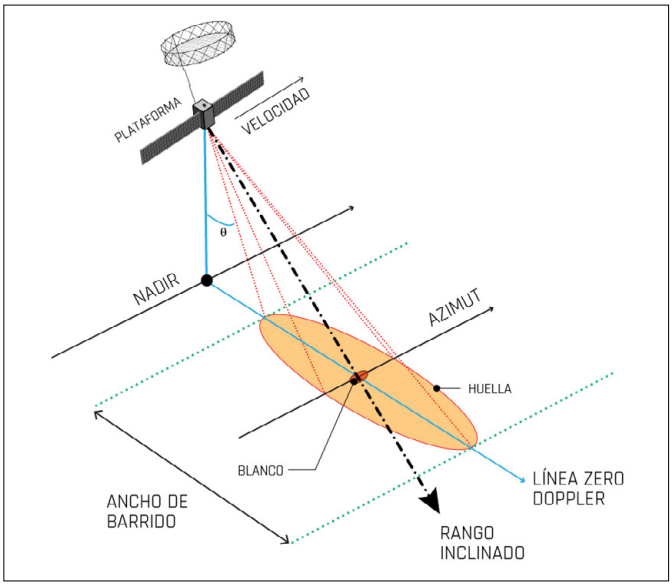
Geometría de Adquisición

Un satélite SAR vuela a una altura entre 600 y 750 kilómetros sobre el nivel del mar, con una velocidad media de 7.000 a 7.500 metros/ segundo. La particularidad de estos sistemas es que el lóbulo principal de la antena apunta hacia un lateral (derecho o izquierdo) formando un determinado ángulo de observación desde el nadir (θ), que puede variar entre 20° y 40°, dependiendo del modo de adquisición.

Mientras la plataforma se desplaza, los pulsos electromagnéticos son emitidos hacia la Tierra. Durante la transmisión de un pulso particular, la antena proyecta el haz enviado, sobre la superficie del suelo, lo que genera una zona iluminada por el radar, denominada huella SAR. Su posición y forma vienen determinadas por el haz de la antena y por la geometría de la Tierra.

Un blanco (también llamado *target*) es un punto hipotético sobre la superficie terrestre sobre el que el sistema intenta generar la imagen. Para tener una idea de magnitudes, el rango inclinado de un blanco puede rondar los 800 kilómetros, en tanto que el recorrido en azimut de la imagen ocupa decenas de kilómetros. La huella define un ancho de barrido que puede ir desde unos pocos kilómetros (5 a 20 kilómetros), hasta centenas de kilómetros (350 a 500 kilómetros).

FIGURA 1 - GEOMETRÍA DE ADQUISICIÓN SAR



El plano *Zero Doppler* es el plano que contiene el sensor y que es perpendicular al vector de la velocidad. La intersección con el suelo se llama línea *Zero Doppler*. Cuando la línea cruza el blanco, la velocidad radial relativa a éste es cero.

Modos de Operación

Los modos de adquisición SAR más comunes son *StripMap*, *Spotlight* y *ScanSAR*. El primero de ellos es el modo tradicional, la antena apunta en dirección perpendicular al sentido de vuelo y se mantiene en posición fija mientras la plataforma se mueve. La apertura de la antena barre a lo largo de la superficie un área aproximadamente uniforme y paralela al recorrido de la nave. Es el modo de adquisición más utilizado para Interferometría SAR. El modo *Spotlight* mejora la resolución espacial orientando la apertura angular de forma tal que aumente el tiempo de adquisición, pero a expensas de pérdida de cobertura geográfica. El modo *ScanSAR* es una variación del modo *Stripmap* mediante la cual la antena escanea varias veces en la dirección del rango durante la apertura sintética. Permite aumentar el ancho de la faja iluminada, a expensas de una pérdida de resolución espacial.

El modo TOPSAR *(Terrain Observation with Progressive ScansSAR).* Es una variante de ScanSAR, en que el instrumento va llevando a cabo un movimiento cíclico de la antena capturando en diferentes sub-barridos. Este modo de adquisición tiene la ventaja de lograr una amplia cobertura y con una mayor resolución espacial. Los satélites Sentinel-1 y SAOCOM-1 disponen de este modo de adquisición.

La polarización refiere a la disposición del campo eléctrico de la energía electromagnética (enviada o recibida). En este sentido, los sistemas SAR aceptan V (vertical) y H (horizontal). Los modos polarimétricos que presentan los SAR son: simple (un solo canal de polarización: HH o VV), doble (dos canales de polarización: (HH+HV o VV+VH) y completa (4 canales polarimétricos: HH+HV+VH+VV). La técnica que explota los canales de polarización de una imagen SAR se denomina Polarimetría, y posee una variedad de aplicaciones (Richards, 2009).

Imágenes Satelitales

Un producto satelital SAR está compuesto por un conjunto de datos y metadatos de una adquisición, que se empaquetan en uno o varios archivos cumpliendo los estándares de formato de esa misión. Por ejemplo, los productos Sentinel-1 se presentan en formato SAFE *(Standard Archive Format for Europe).*

Existen deferentes niveles de procesamiento de los productos: crudo *(raw data),* enfocado (SLC, *single look complex data*) y detectado *(detected data).* Cada uno de ellos está direccionado

para un determinado tipo de aplicación y de usuario. En el ámbito científico generalmente se parte de los datos crudos o SLC. Más allá del nivel de procesamiento, entre los datos que presentan los productos se encuentran los archivos binarios que representan a las imágenes.

El producto SLC contiene matrices de datos complejos de las cuales se puede extraer la amplitud y la fase de cada celda de resolución SAR que conforma la imagen. La amplitud se refiere a la intensidad o potencia de la onda recibida, mientras que la fase se refiere a la situación instantánea del ciclo de la onda, y varía cíclicamente entre $-\pi$ y π radianes.

La ecuación radar es la base fundamental de la teoría de radares y representa la relación entre la potencia transmitida (P_t) y la potencia recibida (P_r) dada una determinada distancia sensor-blanco (R). La potencia recibida también depende de factores propios del sensor (ganancia G, pérdida de la antena L_S y longitud de onda λ), y factores geométricos (término 4π). Por último, tenemos un factor representado por la letra sigma (σ), que se conoce como Sección Eficaz del Radar, o RCS. Esta es una magnitud que viene dada en unidades de área, y expresa la capacidad del objeto reflejado de dispersar señal de vuelta hacia el sensor. Cuando se calibran las imágenes, esta sección eficaz se normaliza por unidades de área (a nivel de celda de resolución), obteniéndose lo que se conoce como coeficiente de retrodispersión o σ_0, que es adimensional:

$$P_r = \frac{P_t \cdot G \cdot \lambda \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L_S}$$

El coeficiente de retrodispersión resume la relación o interacción entre las características del blanco iluminado y los parámetros del sensor que afectan la respuesta del radar y, en definitiva, la potencia recibida. Los parámetros o factores que afectan a este componente se dividen por un lado en parámetros del instrumento, y por otro lado en las características del blanco.

Entre los parámetros del instrumento, tenemos el ángulo de incidencia (que depende del ángulo de observación y la topografía), la longitud de onda (frecuencia en la que opera), y la polarización (propia de la onda electromagnética). Estos parámetros son controlables en el sentido que uno puede variar el sensor o modo de adquisición, para ajustar los mismos a las necesidades de la aplicación. En cuanto a las características del blanco, tenemos la permitividad eléctrica (parámetro físico vinculado al tipo de material del medio), y sus características geométricas, que vienen dadas por su rugosidad y estructura.

Un paso delante de la tecnología SAR es el uso de la información contenida en la fase de las imágenes. La fase queda determinada principalmente por la distancia entre el instrumento y los objetos ubicados en la superficie terrestre. Existen técnicas como interferometría de radar (InSAR) que explotan la información de la fase de las imágenes para estimar la altura del terreno o los cambios ocurridos en él (Richards, 2009).

3. Aplicaciones en Defensa y Seguridad

Introducción

Los datos de observación de la Tierra tomados por sensores activos como los radares SAR, sumados a otras fuentes de información (imágenes ópticas, datos de campo, reportes) constituyen la base fundamental para sistemas geoespaciales integrales de monitoreo, control y alertas en temas de defensa y seguridad (Márquez y otros, 2010).

Monitoreo de Fronteras

Una aplicación muy recomendada de los datos de un radar es para el monitoreo de fronteras, donde la vigilancia y control deben ser permanentes, y no ocasionales. El monitoreo de fronteras a partir de imágenes SAR se basa principalmente en la detección de cambios ocurridos en el terreno tras analizar dos adquisiciones consecutivas, como un soporte para el patrullaje in-situ. En este sentido, la tecnología permite monitorear grandes extensiones de kilómetros cuadrados y posee la capacidad de atravesar el follaje en presencia de coberturas con vegetación. Las escenas SAR permiten mapear la permeabilidad de la zona y detectar áreas de tráfico ilegal, ya sea, terrestre, fluvial o marítimo. Los modelos modernos de arquitectura para actuación en fronteras contemplan tecnologías como los sistemas de información geográfica, bases de datos y sistemas de gestión y análisis de imágenes por satélite, que posibilitan la planificación, dirección y coordinación integrada de todos ellos. La respuesta rápida de las constelaciones *smallsats* son las más adecuadas para este tipo de soluciones dados los períodos de revisita de apenas algunas horas.

Pesca ilegal

Una particular aplicación en monitoreo de fronteras es el control de la pesca ilegal en los mares. Barcos pesqueros cruzan frecuentemente el límite de las 200 millas e ingresan a la zona exclusiva de pesca de Argentina. Cargan en sus bodegas calamares, merluza y merluza negra, y desechan toneladas de ecosistema marino, desde algas hasta delfines y ballenas. A estos buques de actividad ilegal se le suman otros cientos con permiso de trabajo. Las imágenes de radar son más que apropiadas para el monitoreo de los mares, ya que estos se presentan como una manta superficial rugosa que permite identificar por contraste de la respuesta, a los vehículos y objetos de material metálico que se encuentran navegando de forma ilegal (o no) Estos navíos generan una retrodispersión llamada "doble o múltiple rebote" entre el mar y las estructuras de los barcos, obteniéndose en las imágenes píxeles de alta intensidad, sea que se hayan capturado de día, como de noche, e incluso en presencia de nubes u otro fenómeno atmosférico. El uso de imágenes de radar para este tipo de monitoreo es muy apropiado para zonas como Tierra del Fuego donde la presencia de nubosidad es casi constante.

Actualmente, Prefectura Naval Argentina utiliza las imágenes SAOCOM-1 para el Sistema de Vigilancia Electrónico del Mar (SIVEMAR) desarrollado en los últimos años. Para ello, utilizan una aplicación llamada *Galatea Watcher*, también desarrollada en el país por la empresa Ascentio Technologies. *Galatea Watcher* es un sistema de inteligencia marítima que a partir del procesamiento de imágenes SAR y la correlación de datos de posiciones de buques (AIS, VMS, LRIT, entre otros) permite el monitoreo de zonas de interés sobre el Mar Argentino.

Alertas y Emergencias

Las amenazas a la seguridad de una Nación pueden tener origen natural o antrópico. En este sentido las imágenes SAR cubren una variedad de soluciones de observación de la Tierra tanto en la alerta temprana, como en la respuesta ante la emergencia. En este punto cabe destacar la utilidad de las imágenes SAR para mapeo de riesgo de incendios, inundaciones y deslizamientos, mapeo del impacto y vulnerabilidad del riego, y estimación de áreas afectadas por dichos desastres naturales y/o antrópicos. Por ejemplo, cartografía de áreas inundadas mediante un análisis de amplitud o intensidad, mapeo de deslizamientos de tierras mediante interferometría SAR, estimación de áreas quemadas a partir de detección de cambios, y derrames de petróleo en el mar mediante algoritmos de segmentación y clasificación de imágenes. En este sentido, el Ministerio de Seguridad de la Nación, por medio del Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR) basa

sus productos elaborados de cartografía de riesgos y vulnerabilidades, e impacto de inundaciones, incendios y deslizamientos, a partir de la información extraída de las imágenes de radar de apertura sintética. La finalidad del SINAGIR es la protección integral de las personas, las comunidades y el ambiente ante la existencia de riesgos. Empresas argentinas como SpaceSUR han implementadoun centro de alerta y monitoreo de emergencias (SINAME) mediante la conexión de plataformas como la *GeoPlatform* (SpaceSUR) y *Luciad* (Hexagon Geospatial) que, en cuasi tiempo real, brindan información para combatir incendios, inundaciones y actividades volcánicas.

Las imágenes SAR son muy utilizadas en desprendimiento de glaciares, estimación de daño y pérdidas provocados por clima extremo (granizo, heladas, sequías) y monitoreo de infraestructura crítica. En este último punto, dos importantes viaductos de Italia han colapsado, en la ciudad de Génova en 2018, y entre las regiones de Liguria y Toscana, recientemente en 2019. Varios estudios han demostrado la oportunidad y el beneficio que brindan las imágenes SAR mediante análisis multitemporales (Balbarani, 2015) para el monitoreo de estructura crítica como los puentes, evitando catástrofes y salvando vidas humanas.

4. Conclusiones

Este artículo académico plantea una revisión del estado de arte de la tecnología satelital de radar de apertura sintética con aplicaciones en el sector de defensa y seguridad. El estudio realizado de los antecedentes históricos que dan origen al SAR, las misiones pasadas, presentes, y las tendencias y perspectivas en el sector, demuestran el gran potencial de esta tecnología, tanto en el campo de la defensa y seguridad, como en la previsión y prevención de desastres naturales y antrópicos.

A partir de los fundamentos de la observación mediante radares SAR, los cuales se pueden resumir en: principio y geometría de adquisición, modos de captura y productos satelitales, se intenta acercar la tecnología a potenciales usuarios. Las principales ventajas radican en que se puede observar la superficie de la Tierra tanto de día como de noche, permiten registrar imágenes independientemente de la presencia de nubes, humo o algún otro fenómeno atmosférico, y pueden penetrar la cubierta vegetal y los suelos. La resolución espacial puede ser de unos pocos metros a centímetros, y el tiempo de revisita, de algunas horas. La principal desventaja de esta tecnología es que, dado su principio de captura, las imágenes pueden resultar complejas de interpretar. Finalmente se describen tres aplicaciones en el ámbito de defensa y seguridad: monitoreo de fronteras, pesca ilegal en el mar, y alertas y emergencias.

Argentina se encuentra a la vanguardia en materia de la tecnología SAR, a través de la misión SAOCOM-1, compuesta por el satélite SAOCOM-1A (lanzado en octubre de 2018) y SAOCOM-1B (lanzado en agosto de 2020). Ambos satélites fueron íntegramente desarrollados en nuestro país, con la participación de empresas públicas y privadas, universidades nacionales e institutos de investigación. Es menester el aprovechamiento de estas capacidades y la información que brindan estos para que, con inteligencia aplicada a partir de modelos estadísticos, y técnicas de autoaprendizaje *(machine learning),* se logren análisis descriptivos, prescriptivos, y de seguimiento de fenómenos en pos de una apropiada toma de decisiones, aplicadas a la defensa y seguridad nacional.

Otras aplicaciones de la tecnología en el sector están relacionadas con el monitoreo del movimiento subterráneo para revelar construcciones secretas. En este sentido, las imágenes SAR mediante técnicas de interferometría diferencial permiten medir la deformación de la superficie del suelo con precisiones milimétricas. También es posible generar modelos digitales de superficie para entender, visualizar e interpretar el terreno en una zona de conflicto. A su vez, la combinación del movimiento de la plataforma satelital y el movimiento de objetos sobre el terreno

permiten mediante un análisis frecuencial del fenómeno *Doppler*, detectar vehículos desplazándose en circunstancias sospechosas.

Es sabido que la teledetección SAR, dadas sus características y mecanismos de adquisición, presenta mayor complejidad en la extracción de información en comparación con los sistemas ópticos tradicionales. En este sentido, es una clara oportunidad para la planificación, desarrollo y ejecución de pruebas de concepto, pilotos y proyectos de investigación e innovación, que requieran una validación. El presente artículo plantea algunas posibles líneas de investigación de la tecnología SAR en defensa y seguridad. El acceso libre a datos satelitales globales, y las considerables mejoras de la resolución espacial y periodo de revisita, de los sistemas satelitales actuales, hacen factible el diseño, planificación, desarrollo y ejecución de proyectos de tales características.

Bibliografía

> Ezequiel Gustavo Polverini (2010) "Política, Defensa y Seguridad Suramericana" Working paper # 41 Programa Defensa & Seguridad. Centro Argentino de Estudios Internacionales.
> James Slater & Nicolai Holzer (2019) "Remote sensing solutions for defense and security" L3HARRIS presentation.
> John A. Richards (2009) "Remote Sensing with Imaging Radar" Springer Series on Signals and Communication Technology. doi 10.1007/978-3-642-02020-9.
> Alberto Moreira, Pau Prats-Iraola, Marwan Younis, Gerhard Krieger, Irena Hajnsek & Konstantinos P. Papathanassiou (2013) "A Tutorial on Synthetic Aperture Radar" IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. doi: 10.1109/MGRS.2013.2248301.
> Eduardo García Lebiére (2012) "Simulación de un radar de alta resolución (SAR) multicanal" Proyecto de Final de Carrera, Universitat Politécnica de Catalunya.
> Carl A. Wiley (1954) "Pulsed Doppler Radar Methods and Apparatus" United States Patent, No.3.196.436, Filed August 1954.
> Iain H. Woodhouse (2006) "Introduction to Microwave Remote Sensing" 1st Edition. ISBN 0-415-27123-1.
> Jörg Herrmann (2018) "Perspectives on Satellite SAR Remote Sensing - Winds of Change" Apogeo Spatial - Summer 2018. Vol.33. No.3.
> Manuel Márquez, José Luis Ares, Pascual Hernández & Rodolfo Solar (2010) "Mejores prácticas en seguridad y control de fronteras" Banco Interamericano de Desarrollo. Sector de Integración y Comercio. NOTAS TÉCNICAS # BID-NT-259.
> Sebastián Balbarani (2015) "Monitoreo de deformación cortical mediante el algoritmo MT-InSAR SBAS con imágenes SAR COSMO SkyMed (Banda X) en distinta polarización (HH y VV) - Análisis de los errores asociados". Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. ISBN 978-987-575-123-1.

2.2

Análisis de proyectiles conformados por explosión como componente de un sistema de armas integrado

Por Sebastián E. Moreira, Norman U. Serra y Edgardo A. Serafin*
Facultad de Ingeniería del Ejército, Universidad de la Defensa Nacional

Abstract

En el presente trabajo se desarrolla un análisis descriptivo integral de los proyectiles conformados por explosión (EFP, por sus siglas en inglés) y se hace mención de su empleo como cabezas de guerra en sistemas de armas o también en dispositivos explosivos improvisados (IED, por sus siglas en inglés) utilizados por fuerzas asimétricas. El mencionado documento pretende constituirse en un marco contextual sobre la temática tratada, que reúne y compila información que sirve de base teórica abreviada para iniciar un estudio avanzado de estos dispositivos explosivos a través de la simulación numérica.

Hoy, integrantes del Laboratorio de Simulación y Cálculo Numérico (SiCaNLab) de la facultad se encuentran trabajando en esta temática. Observarán en este documento la descripción del fenómeno, aspectos explicativos de la conformación del proyectil y sus alcances, como también su aplicación en diversos sistemas de armas actuales que trabajan bajo un mismo concepto de empleo.

Palabras clave: Proyectil conformado por explosión, detonación, hidrocódigos, cabezas de guerra, sistemas de armas.

Tipo de Artículo
Artículo sobre tecnologías estratégicas.

Eje Temático
Materiales energéticos.

Introducción

Una cabeza de guerra puede ser definida genéricamente, como un dispositivo específico o parte de un sistema de armas que posee la carga útil que determinará el efecto terminal sobre un objetivo.

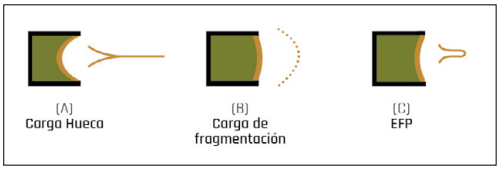
La familia de cabezas de guerra convencionales puede ser dividida en dos categorías: de energía direccionada y omnidireccional.

Las cabezas de guerra de energía direccionada focalizan la energía del explosivo empleado en una cavidad recubierta con metal, normalmente llamado liner. La masa del liner es acelerada en una dirección específica y la cantidad de energía cinética focalizada es alrededor del 15 al 20 por ciento del total de la energía química explosiva liberada. La mencionada familia puede, a su vez, ser subdividida en:

> Carga hueca
> Carga de fragmentación con un sentido predominante
> Proyectil conformado por explosión

La carga hueca produce un jet de metal a muy altas velocidades (alrededor de 7-10 kilómetros/ segundo) de baja masa, mientras que el proyectil conformado por explosión produce fragmentos de mayor tamaño a moderada velocidad (normalmente 2-3 kilómetros/ segundo). Contrariamente a lo recién manifestado, las cargas huecas presentan un menor alcance efectivo que los EFP[1].

FIGURA 1. ESQUEMA EXPLICATIVO: CLASIFICACIÓN DE CABEZAS DE GUERRA DE ENERGÍA DIRECCIONADA: (A)CARGA HUECA, (B)CARGA DE FRAGMENTACIÓN Y (C)EFP[2]



Por su parte, las cabezas de guerra omnidireccionales son efectivas en todas las direcciones a su alrededor.

En el presente trabajo se desarrollarán conceptos específicamente relacionados con los proyectiles conformados por explosión; se expondrán antecedentes históricos, evolución tecnológica, mecanismos de conformación, la utilización de herramientas de simulación numérica como parte del proceso de desarrollo y la aplicación de los proyectiles en los sistemas de armas actuales.

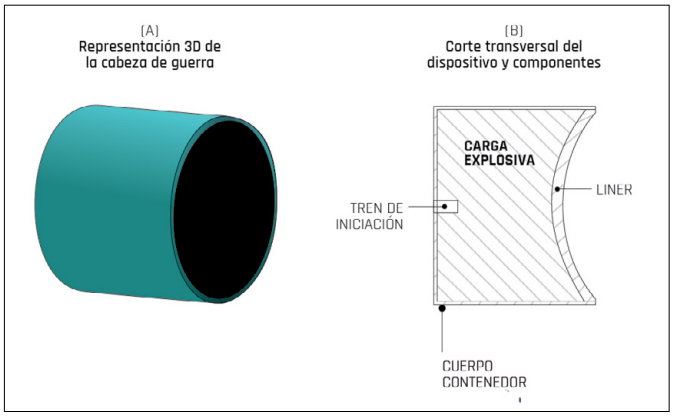
Cabe aclarar que los conceptos del sistema de armas que se desarrollarán no son nuevos, pero resultan de gran actualidad y evolución permanente.

Fenomenología de conformación y vuelo al objetivo

Una cabeza de guerra que da origen a un EFP está compuesta de un tren de iniciación, un cuerpo contenedor, una carga explosiva y un liner metálico.

La fenomenología de conformación del proyectil puede describirse como un proceso de conservación de energía, debido a que la energía química almacenada en la carga explosiva es convertida en energía cinéti-

FIGURA 2. ESTRUCTURA DEL DISPOSITIVO: (A) REPRESENTACIÓN 3D DE LA CABEZA DE GUERRA, (B)CORTE TRANSVERSAL DEL DISPOSITIVO Y MENCIÓN DE COMPONENTES[4]



1 Yenes Castelo S. y Simón (2014). *Revista Internacional de Métodos Numéricos para cálculo y diseño en Ingeniería.* Experimentación, simulación y análisis de artefactos improvisados – proyectiles formados por la explosión.

2 Esquemas realizados por el autor para una mayor comprensión.

ca[3]. El concepto de usar energía explosiva para deformar un liner metálico en un proyectil, mientras este se acelera simultáneamente a muy altas velocidades ofrece un método único de utilizar un proyectil con energía cinética sin ser necesario el uso de un arma de tubo.

Carleone (1993) afirma que se pueden individualizar, como parte del funcionamiento, cinco eventos o etapas que involucran fenómenos químicos, térmicos y mecánicos, a saber:

> Detonación
> Aceleración del metal
> Mecanismos de formación
> Vuelo hacia el objetivo
> Balística terminal

Luego de la detonación, los productos explosivos crean enormes presiones que aceleran el liner mientras simultáneamente se conforma en la geometría deseada. Parte de esta energía es también transmitida por el movimiento de gases y la correspondiente onda de choque aérea, así permanece casi toda la masa del liner en el EFP. El tiempo total de interacción efectiva es corto, en el orden de los diez microsegundos en la mayoría de los casos, porque la presión de los productos decae muy rápidamente. Esta interacción resulta en un impulso que es entregado al liner, lo que le posibilita alcanzar una velocidad final y la forma definitiva del EFP estará gobernada por la distribución de estos componentes de la velocidad a lo largo del liner. Por lo tanto, dada una configuración inicial que produce una determinada geometría del EFP, se puede modificar el liner y producir una forma diferente.

Durante el vuelo hacia el objetivo, el proyectil conformado pierde energía hacia sus alrededores a causa de la resistencia al aire, ablación o combustión, esto disminuye su velocidad y performance. Se estipula que pueden ser usados a distancias de alrededor a 150 metros o más, sin embargo, existen aplicaciones en las que son empleados entre 0.5 a 10 metros.

Los EFP pueden impactar el objetivo a velocidades superiores a 1000 metros/ segundo y su capacidad de penetración está directamente relacionada con su forma, orientación y velocidad de impacto. En general, el proyectil conformado interactúa con estructuras de vehículos blindados. Esta interacción es un proceso complejo en el cual la estructura del objetivo y, en muchos casos, su armadura de protección absorbe una porción de la energía cinética del proyectil; ocurren, además, varios tipos de fracturas mecánicas en el objetivo y en el proyectil mismo. Cuando la estructura exterior y alguna armadura de protección es penetrada completamente, la energía resultante entregada dentro del vehículo puede producir tal daño que lo inutiliza o aún más, lo destruye por completo.

Configuración de cabezas de guerra y forma de los proyectiles

Las configuraciones de cabezas de guerra en desarrollo deben cumplir con las restricciones del sistema y los requerimientos de performance. En los sistemas integrados por EFP, el objetivo es la conformación de un proyectil aerodinámicamente estable que vuele a objetivos distantes. Los primeros diseños fueron de formas redondas, pero como los requerimientos de los blancos fueron incrementando su dificultad progresivamente, los diseños de los proyectiles se vieron forzados a evolucionar de la forma inicial a geometrías alargadas con aletas estabilizadoras. Esta variante presenta una reducción del coeficiente aerodinámico de arrastre y una mayor longitud de penetración efectiva.

---

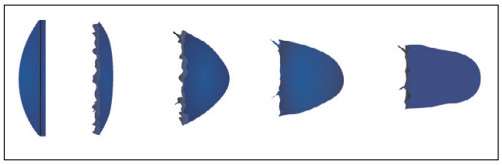
3 Carleone J. (1993). *American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc. Progress in Aeronautics and Astronautics*, Vol. 155. Tactical Missile Warheads.

4 Esquemas realizados por el autor para una mayor comprensión.

Varias configuraciones de cabeza de guerra han sido descubiertas luego de años de experimentar; sin embargo, los componentes esenciales son los mismos.

La configuración del liner y el modo de conformación están basados primariamente en los requerimientos del objetivo y en la misión general del sistema de armas.

FIGURA 3. PROGRESIÓN EN LA CONFORMACIÓN DEL PROYECTIL DESDE EL ESTADO INICIAL DEL LINER A LA CONFIGURACIÓN FINAL PRODUCTO DE UNA SIMULACIÓN NUMÉRICA[5]



Existen documentos, por ejemplo, un "Reporte Final" del año 1991 de la Agencia de Defensa del gobierno norteamericano denominado "Liner Materials: Resources, Processes, Properties, Costs and Applications" que contiene un breve resumen de la disponibilidad mineral, los procesos de refinamiento de metales primarios, los costos, las propiedades relevantes y las aplicaciones de los mencionados materiales comúnmente utilizados en proyectiles conformados. En el mencionado texto, además, se remarca la propuesta de empleo de metales puros debido a que explica que las aleaciones presentan un rendimiento inferior para este tipo de aplicaciones. Entre los recomendados se enumeran el cobre, Tantalum, Tungsteno y Uranio.

La carcasa fundamentalmente brinda el confinamiento necesario para el explosivo, además, de otorgar protección a la estructura constituida. Un adecuado confinamiento incrementa la duración del impulso explosivo y, por lo tanto, la energía total liberada al liner. Este componente debe ser simétricamente configurado respecto del liner para evitar un impulso explosivo desproporcionado que provoque una geometría asimétrica del proyectil; defecto que repercute directamente en la estabilidad aerodinámica del EFP[6]. Diversos materiales pueden ser empleados, pero el habitualmente seleccionado es el acero por su bajo costo con relación a sus prestaciones.

Por su parte, las dimensiones físicas y la densidad de la carga explosiva tienen una influencia significativa en el proceso de conformación. La relación largo-diámetro de la carga explosiva (L/D) es un parámetro para considerar en detalle; ya que a medida que la relación es incrementada, la energía cinética del EFP asciende hasta que se alcanza un punto de rendimientos decrecientes y datos empíricos de varias investigaciones han demostrado que una relación L/D cercana a 0.75 es suficiente[7]. Respecto de la densidad del explosivo, se puede aseverar que una incorrecta distribución podría tener efectos sobre la simetría del EFP debido a que una desproporcionada velocidad de detonación provocaría distorsiones en el proyectil conformado. Si quisiéramos tipificar un explosivo para este tipo de cabeza de guerra podríamos hablar de TNT, Octol, C4 o Compuesto B, los cuales, por supuesto, presentan ventajas y desventajas en la conformación del proyectil.

Simulación numérica para el desarrollo de los efp

Las siguientes tres áreas de investigación han afectado trascendentalmente el curso del desarrollo tecnológico de las cabezas de guerra:

> El desarrollo y uso de técnicas de simulación computarizada para eventos explosivos y balística terminal.

---

5 Simulación de la conformación del proyectil realizada por el autor para una mayor comprensión.

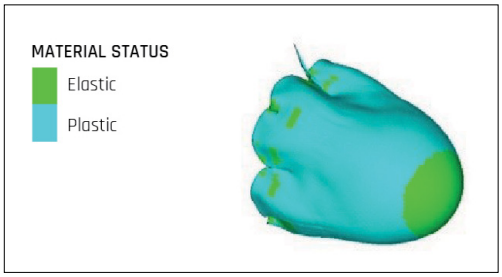
6 S. Yiu (2014). *Proceedings of the Eight International Symposium on Ballistic.* Experimental study of the effects of asymmetric variations of an explosive device. Orlando, FL.

7 Carleone J. (1993). *American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc.* Progress in Aeronautics and Astronautics, Vol. 155. Tactical Missile Warheads.

> La caracterización de materiales en respuesta a cargas dinámicas y el reconocimiento a la importancia del control de las propiedades metalúrgicas.
> El uso de altos explosivos y de mayores composiciones homogéneas de explosivos.

Particularmente, nos centraremos en este apartado en el primer ítem destacado en las tres áreas mencionadas. El uso de códigos computarizados de mecanismos continuos en dos y tres dimensiones; a menudo llamados códigos de ondas de propagación, códigos hidrodinámicos o hidrocódigos[8], ha influenciado significativamente el desarrollo de modernas cabezas de guerra. Estos códigos permiten la simulación de eventos que involucran a las cabezas de guerra e implican presiones extremas (en el orden de 50 GPa) durante un extremadamente corto periodo de tiempo (5-100 μs). En efecto, los hidrocódigos han probado ser indispensables en el diseño de las cabezas de guerra. En adición a la simulación de la forma del EFP, el campo de códigos puede estimar estrés, estado del material, tensiones, la variación de tensiones dentro del EFP como también durante la formación de este. Además, puede proporcionar la distribución de presiones del explosivo como una función del tiempo y estimar cómo la cantidad de movimiento es transferida desde la expansión de gases al metal.

FIGURA 4. SIMULACIÓN DEL ESTADO DEL MATERIAL DEL LINER EN LA CONFORMACIÓN DEL PROYECTIL[9]



Los problemas generales de mecánica de medios continuos usados para simular este tipo de fenómenos están basados sobre las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía junto con las funciones de las respuestas descriptas por el comportamiento de los materiales. Esta formulación se completa con la especificación de las condiciones iniciales y de contorno apropiadas para el problema en estudio. El sistema de ecuaciones en derivadas parciales resultante es no lineal y su solución analítica no es, usualmente, posible; las técnicas numéricas representan el único método actualmente disponible para la obtención de soluciones completas.

Estos complejos comportamientos pueden ser modelados solo aproximadamente, y se puede esperar que la simulación no sea más precisa que un modelo material. Sin embargo, en muchos casos, las simulaciones basadas sobre modelos de materiales actualmente disponibles son acordes con las experimentaciones. En estos casos, los cálculos pueden proporcionar información detallada que de otra manera no sería obtenible. Estos datos pueden usarse para suplementar datos experimentales y el uso de ambos puede conducir a un mayor entendimiento del proceso físico.

Los hidrocódigos han emergido como una importante herramienta de diseño en el campo de la ingeniería de cabezas de guerra. Su uso es más efectivo cuando se integra directamente dentro en el ciclo de iteración de diseño. Por ejemplo, el diseño preliminar de un proyectil conformado por explosión puede ser desarrollado a través de cálculos de hidrocódigos que predicen la forma y velocidad del proyectil. Este diseño preliminar puede ser construido y testeado, e imágenes de radiografías de rayos x flash pueden revelar la forma final y velocidad del proyectil. Los resultados del test pueden diferir de la simulación, y la performance deseada probablemente no se logrará con el

8 C.E.Anderson (1984). *International Journal of Impact Engineering, Vol. 5.* An overview of the theory of hydrocodes.

9 Simulación de conformación del proyectil realizada por el autor.

diseño original. En este punto, se puede elegir modificar el modelo computacional para obtener mejores aproximaciones con los resultados de la prueba. Las modificaciones usualmente son hechas en ajustes de constantes de los modelos de material o en cambios en el setup inicial del problema. En muchos casos, estos códigos han reducido significativamente la cantidad de diseños y tests iterativos necesarios para alcanzar la performance requerida.

EFP como objeto de análisis del SiCaNLab

La asignatura Introducción a la dinámica de fluidos computacionales forma parte de los planes de estudio de la Facultad de Ingeniería del Ejército (FIE) desde el año 2006, en las carreras de grado de Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica. Esta pretende brindar herramientas relacionadas con la resolución de modelos matemáticos utilizados en situaciones donde existe flujo de fluidos y transporte de masa y energía en dominios multidimensionales, mediante una introducción a los métodos computacionales existentes para tal fin.

El Laboratorio de Simulación y Cálculo Numérico de la Facultad (SiCaNLab), conducido por docentes de nuestra institución, se nutre y alimenta de alumnos de años avanzados de las carreras de grado y profesionales de nuestras carreras de posgrado para abordar temáticas de interés y, a su vez, realiza un aporte colaborativo en el dictado de materias que presentan una especificidad determinada y que se ven beneficiadas por estas técnicas computacionales. El beneficio radica en la flexibilidad que ofrece la aplicación de herramientas numéricas para, una vez resuelto el problema, interpretar y simular distintos aspectos y escenarios del fenómeno respecto de la manera tradicional de hacerlo, limitada a soluciones analíticas simples y/o análisis gráficos.

Actualmente una de las temáticas de interés del laboratorio es el estudio y la modelización matemática del funcionamiento de los proyectiles conformados por explosión y sus efectos sobre diversos blancos, así como el estudio de los parámetros que los modifican y condicionan.

El estudio se pensó para ser abordado en cuatro etapas de análisis, planteándose objetivos para cada una de ellas, a saber: la conformación y obtención de un proyectil prototipo, su estudio aerodinámico, la balística terminal y la optimización de los modelos resultantes.

Iniciando lo mencionado en el párrafo anterior, se reunió bibliografía e información suficiente para sentar bases sólidas y dar lugar al estudio en cuestión.

FIGURA 5. PARÁMETRO OBTENIDO POR SIMULACIÓN: VELOCIDAD ABSOLUTA ALCANZADA POR EL PROYECTIL EN SU CONFORMACIÓN[10]

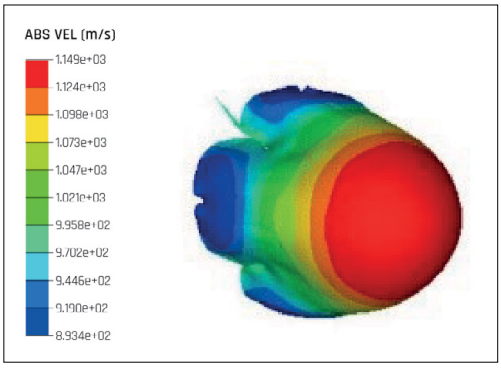
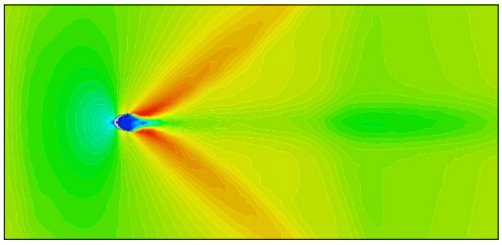


FIGURA 6. ANÁLISIS 2D DE DESPRENDIMIENTO DE CAPA LÍMITE Y ONDAS DE CHOQUE OBLICUAS EN EL VUELO LIBRE DEL EFP[11]



Posteriormente se modelaron, a modo de prueba, varios tipos de cabeza de guerra en donde, principalmente, entre cada uno de estos se remarcan variantes en la relación L/D, ya mencionada, diversidad de liners y diferentes explosivos como fuente de energía.

Luego de lograr variadas geometrías de los proyectiles conformados se evaluaron sus condiciones aerodinámicas; y se pudieron determinar los coeficientes de arrastre, distancias de vuelo y velocidades alcanzadas respecto del recorrido efectuado.

Usos y aplicaciones

El empleo de las submuniciones "inteligentes" capaces de detectar y destruir vehículos blindados dentro de un área objetivo-determinada se remonta a principios de la década de 1960 con el proyecto "Sense and Destroy Armor" (SADARM, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América. Pero el concepto se demostró a fines de la década de 1970. Inicialmente la plataforma prevista para esta submunición fue el proyectil M509 ICM de 203 milímetros. A lo largo de los años se modificó el enfoque del proyecto, mutando en el año 1983 al calibre 155 milímetros y, posteriormente, su alcance se amplió para incluir submuniciones de mayor diámetro en los cohetes del sistema de lanzamiento múltiple de cohetes M270 (MLRS, por sus siglas en inglés).

Por su parte, a mediados de los ochenta, la asociación de investigación y producción Bazalt (perteneciente a la ex URSS) inició el desarrollo de un sistema semejante al descripto en el párrafo precedente.

Se buscó crear una munición relativamente ligera y compacta que pudiera detectar y atacar "inteligentemente" vehículos de combate enemigos. El mencionado sistema podría ser empleado como parte de municiones o para ser transportado por bombas aéreas.

En el reporte anual del año 1998, presentado al presidente y al congreso norteamericano por el secretario de defensa William S. Cohen, se menciona que ciertos sistemas de armas dotados con esta tecnología ya estaban siendo producidos a tasas completas previstas para el año 1996 y se solicitaban fondos para continuar; como también se detallan proyectos de mejoras de estos sistemas con fechas tentativas futuras de ingreso a producción de estas.

Lo mencionado en el párrafo anterior representa los inicios del empleo de proyectiles conformados por explosión dentro de un sistema integral de ataque.

A continuación, se describirán y explicarán ciertos sistemas que utilizan los EPP como cabeza de guerra a nivel mundial, por lo que se podrá observar orígenes diversos pero cuyo concepto de empleo es el mismo. Estamos hablando de sistemas denominados "Top Attack Weapons", los cuales atacan el punto más vulnerable de los vehículos de combate blindados, es decir, su parte superior.

FIGURA 7. TANQUES IRAQUÍES DESTRUIDOS POR CBU-97 LANZADOS POR UN BOMBARDERO B-52[12]

10 Simulación de velocidad del proyectil realizada por el autor.

11 Simulación aerodinámica del proyectil realizada por el autor.

12 Recuperado de www.Defence Around the Globe.com / Fecha de consulta: 3 de marzo de 2020

Municiones antitanques de plataforma terrestre

> Hornet (Familia de municiones de amplia área [WAM, por sus siglas en inglés])

Esta es una munición antitanque "autónoma e inteligente", diseñada para batir blancos a media distancia.

Este sistema emplea sensores acústicos y sísmicos en su plataforma terrestre para detectar, rastrear y clasificar objetivos potenciales con una "sensibilidad" de 3,5 metros de detección de movimientos y 600 metros de detección de sonidos. A partir de esto eyecta una submunición sobre la parte superior del blanco seleccionado. Dicha submunición está dotada de un sistema de detección infrarroja que al determinar el objetivo dispara un EFP.

FIGURA 8. DISPOSITIVO DEL M93 HORNET[13]

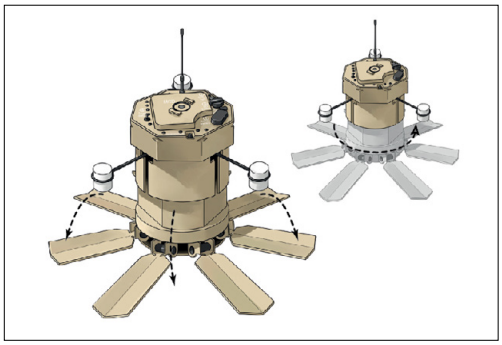


FIGURA 9. SECUENCIA DE ATAQUE AL OBJETIVO SELECCIONADO[14]

Datos técnicos del EFP del M93 Hornet:

> Buscador: sensores infrarrojos.
> Explosivo: Octol.
> Material del liner: Tantalio.
> Peso del proyectil: 450 gramos.
> Radio efectivo: 100 metros.

El proyectil conformado por explosión con el que está dotado el M93 Hornet ha demostrado la capacidad de perforar áreas sustanciales de la armadura objetivo, lo que causa pérdida de movilidad o potencia de fuego. El factor viento es una variable determinante para la eficiencia del proyectil.

Misiles antitanque livianos

> RBS 56B-BILL 2

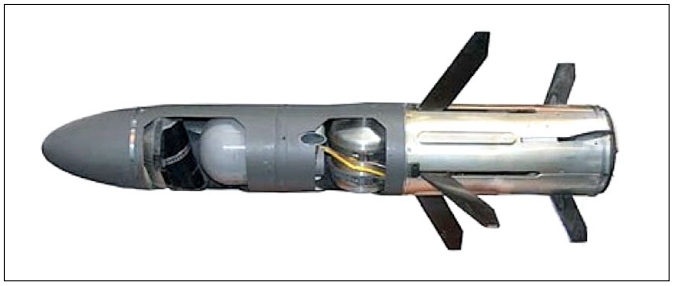
El BILL 2 es un misil antitanque liviano guiado por cable pensado para ser empleado por tropas de infantería, actualmente es desarrollado por la firma Saab Bofors Dynamics de origen sueco.

13 Recuperado de https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=333 / Fecha de consulta: 3 de marzo de 2020.

14 Recuperado de https://fas.org/man/dod-101/sys/land/m93.htm / Fecha de consulta: 3 de febrero de 2020

El sistema está compuesto de un trípode, un misil contenedor y una unidad de observación térmica. El fuselaje del misil es alargado y cilíndrico de nariz cónica. El misil presenta un sistema de propulsión de dos etapas, y alcanza una velocidad de 250 metros/ segundo luego de iniciado el motor cohete sustentador. Dicho motor se consume luego de un vuelo aproximado de 400 metros, distancia a partir de la cual el vuelo al objetivo se da por deslizamiento e inercia. Está diseñado para que su trayectoria pase por encima de blindados, atacándolos desde arriba a una altura cercana a los 0,75 metros penetrando la armadura del techo del casco y la torreta.

FIGURA 10. DISEÑO DEL MISIL HILO GUIADO[15]



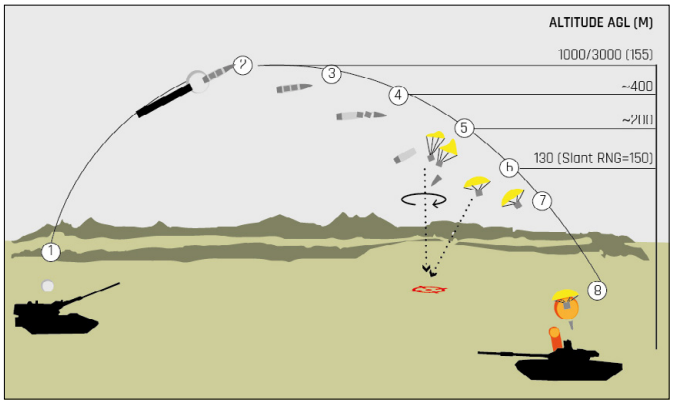
La cabeza de guerra del misil presenta sensores óptico y magnético. El primero, determina el alcance del objetivo y el segundo detecta objetivos metálicos; sendos sensores estipulan la detonación del misil. El mencionado está armado con dos cabezas de guerra conformadas por explosión que inciden verticalmente en el blanco. El EFP que ataca primariamente destruye todo tipo de armadura reactiva del blanco, mientras que el siguiente penetra efectivamente la armadura.

Municiones antitanques de ataque indirecto

> Munición SMArt 155

Esta munición de origen alemán recibe su nombre devenido de la contracción del nombre *"Suchzünder Munition für die Artillerie 155"*. La mencionada ha sido diseñada para ataque indirecto a largo alcance contra vehículos blindados bajo el concepto de empleo *"Top Attack Weapons"*.

FIGURA 11. CONCEPTO DE EMPLEO[16]



El proyectil contiene dos submuniciones con sistema de sensores multimodo con radar, radiómetro, sensor IR y unidad de procesamiento de señal reprogramable. Construida, además, con múltiples mecanismos de autodestrucción en caso de no conectar objetivo alguno. Cada submunición contiene como cabeza de guerra un proyectil conformado por explosión de metal pesado.

---

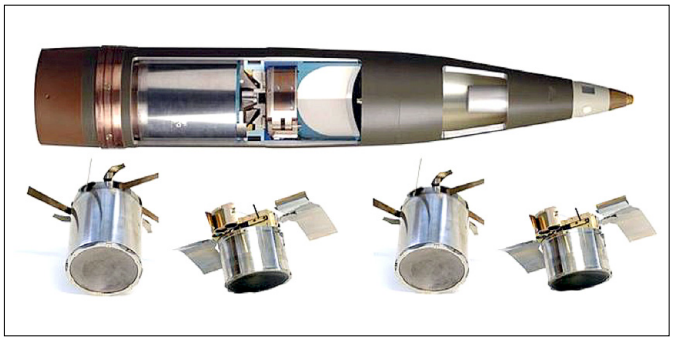
15 Recuperado de http://www.military-today.com/missiles/bill.htm / Fecha de consulta: 16 de febrero de 2020

16 Recuperado de http://www.gd-ots.com/munitions/artillery/155mm-smart/ Fecha de consulta: 16 de febrero de 2020

EL SMArt 155 es fabricado por una asociación entre las empresas de armamentos alemanas Rheinmetall y Diehl BGT Defense; fue desplegado por primera vez por las Fuerzas Armadas alemanas en el año 2000, y ha sido vendido a los ejércitos de Suiza, Grecia y Australia.

A principios de 2005, las empresas ATK y GIWS completaron una serie de demostraciones de campo en los Emiratos Árabes Unidos (EAU) que involucraron la munición SMArt 155 y el obús autopropulsado G6 de los EAU, y lograron un 67 por ciento de éxito en la tasa de disparo contra objetivos de vehículos blindados simulados.

FIGURA 12. CONFIGURACIÓN DEL PROYECTIL[17]



> Proyectil SADARM M898 de 155 milímetros

Este proyectil es lanzado por un cañón de artillería de 155 milímetros y presenta una espoleta M762/M767 montada en la nariz de este. Está diseñada para detonar a 1000 metros por encima del objetivo, lo que posibilita la liberación de dos sub-municiones SADARM.

Una vez que la submunición es expulsada del proyectil, un paracaídas inicial del tipo "ram-air" se abre para disminuir la velocidad de descenso de la submunición. Luego se despliega un segundo paracaídas del tipo "vortex-ring" para girar lentamente la submunición, suspendiéndola a aproximadamente 30 grados de la vertical. A medida que gira, sus sensores barren en forma de espiral un área debajo de la submunición escaneando un sector de unos 150 metros de diámetro. Los sensores consisten en un radar de ondas milimétricas, un radiómetro pasivo de ondas milimétricas y un telescopio infrarrojo. Un magnetómetro se utiliza como ayuda para armar y apuntar. Cuando la submunición detecta un objetivo, su carga explosiva LX-14 de 1,5 kilos detona, y proyecta un EFP que tiene suficiente energía para penetrar la delgada armadura superior de la mayoría de los tanques. Si la submunición llega al suelo antes de encontrar un objetivo se autodestruye.

> Munición KSTAM

La munición de ataque inteligente coreana (KSTAM, por sus siglas en inglés) está diseñada para ser lanzada desde el arma principal de un tanque y atacar vehículos blindados desde arriba como una forma de fuego descendente.

Existen dos modelos de esta: el KSTAM I y el KSTAM II, ambos presentan diferencias significativas pero el concepto de empleo es el mismo; afectar al objetivo por su punto más débil. Su uso principal es destruir vehículos enemigos que no son alcanzables con proyectiles antitanque convencionales debido a las restricciones presentadas por el terreno o a los riesgos que pueden presentárseles a los vehículos de propia tropa.

Puntualmente, está munición se lanza desde el cañón L55 de 120 milímetros montado en los K2 Black Panther. Este define una trayectoria parabólica en su vuelo comparable a una pieza de artillería o a la munición de mortero. Presenta un sistema interno de guía giroscópica y un sistema de

17 Recuperado de https://www.baesystems.com/en-us/multimedia/bofors-155mm-bonus-munition / Fecha de consulta: 16 de febrero de 2020

desvío de obstáculos integrado por un microradar, guía infrarroja y sensores radiométricos. Una vez lanzada, explosiona en cercanías del blanco y libera un dispositivo explosivo de penetración, el cual libera un paracaídas que le da al sistema de radar y a los sensores el tiempo adecuado de detección y selección. Determinado el objetivo dispara un EFP, cuyo alcance efectivo es de 2 kilómetros y su alcance máximo es de 8 kilómetros.

Bombas racimo

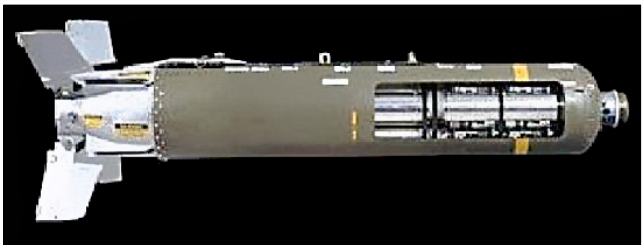
> Cluster Bomb Unit 97 with Sensor Fuzed Weapon

La CBU-97 (SFD), denominada comúnmente por sus siglas en inglés, es una bomba de caída libre de 420 kilos; al adherírsele un sistema corrector de vientos para su guiado es denominada CBU-105.

El sistema está conformado por un cuerpo contenedor distribuidor SUU-66/B que contiene 10 submuniciones BLU-108 (bomba racimo); estas, a su vez, están integradas por otras cuatro cabezas de guerra "inteligentes" denominadas "Skeet".

Las BLU-108 son expulsadas a través de las ventanas del distribuidor y en su caída accionan paracaídas para retrasar su descenso tendiente a alcanzar los 30 metros en altura. Luego cada submunición se deshace de su mini-paracaídas, inicia un motor cohete que detiene su descenso, lo que le permite, además, girar sobre su eje longitudinal. Posteriormente despliega sus Skeets de a pares, los cuales utilizan sensores ópticos multimodo para identificar diversos posibles objetivos.

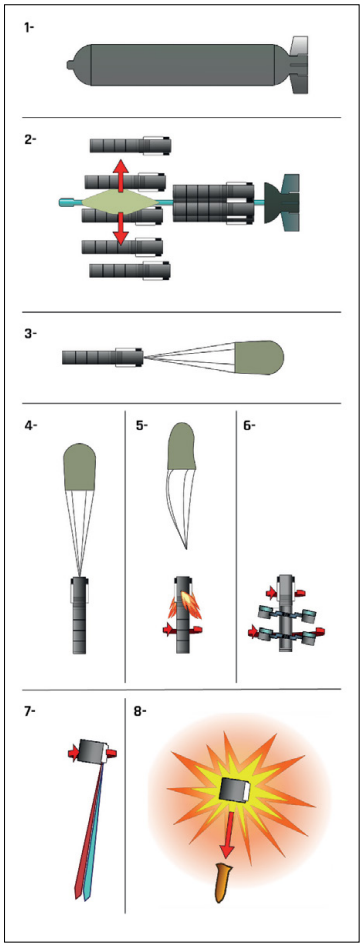
FIGURA 13. DISEÑO DE LA BOMBA CBU-97[18]



Datos técnicos del Skeet:

- > Altura: 9,5 centimetros.
- > Diámetro: 12,7 centimetros.
- > Peso: 3,4 kilos.
- > Buscador: sensores de modo dual activo (láser) y pasivo (infrarrojo).
- > Explosivo: 945 gr. Octol.

FIGURA 14. SECUENCIA DE DESPLIEGUE DE LOS PROYECTILES CONFORMADOS[19]



18 Recuperado de www.designation-systems.info / Fecha de consulta: 25 de febrero de 2020

19 Recuperado de http://fdra-aereo.blogspot.com / Fecha de consulta: 25 de febrero de 2020

Cuando el Skeet pasa sobre lo que considera un objetivo de alta prioridad (definido de acuerdo con la misión a cumplimentar) dispara un EFP de 0,9 kilos que ocasiona efectos perforantes e incendiarios en el blanco atacado. Se demuestra su efectividad incluso contra objetivos blindados, debido a que los mencionados presentan una protección de armadura masiva en el frente y costados, pero ligeramente blindados en su parte superior.

El área considerada de afectación de una sola unidad de CBU-97 puede extenderse hasta los 60000 metros cuadrados, y se estima que un bombardero pesado dotado con estas bombas podría destruir hasta una división blindada.

Durante la Operación "Fuerza Aliada" en la Guerra de Kosovo las CBU-97 fueron alistadas, pero no usadas. Se emplearon por primera vez en la Invasión de Iraq en el año 2003.

En el año 2010, el gobierno de Estados Unidos anunció la venta a la India de 512 armas CBU-105, que fueron, además, solicitadas por Arabia Saudita.

En mayo del año 2015, la ONG Human Rights Watch informó y criticó el uso por parte de las tropas saudíes del CBU-105 (SFW) durante la intervención dirigida por Arabia Saudita en Yemen.

> Sistema RBK-500 SPBE-D

La bomba "RBK – 500" de origen ruso, dotada con 15 cabezas de guerra "inteligentes" antitanque fue diseñada para destruir vehículos blindados bajo interferencia natural y/o artificial y puede atacar hasta seis tanques a la vez.

La submunición SPBE-D fue desarrollada por la ONG Basalt. Esta munición es completamente autónoma y está dotada de un sistema de guía infrarroja de modo dual. Cada SPBE-D está equipado con tres paracaídas pequeños, lo que le proporciona una velocidad de descenso de 15-17 metros/ segundo. Esta tiene un peso de 14,9 kilos y sus dimensiones son 280 x 255 x 186 milímetros.[20]

FIGURA 15. SUBMUNICIÓN SPBE-D[20]

Expulsada la submunición de la RBK-500 y luego de la liberación de paracaídas, se despliega el coordinador de objetivos de IR y alas rectangulares inclinadas, que proporcionan la posibilidad de rotación en el descenso. El ángulo de visión del coordinador IR es de 30° y escanea el área objetivo a una velocidad de 6-9 rpm. Después de que se detecta el objetivo y se determina el punto de detonación de la ojiva (aproximadamente a una altura de 150 metros), el proyectil conformado por explosión es eyectado. Una pieza de cobre con un diámetro de 173 milímetros y un peso de 1 kilo que se acelera a una velocidad de 2000 metros/ segundo, este puede penetrar hasta 70 milímetros de blindaje en un ángulo de 30 grados con respecto a la normal.

20 Recuperado de https://topwar.ru / Fecha de consulta: 28 de febrero de 2020

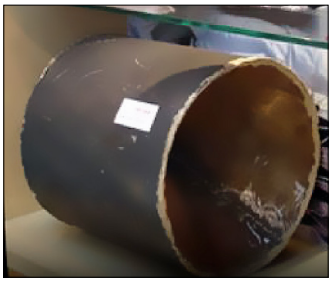
Dispositivos explosivos improvisados

Es sabido del empleo de estos proyectiles conformados, originados de una manufactura no industrial, por organizaciones irregulares que atentan contra fuerzas en misión de paz en distintas aéreas de conflicto alrededor del mundo; lo que se convierte en la actualidad en una de las mayores causas de pérdidas de vidas humanas por ataques terroristas.

El dispositivo constituido es tal cual se ha descrito a lo largo de este documento, es operado o iniciado generalmente a distancia a través de un circuito eléctrico. Habitualmente son dispuestos a los costados de las rutas o caminos para sorprender a las columnas de vehículos militares en su avance.

Los materiales utilizados para su manufactura suelen ser metales y explosivos comunes para cada región, y no siguen normalmente parámetro alguno.

FIGURA 16. IED DE MANUFACTURA ARTESANAL[21]



Conclusiones

El documento presentado aquí realiza un análisis descriptivo detallado de los sistemas de armas integrados a nivel mundial que emplean como cabeza de guerra proyectiles conformados por explosión; existe escasa o casi nula información de escritos en nuestro país respecto de este tipo de tecnología, dato que realza aún más lo interesante del texto en cuestión.

Estos sistemas presentan una vigencia actual y continúan evolucionando sus prestaciones atendiendo a las nuevas protecciones balísticas que ostentan los objetivos a batir.

Como fue comentado, los proyectiles conformados por explosión son fabricados y empleados como IED por tropas asimétricas (empleo aislado y simplificado de la cabeza de guerra) pero también dotados de sistemas "inteligentes" y de escala industrial que puede mejorar su eficacia de impacto y, además, auto destruirse para evitar transformarse en una amenaza contra la población civil que habitualmente es víctima de estos artefactos catalogados como bombas racimo.

Se menciona la labor realizada por personal del SiCaNLab en cuanto a la obtención de un modelo numérico validado respecto de la física del problema, y se obtienen resultados cuantificables acordes con documentos y libros escritos a nivel internacional. Se entiende, además, que el recurso humano empleado para la mencionada actividad es personal íntegramente perteneciente a la FIE.

Un próximo desafío que se presenta es la realización de un prototipo que verifique los resultados obtenidos habiendo utilizado las bondades numéricas computacionales. No está de más mencionar que permiten abordar este tipo de problemáticas con proporcionales bajos costos a tener que efectuar una cadena de pruebas de campo; lo que otorga la posibilidad a ejércitos como los nuestros de avanzar en diseños y desarrollos de trascendencia mundial sin contar con grandes recursos destinados a tal fin.

Se puede observar, además, que el análisis, estudio y concreción de un sistema de armas de tal complejidad requiere de grupos de trabajos multidisciplinarios que puedan dar respuestas a los distintos escenarios que exige este tipo de desarrollo. La Facultad de Ingeniería del Ejército está en condiciones de nutrir estos equipos mencionados con ingenieros y técnicos en distintas disciplinas que pueden dar respuesta a estos desafíos planteados.

21 Recuperado de https://defense-update.com/20061018_ied-2.html / Fecha de consulta: 3 de marzo de 2020

(*) **Sebastián Ernesto Moreira:** Capitán del Ejército Argentino; Ingeniero Químico (FIE-UNDEF); Jefe del Laboratorio de Ensayos de Explosivos y Pirotecnia de la Facultad de Ingeniería del Ejército. Integrante del Laboratorio de Simulación y Cálculo Numérico (SiCaNLab) y docente en las asignaturas Detónica, Termodinámica General e Introducción a la Dinámica de Fluidos Computacional.

(*) **Norman Uriel Serra**: Ingeniero graduado de la carrera de Ingeniería Mecánica en Automotores en la Facultad de Ingeniería del Ejercito, se desempeñó como Becario del Proyecto PIDEFF: "Estudio y Desarrollo de Blindajes Multicapas de Bajo Peso y Alta Resistencia Mecánica en Base a Cerámicas". Actualmente se encuentra trabajando como Ingeniero de Proyectos en el sector privado.

(*) **Edgardo Aldo Serafín:** General de Brigada (R); Ingeniero Químico (FIE-UNDEF); ex Director General de Investigación y Desarrollo del Ejército Argentino. ex Gerente General de Producción y Director Titular de Fabricaciones Militares Sociedad del Estado; Director de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería del Ejército; docente e integrante del Laboratorio de Simulación y Cálculo Numérico (SiCaNLab).

2.3

Alternativas terapéuticas para el síndrome agudo por radiación

Por Gerardo D. Castro, María Montalto y Martín H. Costantini
Departamento de Investigaciones en Bioseguridad y Toxicología. Gerencia de Investigación Científica Aplicada. CITEDEF.

Resumen

La exposición a las radiaciones ionizantes puede resultar en daños graves para la salud, en una contaminación permanente del organismo, e incluso en un trauma psicológico para los afectados. La severidad de los daños dependerá de una variedad de factores, entre los cuales los más importantes comprenden la naturaleza de la fuente radioactiva y el escenario condicionante de la exposición real. Por tratarse de una intoxicación aguda con características de dosis y tiempos para el desarrollo de los efectos que la hacen muy particular, la terapéutica de la radioprotección y mitigación es aún un tema pendiente por resolverse. Desde hace tiempo se han sintetizado compuestos con capacidad radioprotectora o mitigante contra los efectos de la radiación ionizante, pero la propia toxicidad ha sido la principal limitación para su uso. Fue así que después de la Segunda Guerra Mundial se desarrolló un programa de síntesis y prueba de radioprotectores muy importante. De esos estudios surgió la amifostina (WR-2721) como un radioprotector de eficacia aceptable. A pesar de ello, está lejos de ser un radioprotector ideal debido a su toxicidad. La idea inicial detrás de nuestros estudios fue aprovechar la capacidad radioprotectora de la amifostina cuando se administraba en una sola dosis baja pero luego continuando con la administración de otras sustancias con baja toxicidad que reforzarían el efecto protector inicial. Así es como probamos con éxito sustancias como el piruvato de etilo y el butirato de sodio, que demostraron ser suplementos eficientes para una dosis baja de amifostina. Los resultados publicados recientemente por nuestro laboratorio generan un antecedente valioso sobre esta hipótesis de trabajo y abren el panorama para las alternativas terapéuticas radioprotectoras y de mitigación. El potencial de uso clínico de estos tratamientos es alto debido a su baja toxicidad, lo que facilitaría la aprobación para su uso en humanos.

Palabras clave: radiación ionizante; síndrome agudo por radiación; radioprotección; radioprotector; mitigación.

Tipo de trabajo
Artículos basados en informes técnicos finales de proyectos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica y proyectos de transferencia.

Energía
Armas de destrucción masiva (ADM). Modelo conceptual para la protección personal de la radiación electromagnética (convocatoria PIDDEF 2016).

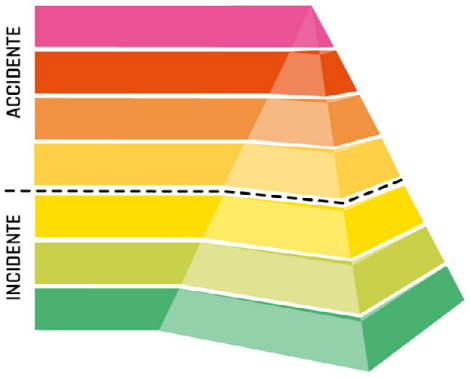
Introducción

La exposición a las radiaciones ionizantes puede resultar en daños graves para la salud, en una contaminación permanente del organismo, e incluso en un trauma psicológico para los afectados. La severidad de los daños dependerá de una variedad de factores, entre los cuales los más importantes comprenden la naturaleza de la fuente radioactiva y el escenario condicionante de la exposición real. Debido a la relevancia que ha alcanzado la industria nuclear como fuente de energía en el mundo (que incluye a nuestro país), existen hoy controles y regulaciones estrictos para la actividad, lo que minimiza el riesgo de accidentes e incidentes (Autoridad Regulatoria Nuclear, ARN, 2019; International Atomic Energy Agency, IAEA, 2013). Sin embargo, existe una ventana relativamente amplia de circunstancias de exposición a este tipo de radiaciones que no son fáciles de controlar y que derivan del uso de fuentes radioactivas por parte de otras industrias y también del riesgo de que las mismas puedan llegar a manos del terrorismo. La preocupación sobre este tipo de exposiciones ha motivado detallados análisis sobre las falencias y estrategias a implementar para contener el problema (Barnett, Parker, Blodgett, Wierzba y Links, 2006; Gale y Armitage, 2018; IAEA, 2013; Moulder, 2002). Un primer paso fue la clasificación de los incidentes radiológicos en función de la gravedad de sus consecuencias (ver Figura 1).

El INES consiste en un sistema de clasificación de eventos de siete niveles. Los eventos de mayor importancia para la seguridad (niveles 4-7) se denominan "accidentes" y los eventos de menor importancia para la seguridad (niveles 1-3) se denominan "incidentes". Los eventos sin importancia para la seguridad se denominan "desviaciones" y se clasifican por debajo del nivel 0.

En el año 2000 la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, perteneciente a la Organización Mundial de la Salud, realizó una valiosa evaluación sobre los efectos de la radiación ionizante, que detalló exhaustivamente los eventos de exposición y sus efectos nocivos con su grado de intensidad (IARC-WHO, 2000). Se evaluaron diferentes eventos en los que pudo verificarse la exposición a la radiación ionizante, que causa efectos nocivos de intensidad y consecuencias variables, en muchos países. Hay

FIGURA 1. LA ESCALA INTERNACIONAL DE EVENTOS NUCLEARES Y RADIOLÓGICOS (INES).



EL INES CONSISTE EN UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE EVENTOS DE SIETE NIVELES. LOS EVENTOS DE MAYOR IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD (NIVELES 4-7) SE DENOMINAN "ACCIDENTES" Y LOS EVENTOS DE MENOR IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD (NIVELES 1-3) SE DENOMINAN "INCIDENTES". LOS EVENTOS SIN IMPORTANCIA PARA LA SEGURIDAD SE DENOMINAN "DESVIACIONES" Y SE CLASIFICAN POR DEBAJO DEL NIVEL 0

Adaptado de: Infographic of the International Nuclear and Radiological Event Scale, from the 2016-2017 Information Digest, NUREG 1350, Volume 28. (August 2016).

ejemplos derivados de incidentes en instalaciones de la industria nuclear (en plantas de generación de energía como Chernobyl, Fukujima o Three Miles Island); para usos militares de la energía atómica (bombas de Hiroshima y Nagasaki, pruebas de armas nucleares y las consecuencias radioactivas resultantes, en la fabricación de los materiales involucrados); de accidentes durante el uso de fuentes de medicina nuclear; ocupacional (minería de uranio, exposición al radón, personal de aeronaves y vuelos espaciales, otros usos industriales). Además, en los últimos tiempos ha habido una creciente preocupación por el uso de fuentes radioactivas para acciones terroristas (Coleman et al., 2003; IARC-WHO, 2000; Riley, 1994).

En 2001, una comisión de expertos en radiaciones ionizantes pertenecientes a diferentes áreas del gobierno de Estados Unidos (por ejemplo, Instituto Nacional del Cáncer, Departamento de Energía, NASA, EPA, Universidad de Servicios Uniformados para las Ciencias de la Salud, Instituto de Investigación en Radiobiología de las Fuerzas Armadas) se reunió con el propósito de analizar los problemas derivados de estas exposiciones accidentales y las alternativas de protección o tratamiento (Coleman et al., 2003; Moulder, 2002). En la ocasión se definieron también aquellos aspectos más importantes a profundizar en el conocimiento del problema. Entre otros se otorgó una relevancia crítica a la comprensión de los mecanismos subyacentes en la toxicidad de las radiaciones ionizantes (aguda y crónica) y en los modos disponibles para revelar de un modo cuantitativo la exposición. La importancia de lo primero puede parecer obvia, ya que difícilmente pueda diseñarse una terapéutica eficaz si no se conocen aspectos fundamentales del desarrollo de la patología. En este sentido, debe remarcarse que la toxicidad aguda ocasionada por la radiación ionizante difiere bastante de cualquier intoxicación de origen químico. Este tema se desarrollará en detalle en la sección siguiente. El segundo aspecto tiene que ver con las metodologías aplicables al reconocimiento temprano y específico (e idealmente disponibles con facilidad en campo) de una exposición, cuestión que permitiera establecer prioridades en la atención de las víctimas junto con un pronóstico de gravedad. Una primera definición elaborada en esta reunión de especialistas estableció las dosis entre 1 y 10 Gy como las de una exposición factible en tratamientos de pacientes con cáncer, poblaciones potencialmente expuestas a situaciones accidentales o intencionales (terrorismo) y a trabajadores de la industria nuclear. Este rango de exposición entre 1 y 10 Gy implica consecuencias perjudiciales para la salud conocidas como el síndrome hematopoyético y una parte del llamado síndrome gastrointestinal (Coleman et al., 2003; Moulder, 2002).

Síndrome agudo por radiación: una patología toxicológica compleja con múltiples blancos

El síndrome agudo por radiación (SAR), también conocido como toxicidad por radiación o enfermedad por radiación, es un nombre que se usa para describir una enfermedad aguda causada por la irradiación de todo el cuerpo (o de una porción significativa del cuerpo) por una dosis alta de radiación penetrante administrada a una tasa de dosis alta (generalmente en unos minutos). La causa principal de este síndrome es el agotamiento de las células madre parenquimatosas inmaduras en tejidos específicos. El SAR puede subdividirse en tres subsíndromes: el síndrome hematopoyético, el gastrointestinal y el neurovascular, pero muchos otros tejidos pueden dañarse también. Tanto en humanos como en animales experimentales, el curso temporal y la gravedad de los signos y síntomas clínicos son una función del volumen corporal total irradiado, la falta de homogeneidad de la exposición a la dosis, el tipo de partícula, la dosis absorbida y la tasa de dosis (Costantini, Maciel y Castro, 2019b).

El síndrome hematopoyético es causado por la destrucción de la médula ósea, lo que resulta en un agotamiento severo de los leucocitos, infección y hemorragia. Esta es la primera expresión de la

toxicidad de la radiación ionizante porque las células de la médula ósea son extremadamente sensibles a este tipo de daño oxidativo.

El síndrome gastrointestinal ocurre a dosis de entre 6 y 15 Gy. Los signos y síntomas clínicos se deben a la falta de reemplazo de células en la superficie de las vellosidades porque las células madre y proliferantes ubicadas en las criptas son dañadas por la radiación y mueren en la mitosis. La destrucción de la mucosa intestinal produce diarrea acuosa, deshidratación y pérdida de electrolitos, sangrado gastrointestinal y perforación. La descomposición de la barrera mucosa facilita la entrada de bacterias en el torrente sanguíneo. La inmunodepresión severa asociada con el síndrome hematopoyético favorece las infecciones oportunistas y la trombocitopenia favorece la hemorragia. La muerte por el síndrome gastrointestinal se debe a sepsis, sangrado, deshidratación e insuficiencia orgánica multisistémica (Costantini et al., 2019b).

A dosis más altas, el daño también puede expresarse a nivel cardiovascular y en el sistema nervioso central. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cualquiera de estos subsíndromes puede ser la causa de la mortalidad, aunque la probabilidad de un tratamiento efectivo es mayor cuanto menor es la dosis y, por lo tanto, los blancos involucrados.

Independientemente de la fuente, la exposición a la radiación ionizante (rayos X o rayos gamma) tendrá consecuencias graves y generalmente irreversibles. Estas se originan en la transferencia de la energía radiante a las moléculas celulares, lo que provoca su ionización. El agua corporal, debido a su abundancia, es el blanco principal de la radiación, pero el ADN, el ARN, las proteínas y los lípidos celulares también son muy susceptibles. En la fracción de milisegundos, todas las reacciones de los radicales libres generados por el agua ya están completas. A partir de ese momento y en diferentes tiempos, se habrán completado todos los procesos bioquímicos que conducen al daño celular. Durante estos procesos se generan especies reactivas derivadas del oxígeno (ROS) y también nitrogenadas (post-inducción de la enzima óxido nítrico sintetasa) (Riley, 1994). Estas moléculas reactivas atacan componentes celulares críticos como el ADN, proteínas, lípidos, etc. En el curso de estas interacciones, también se producen radicales libres en las macromoléculas, lo que conduce a su degradación. Un claro ejemplo es la formación de 4-hidroxinonenal a partir de los lípidos. Este compuesto se considera el responsable principal de los daños causados por la peroxidación lipídica mediada por ROS (de Toranzo y Castro, 1994; Riley, 1994). La acción combinada de todos estos productos derivados de la acción de la radiación conduce a la muerte celular en diferentes tejidos. Si el daño no es lo suficientemente intenso, en cualquier caso, muchas de estas alteraciones moleculares pueden conducir, en tiempos más largos, a otras patologías (por ejemplo, mutaciones en el ADN y el cáncer).

Terapéutica radioprotectora: efectividad versus toxicidad

Desde hace décadas, se han sintetizado compuestos con capacidad radioprotectora o mitigante de los efectos de la radiación ionizante. Desde el fin de la Segunda Guerra Mundial, en los Estados Unidos se desarrolló un programa de síntesis de sustancias y prueba de su eficacia radioprotectora. Se llevó a cabo una gran cantidad de estudios preclínicos e incluso clínicos, que incluyen el uso de algunos de estos compuestos en radioterapia contra el cáncer, intoxicaciones, emergencias militares y exposiciones durante vuelos espaciales (Coleman et al., 2003). De esos estudios, la amifostina (WR-2721) surgió como un radioprotector de eficacia aceptable. Este compuesto también encontró aplicaciones radioterapéuticas en la clínica del cáncer, por tener selectividad en su efecto con respecto al tejido tumoral (Kligerman et al., 1988; Rose, 1996; van der Vijgh y Peters, 1994; Winczura y Jassem, 2010). A pesar de estas cualidades interesantes, está lejos de ser un radioprotector ideal debido a su toxicidad (Cairnie, 1983). Esto llevó a la Administración de Drogas y Alimentos de los

Estados Unidos (FDA) a aprobar su uso limitado en pacientes expuestos a radioterapia en dosis altas después de la cirugía para los cánceres de cabeza y cuello y para prevenir la xerostomía (Jensen et al., 2019; Maier, Wenz y Herskind, 2014). La amifostina solo está aprobada para su administración intravenosa, aunque algunos la han usado por vía subcutánea (Maier et al., 2014). Este medicamento tiene una liposolubilidad muy baja y en el pH del estómago su carga iónica positiva hace que sea muy difícil de absorber por vía oral (Bardet et al., 2011; Gu et al., 2014). Por otro lado, un radioprotector ideal debería mantener su efecto durante un tiempo razonablemente largo y esto implica que su toxicidad debería ser baja. El uso de WR-2721 en humanos tiene algunos efectos adversos importantes. Dado que la dosis efectiva de amifostina difiere poco de su dosis tóxica, los pacientes con frecuencia presentan efectos adversos que incluyen hipocalcemia, diarrea, náuseas y vómitos. Algunos de esos síntomas también son típicos de la exposición a la radiación ionizante. Además, otros síntomas son la emesis, hipotensión y alergias (Gu et al., 2014). La existencia de estos efectos adversos impide su administración repetida para lograr un efecto protector sostenido. Lo deseable en un radioprotector es que proteja la mayoría de los órganos expuestos. La amifostina protege una amplia variedad de sitios en el organismo afectado si se la administra poco tiempo antes de la exposición a la radiación, pero mucho menos o nada cuando se administra después de la exposición (Ormsby et al., 2014). Solo cuando este medicamento está presente en el momento de la irradiación es capaz de reducir la mortalidad de una manera muy significativa. Incluso fue capaz de proteger las células normales y no las cancerosas después de la radioterapia. Esta virtud le ha dado aplicaciones extendidas y útiles en la clínica de oncología (Maier et al., 2014).

El mecanismo de la acción radioprotectora de la amifostina está relacionado básicamente con su capacidad para atrapar radicales libres, para destruir algunos productos muy reactivos que se forman a partir de moléculas biológicas alteradas, como lípidos y proteínas, a través de la donación de hidrógeno, o al reaccionar con ellos, como es el caso con el 4-hidroxinonenal (de Toranzo y Castro, 1994). Esta capacidad depende de su conversión previa por desfosforilación enzimática a su metabolito activo, el WR-1065. Este proceso está mediado por una fosfatasa alcalina presente en las células de diferentes órganos y en el suero de diferentes especies y el ser humano (Maier et al., 2014; Valles, de Castro y Castro; 1995). Este proceso de activación es muy rápido, pero aún así debe ocurrir antes de la irradiación, para tener el metabolito sulfhidrílico en concentración suficiente cuando se generan los radicales libres de una vida tan corta.

La amifostina también tiene algún efecto protector cuando se administra después de la exposición a la radiación ionizante. Este aspecto fue menos estudiado y su relevancia no ha sido establecida (Ormsby et al., 2014). El hecho de que la acción protectora de la amifostina requiera la activación previa de su metabolito sulfidrílico mediado por la enzima es crítico y se supone que está relacionado con su utilidad en oncología clínica. Se ha demostrado que la amifostina protege el tejido normal que rodea al canceroso porque este último tiene un pH más ácido (efecto Warburg).

En consecuencia, se vuelve muy importante el desarrollo de nuevos radioprotectores o fórmulas de ellos que actúen previniendo o mitigando los efectos nocivos de una exposición. Esto incluye todos los ensayos necesarios para la aprobación de su uso en humanos. Este problema y el ensayo de una terapia coadyuvante con otros compuestos no tóxicos se informaron ampliamente en la literatura científica (Weiss y Landauer, 2009). La estrategia de algunos estudios fue aprovechar la capacidad radioprotectora de la amifostina administrada en una sola dosis baja antes de la radiación y continuar con otras sustancias de baja toxicidad que reforzarían el efecto protector inicial. Parece claro que apenas una sola sustancia pueda bloquear o mitigar los efectos nocivos agudos de la radiación ionizante y que es más factible utilizar formulaciones donde cada componente aporte propiedades que son cooperativas o complementarias. Esto implica ensayos para los nuevos com-

ponentes con características muy diferentes en su potencial terapéutico y que, si son efectivos, deberían estudiarse debido a su compatibilidad con los existentes.

Aportes de los proyectos de investigación PIDDEF al tema

La toxicología puede aportar mucho para la terapéutica del síndrome y también para el biomonitoreo de la exposición a las radiaciones y de los efectos tempranos que se desencadenan. Esto se debe a que el problema en cuestión es esencialmente una intoxicación, aunque también es cierto, con características que la hacen muy difícil de diagnosticar y tratar. En nuestro laboratorio, se han ensayado diferentes sustancias con el propósito de diseñar fórmulas en combinación con la amifostina, que preserven la eficacia radioprotectora pero sin aumentar la toxicidad. Para lograr este objetivo, se seleccionaron compuestos naturales o sus derivados que podrían administrarse conjuntamente con amifostina o posteriormente a la exposición. Este último es un aspecto de particular relevancia, ya que cualquier terapia que pueda mitigar algunos de los efectos nocivos causados por la radiación ionizante contribuirá a mejorar la supervivencia y porque la amifostina ya no es útil para este propósito.

El objetivo de un tratamiento radioprotector ideal está aún lejos de alcanzarse. Se pueden identificar varias causas para explicar la dificultad para lograrlo. En primer lugar, la naturaleza del proceso tóxico del síndrome, muy intenso y con varios órganos críticos afectados, dificulta la elección de sustancias radioprotectoras que puedan alcanzar concentraciones efectivas en tiempos cortos. Por ejemplo, muchos compuestos conocidos por su capacidad antioxidante y su eficacia para reaccionar con los radicales libres no fueron efectivos cuando se ensayaron *in vivo* (Castro et al., 2017a,b; Maciel et al., 2015a,b; Weiss y Landauer, 2009). Detrás de esto pueden encontrarse razones tales como una pobre biodisponibilidad, una vía de administración inadecuada (pero condicionada por la droga), inestabilidad en los medios biológicos y, por supuesto, la propia toxicidad. En segundo lugar, que el efecto radioprotector ideal debe mantenerse durante un tiempo después de la exposición. Esto a su vez está vinculado con dos aspectos: la contención de los procesos de daño celular que siguen a la acción de los radicales libres y la reparación de las estructuras y funciones celulares afectadas. Esta etapa, que en la terapéutica de protección radiológica se denomina mitigación del daño, tampoco es fácil porque existen varios procesos nocivos críticos en curso que condicionan la supervivencia.

En nuestro laboratorio se probaron distintas sustancias y productos naturales para determinar su potencial radioprotector, por separado o constituyendo mezclas con amifostina. Varios de esos ensayos fallaron, ilustrando lo que se mencionó anteriormente. Las sustancias que son atrapadores eficientes de radicales libres in vitro no pudieron mejorar la supervivencia, aún administradas antes de la irradiación (Castro y Castro, 2002; Castro et al., 2017a,b; Maciel et al., 2015a,b). Otras, con capacidad mitigante conocida contra los efectos nocivos que muchas sustancias tóxicas comparten con la radiación ionizante, revelaron toxicidad per se, algo que es indeseable particularmente en aquellos órganos más afectados por la radiación (por ejemplo, agentes quelantes de calcio y el daño sobre el epitelio intestinal) (Castro et al., 2017c). Dos de los tratamientos probados fueron exitosos y prometedores y comparten características que son obviamente críticas para la eficacia terapéutica, esto es, una toxicidad muy baja, una buena biodisponibilidad y la capacidad para mitigar el síndrome gastrointestinal debido a sus propiedades antibióticas. Este parece ser un paso crítico en el desarrollo del SAR, al dar tiempo para la recuperación de la capacidad inmunogénica de la médula ósea. Fue así que tanto el piruvato de etilo como el butirato de sodio pudieron cooperar con la acción radioprotectora de una dosis baja de amifostina para mejorar significativamente la supervivencia frente a dosis importantes de radiación.

En estos estudios experimentales pudo verificarse que la administración de amifostina en dosis bajas y junto con el piruvato de etilo disminuyó la toxicidad manteniendo su eficacia (Maciel et al., 2016). El piruvato de etilo es un compuesto con muy baja toxicidad, que mostró capacidad para impedir de modo significativo el daño sobre el ADN que evidencia el ensayo Cometa, así como el daño por estrés oxidativo (Maciel et al., 2016). Este tratamiento resultó en una protección de los eritrocitos en ambos sexos. El daño genético disminuyó significativamente por el tratamiento con piruvato de etilo solo o combinado con amifostina, y en las ratas hembras se observó una mayor supervivencia solo con el tratamiento combinado. En resumen, el piruvato de etilo mostró una acción radioprotectora significativa, que podría mejorarse aumentando la dosis o el tiempo de tratamiento, ya que tiene muy baja toxicidad. El piruvato de etilo también es un atrapador de radicales libres y especies reactivas de oxígeno, que tiene algunas propiedades que pueden compensar problemas y limitaciones del uso de la amifostina como radioprotector. Es una sustancia que puede administrarse por distintas vías, tiene una muy baja toxicidad, lo que permite su administración repetida durante periodos de tiempo más largos en relación con la supervivencia que se busca determinar luego de una exposición a dosis importantes de radiación ionizante. Por otra parte, el piruvato de etilo mostró ser un protector eficaz para una variedad amplia de patologías y particularmente beneficioso en el manejo de los modelos animales de sepsis y procesos inflamatorios. Justamente, los procesos inflamatorios severos y los daños en las células de las criptas intestinales que se observan posteriormente a la exposición a las radiaciones ionizantes son muy relevantes en sus efectos letales. Debido a su solubilidad en medios hidro y lipofílicos y rápida absorción, el piruvato de etilo puede llegar a todos los tejidos fácilmente y así ejercer su acción protectora, incluso al sistema nervioso central (Maciel et al., 2016). No obstante, se concluyó que no era posible prevenir todos los efectos tóxicos de las radiaciones con la combinación de estos dos compuestos, lo cual se hizo evidente con los estudios de supervivencia en los animales expuestos y tratados. Esto sugería claramente que es conveniente desarrollar "cocktails" integrados por sustancias compatibles entre sí y que aporten propiedades protectoras atendiendo a distintos aspectos del proceso que conduce al daño.

En el colon, los ácidos grasos de cadena corta son producto de la degradación bacteriana del almidón no absorbido y el polisacárido (fibra) que no contiene almidón. Son moléculas importantes en la luz colónica, que afectan tanto a la morfología como a la función de los colonocitos. Los estudios experimentales en animales han demostrado que promueven respuestas adaptativas a la resección del intestino delgado y la anastomosis colónica. En particular, se ha demostrado que el butirato es el sustrato de energía preferido para el colonocito y que es un agente de diferenciación potente en el cultivo celular. El anión butirato también puede tener un papel en la prevención de ciertos tipos de colitis (Costantini et al., 2019a). El síndrome agudo por radiación involucra, entre otros blancos, la médula ósea y los epitelios gastrointestinales. La combinación de una falla en el sistema inmune con una alteración de la absorción de nutrientes y la permeabilidad a las bacterias lleva a un cuadro agudo que es causa de una mortalidad elevada. En tal sentido, se consideró que el anión butirato podría constituir un agente mitigante efectivo para reducir el impacto tóxico.

El tratamiento con amifostina combinada con butirato de sodio resultó efectivo para la recuperación del número de eritrocitos, con valores comparables a los de los controles a partir del mes en las hembras y más adelante en el caso de los machos (Costantini et al., 2019a). El tratamiento sin embargo no fue capaz de impedir la disminución violenta que las radiaciones produjeron sobre el número total de leucocitos en los primeros días. A pesar de esto, permitió la supervivencia y la lenta recuperación de los niveles leucocitarios hasta alcanzar los valores del control a los 21 días en machos y 28 días en hembras. Respecto de la fórmula leucocitaria relativa, en ambos sexos pudo observarse una recuperación completa en los sobrevivientes al día sesenta (Costantini et al., 2019a). El tratamiento

combinado también logró mejorar significativamente la supervivencia en ambos sexos. También se consideró importante estudiar el comportamiento del tratamiento sobre la variación de peso de los animales de ambos sexos por posibles interacciones adversas o favorables, teniendo en cuenta que las mismas radiaciones ionizantes afectan severamente el peso corporal. En las hembras, el tratamiento con amifostina y butirato de sodio logró compensar la pérdida de peso a partir de los 20 días posteriores a la irradiación mientras que los machos pudieron recuperarse antes (a partir del día 9). Es probable que estas variaciones en el peso se deban a varios factores: la malabsorción provocada por el daño en el epitelio intestinal, el decaimiento general de la salud de los animales, la pérdida de fluidos por diarrea y el efecto protector del tratamiento. En particular, fue notoria la ausencia de diarrea en los animales tratados, lo que puede relacionarse con el efecto protector del butirato, sumado al hecho de que esta sustancia aporta calorías útiles en una forma rápidamente absorbible. Los resultados muestran que el tratamiento combinado de amifostina con butirato de sodio logró recuperar el número de criptas de modo significativo en ambos sexos, aunque sin alcanzar los valores del control. Por otra parte, las alteraciones histológicas observadas y descriptas también por otros autores, como la menor altura de las vellosidades, el edema o el daño vascular, también fueron reducidas por el tratamiento, como pudo observarse en los especímenes tomados de los animales sobrevivientes a sesenta días (Costantini et al., 2019a).

Conclusiones

Más allá de la efectividad de cada uno de estos compuestos para prevenir o mitigar los efectos nocivos agudos de la radiación ionizante, parece claro que apenas una sola sustancia pueda lograrlo y que entonces sea más conveniente el uso de fórmulas cuyos componentes proporcionen propiedades cooperativas o complementarias (Berger, Christensen, Lowry, Jones y Wiley, 2006; Shadad, Sullivan, Martin y Egan, 2013; Weiss y Landauer, 2009). Esto no solamente permite abordar el problema desde diferentes aspectos de la patología, sino que en la práctica puede significar una disminución en la dosis de cada uno, si es que tienen alguna toxicidad. Nuestros estudios de protección radiológica han buscado desarrollar tratamientos que reducen o previenen los daños observados, a pesar de que en la experiencia humana para dosis entre 1 y 6 Gy el pronóstico de recuperación es razonablemente bueno (IAEA, 1997). Todo el personal involucrado en la contención de un incidente radiológico debe tener una alternativa terapéutica temprana para la exposición eventual a dosis relevantes de radiación ionizante. En este sentido, es obvio que la baja toxicidad del tratamiento es crucial para no causar un problema adicional al que se pretende resolver (Weiss y Landauer, 2009). En nuestra hipótesis de trabajo se consideró relevante desarrollar y profundizar estudios relacionados con el uso conjunto de amifostina con adyuvantes frente a situaciones de exposición aguda a la radiación ionizante. El objetivo fue identificar y caracterizar moléculas naturales (o sus derivados) con muy baja toxicidad, lo que permite reducir sustancialmente la dosis de amifostina como radioprotector (o eventualmente reemplazarla por completo) y continuar con una terapia de mitigación. Estos tratamientos tienen un alto potencial de transferencia a la clínica debido a su baja toxicidad, lo que facilitaría su aprobación para su uso en humanos (Costantini et al., 2019b).

Es mucho lo que queda por hacer en el campo de la radioprotección para el síndrome agudo por radiación. El gran desafío será encontrar una o varias sustancias con baja toxicidad que puedan resultar eficaces durante una brevísima ventana de tiempo que sigue al comienzo de la irradiación, ya que ni la amifostina resulta útil en tal situación. La terapia mitigante ofrece, en cambio, más posibilidades de éxito, como bien lo demuestran los resultados de nuestro laboratorio.

Agradecimientos: Al soporte de financiación de MINDEF (PIDDEF 11/12 y PIDDEF 03/16), CITEDEF y UNIDEF.

Referencias

> Autoridad Regulatoria Nuclear (2019). Norma básica de seguridad radiológica, revisión 4, NORMA AR 10.1.1., pág. 21.
> Bardet, E., Martin, L., Calais, G., Alfonsi, M., Feham, N.E., Tuchais, C., Boisselier, P., Dessard-Diana, B., Seng, S.H., Garaud, P., Aupérin, A. y Bourhis, J., (2011). Subcutaneous compared with intravenous administration of amifostine in patients with head and neck cancer receiving radiotherapy: Final results of the GORTEC2000-02 phase III randomized trial. Journal of Clinical Oncology, 29, 127-133.
> Barnett, D.J., Parker, C.L., Blodgett, D.W., Wierzba, R.K. y Links, J.M., (2006). Understanding radiologic and nuclear terrorism as public health threats: preparedness and response perspectives. Journal of Nuclear Medicine, 47, 1653-1661.
> Berger, M.E., Christensen, D.M., Lowry, P.C., Jones, O.W. y Wiley, A.L., (2006). Medical management of radiation injuries: current approaches. Occupational Medicine (Lond), 56, 162-172.
> Cairnie, A.B., (1983). Adverse effects of radioprotector WR2721. Radiation Research, 94, 221-226.
> Castro, G., Maciel, M., Díaz Gómez, M., Costantini, M., Formosa Lemoine, F., Montalto de Mecca, M., López, D., y Castro, J., (2017a). Radioprotective effect of vegetable oils in an experimental model of acute radiation syndrome. Medicina, 77 (Supl. 1), 456.
> Castro, G., Maciel, M., Díaz Gómez, M., Costantini, M., Montalto de Mecca, M., Formosa Lemoine, F., López, D. y Castro, J., (2017c). Radioprotective effect of sodium alizarinsulfonate in an experimental model of acute radiation syndrome. Medicina, 77 (Supl. 1), 349.
> Castro, G., Montalto de Mecca, M., Maciel, M., Díaz Gómez, M., Costantini, M., Formosa Lemoine, F., López, D. y Castro, J., (2017b). Radioprotective effect of lipoic acid in an experimental model of acute radiation syndrome. Medicina, 77 (Supl. 1), 296.
> Castro, J., y Castro, G., (2002). Methods in Molecular Biology, "Oxidative stress biomarkers and antioxidant protocols", D. Armstrong (Ed.), Human Press Inc., Totowa, 88-98.
> Coleman, C.N., Blakely, W.F., Fike, J.R., MacVittie, T.J., Metting, N.F., Mitchell, J.B., Moulder, J.E., Preston, R.J., Seed, T.M., Stone, H.B., Tofilon, P.J. y Wong, R.S., (2003). Molecular and cellular biology of moderate-dose (1-10 Gy) radiation and potential mechanisms of radiation protection: report of a workshop at Bethesda, Maryland, December 17-18, 2001. Radiation Research, 159, 812-834.
> Costantini, M.H., Díaz Gómez, M.I., Formosa Lemoine, F., Montalto de Mecca, M., López, G.D., Castro, J.A. y Castro G.D., (2019a). Butirato de sodio como coadyuvante de la acción radioprotectora de la amifostina. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, 53, 397-408.
> Costantini, M.H., Maciel, M.E. y Castro, G.D., (2019b). In the search for better radioprotective treatments: a risk-benefit equation between effectiveness and toxicity. Currents Topics in Toxicology, 15, 81-93.
> de Toranzo, E.G.D. y Castro, J.A., (1994). Reaction of 4-hydroxynonenal with some thiol containing radio protective agents or their active metabolites. Free Radical Biology and Medicine, 17, 605-607.
> Gale, R.P. y Armitage, J.O., (2018). Are We Prepared for Nuclear Terrorism? New England Journal of Medicine, 378, 1246-1254.
> Gu, J., Zhu, S., Li, X., Wu, H., Li, Y. y Hua, F., (2014). Effect of amifostine in head and neck cancer patients treated with radiotherapy: a systematic review and meta-analysis based on randomized controlled trials. PLoS One, 9: e95968. doi: 10.1371/journal.pone.0095968. eCollection 2014.
> IARC-WHO, (2000). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans. Volume 75. Ionizing radiation. Part 1: X- and gamma-radiation and neutrons. Lyon: IARC Press, pp. 59-101.

- International Atomic Energy Agency, Vienna, 2013. INES. The International Nuclear And Radiological Event Scale User's Manual 2008 Edition
- International Atomic Energy Agency, (1997). Effects of ionizing radiation on blood and blood components: A survey. Vienna: IAEA, IAEA-TECDOC-934, p. 7-22.
- Jensen, S.B., Pedersen, A.M., Vissink, A., Andersen, E., Brown, C.G., Davies, A.N., Dutilh, J., Fulton, J.S., Jankovic, L., Lopes, N.N., Mello, A.L., Muniz, L.V., Murdoch-Kinch, C.A., Nair, R.G., Napeñas, J.J., Nogueira-Rodrigues, A., Saunders, D., Stirling, B., von Bültzingslöwen, I., Weikel, D.S., Elting, L.S., Spijkervet, F.K., Brennan, M.T., Salivary Gland Hypofunction/Xerostomia Section, Oral Care Study Group, Multinational Association of Supportive Care in Cancer (MASCC)/International Society of Oral Oncology (ISOO), (2010). A systematic review of salivary gland hypofunction and xerostomia induced by cancer therapies: prevalence, severity and impact on quality of life. Supportive Care in Cancer, 18, 1039-1060.
- Kligerman, M.M., Turrisi, A.T. 3rd., Urtasun, R.C., Norfleet, A.L., Phillips, T.L., Barkley, T. y Rubin, P., (1988). Final report on phase I trial of WR-2721 before protracted fractionated radiation therapy. International Journal of Radiation Oncology, Biology and Physics, 14, 1119-1122.
- Maciel, M., Quintans, L., Costantini, M., Formosa Lemoine, F., López, G., Montalto de Mecca, M., Díaz Gómez, M., Castro, J., y Castro, G., (2015a). Radioprotection studies with ethyl pyruvate and alpha phenyl-N-tert-butylnitrone (PBN). Applied Research in Toxicology, 1 (Supl), 75.
- Maciel, M., Quintans, L., Costantini, M., Formosa Lemoine, F., López, G., Montalto de Mecca, M., Díaz Gómez, M., Castro, J., y Castro, G., (2015b). Exposición a radiaciones ionizantes, biomonitoreo y radioprotección. Efecto del pretratamiento con alfa-fenil-N-terbutil nitrona (PBN). Bioquímica y Patología Clínica (Supl. Agosto 2015), 114.
- Maciel, M.E., Quintans, L.N., Díaz Gómez, M.I., Costantini, M.H., Formosa Lemoine, F., Montalto de Mecca, M., López, G.D., Castro, J.A. y castro, G.D., (2016). Efecto radioprotector del piruvato de etilo, solo o como coadyuvante de la amifostina. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, 50, 733-744.
- Maier, P., Wenz, F. y Herskind, C., (2014). Radioprotection of normal tissue cells. Strahlentherapie und Onkologie, 190, 745-752.
- Moulder, J.E., (2002). Report on an interagency workshop on the radiobiology of nuclear terrorism. Molecular and cellular biology dose (1-10 Sv) radiation and potential mechanisms of radiation protection (Bethesda, Maryland, December 17-18, 2001). Radiation Research, 158, 118-124.
- Ormsby RJ, Lawrence MD, Blyth BJ, Bexis K, Bezak E, Murley JS, Grdina, D.J. y Sykes, P.J., (2014). Protection from radiation-induced apoptosis by the radioprotector amifostine (WR-2721) is radiation dose dependent. Cell Biology and Toxicology, 30, 55-66.
- Riley, P.A., (1994). Free radicals in biology: oxidative stress and the effects of ionizing radiation. International Journal of Radiation Biology, 65, 27-33.
- Rose, P.G., (1996). Amifostine cytoprotection with chemotherapy for advanced ovarian carcinoma. Seminars in Oncology, 23, 83-89.
- Shadad, A.K., Sullivan, F.J., Martin, J.D. y Egan, L.J., (2013). Gastrointestinal radiation injury: prevention and treatment. World Journal of Gastroenterology, 19, 199-208.
- Valles, E., de Castro, C.R. y Castro, J.A., (1995). Radioprotectors as late preventive agents against carbon tetrachloride induced liver necrosis. Protection by 2-(3-amino propylamino) ethyl phosphorothioic acid (WR2721). Experimental and Molecular Pathology, 63, 101-109.
- van der Vijgh, W.J. y Peters, G.J., (1994). Protection of normal tissues from the cytotoxic effects of chemotherapy and radiation by amifostine (Ethyol): preclinical aspects. Seminars in Oncology, 21(5 Suppl 11), 2-7.

> Weiss, J.F. y Landauer, M.R., (2009). History and development of radiation-protective agents. International Journal of Radiation Biology, 85, 539-573.
> Winczura, P. y Jassem, J., (2010). Combined treatment with cytoprotective agents and radiotherapy. Cancer Treatment Reviews, 36, 268-275.

2.4

Métodos de producción de hidrógeno y almacenamiento de energía

Por María José Lavorante, Gerardo Martin Imbrioscia, Daniel Guillermo Schiavo, Ricardo Martin Aiello, del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa y Rodrigo Enrique García, de la Dirección de Investigación de la Armada.

Resumen

Para el desarrollo de cualquier actividad vinculada con la Defensa y con el desenvolvimiento y progreso de un país, se requiere de un suministro apropiado de energía. El abastecimiento debe ser confiable como para poder poner en funcionamiento aeronaves, barcos, y otros vehículos militares, así como transportar y albergar personal que trabaje para las fuerzas, de la misma manera que sus oficinas, centros informáticos y laboratorios. La demanda energética es significativa por lo que gestionar de manera responsable los recursos disponibles para poder obtener el mejor valor por dinero es de vital importancia, de la misma manera que tratar de minimizar el impacto de cualquier operación sobre el medio ambiente.

Para poder garantizar un suministro constante y seguro de energía, en la División de Investigación y Desarrollo en Energía Renovables del Instituto de Investigaciones Científicas para la Defensa, estamos trabajando en distintas áreas temáticas vinculadas a la obtención del vector energético hidrógeno y al almacenamiento de energía. Las áreas de obtención incluyen la investigación sobre electrolizadores alcalinos y en métodos biológicos de digestión anaeróbica. En el área de almacenamiento de energía, en baterías de flujo redox. En este trabajo se presentarán cada una de las áreas, los avances alcanzados y el uso que hacen otros países en el área de Defensa de estos dispositivos y procesos.

Palabras clave: electrolizadores, biohidrógeno, baterías de flujo redox.

Tipo de trabajo
Tecnologías estratégicas, emergentes o disruptivas.

Eje temático
Energía: Materiales energéticos y almacenamiento - Materiales de ingeniería - Estrategia de materiales - Armas destrucción masiva (ADM) - Química computacional.

Introducción

El hidrógeno, desde hace ya mucho tiempo, es indispensable para gran número de industrias como la química, del petróleo, la alimenticia y la farmacéutica solo para mencionar algunas. Sin embargo, en los últimos años y de manera creciente, el hidrógeno ha llamado la atención de numerosas instituciones de investigación y otras industrias, como una forma de almacenamiento de energía renovable.

Al hidrogeno se lo considera un combustible limpio, ya que cuando se utiliza el único producto es energía y agua. Puede obtenerse a partir de cualquier fuente de energía, pero lo que lo hace aún más atractivo es que puede producirse haciendo uso de energías renovables y si se lo emplea en una pila a combustible, juntos, pueden proporcionar una de las soluciones para el suministro sustentable de energía.

La idea del uso del hidrógeno como vector energético se fortaleció notablemente después de la crisis energética mundial de 1974 (Noor y Siddiqi, 2010). Sus propiedades y características lo convierten en un vector energético o combustible muy prometedor, aunque en la naturaleza no se encuentra disponible para hacer uso de él directamente. Generalmente, forma parte de otros compuestos que están constituidos principalmente por carbono y oxígeno. Esto nos indica que se puede obtener a partir de una gran variedad de compuestos y empleando una amplia gama de métodos.

El hidrógeno es la sustancia más simple y abundante del universo, es incoloro, inodoro e insípido (Momirlan y Veziroglu, 2005). A diferencia de los combustibles convencionales tiene una estructura molecular muy pequeña y, en consecuencia, ligera. Su densidad energética por unidad de masa es de 143 [MJ/kg] (Ahluwalia y Peng, 2009), es decir que 1 kilo de hidrógeno equivale a 2,78 kilos de gasolina y entre 2,54 y 3,14 kilos de gas natural, según la composición que posea este último. En la Tabla 1 se presenta la densidad energética gravimétrica y volumétrica de algunos combustibles (Mazloomi y Gomes, 2012). Por otro lado, y dado que su densidad energética en estado gaseoso es muy baja, para su uso, se hace necesario licuarlo o comprimirlo, procesos que consumen energía, y lo que representa una desventaja para su empleo como combustible.

TABLA 1: DENSIDADES ENERGÉTICAS GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DE ALGUNOS COMBUSTIBLES.

Combustible	Energía por kilogramo [MJ/kg]	Energía por litro [MJ/l]
Hidrógeno (líquido)	143	10,1
Hidrógeno (comprimido a 700 atm)	143	5,6
Hidrógeno (presión atmosférica)	143	0,0107
Metano (presión atmosférica)	55,6	0,0378
Gas Natural (líquido)	53,6	22,2
Gas Natural (comprimido a 250 atm)	53,6	9
Gasolina	46,4	34,2
Diesel	45,4	34,6

Como es de público conocimiento, el elevado consumo de combustibles fósiles, trae aparejado otros problemas como el calentamiento global y el cambio climático debido a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que se asocian con su uso. A eso se suma la emisión de otros contaminantes nocivos (Dincer y Rosen, 2011), que es un recurso limitado y que solo se puede encontrar en lugares específicos, siendo estas solo algunas de las desventajas que presentan. Su costo es otro punto a tener en cuenta, este es muy variable debido a una demanda siempre en crecimiento, a una disminución de sus reservas y a que cada vez son menos los descubrimientos de nuevos yacimientos. Los combustibles derivados del petróleo poseen una amplia gama de formulaciones y cada una permite el funcionamiento de un tipo limitado de maquinaria. Estos combustibles literalmente se queman para liberar su contenido energético, lo que ocasiona que una gran fracción se libere a la atmósfera en forma de calor, por el propio proceso de combustión (Mazloomi y Gomes, 2012).

El hidrogeno, como se ha mencionado anteriormente, puede ser obtenido para una gran variedad de métodos, prácticamente en cualquier locación donde se necesite y a partir de muchos compuestos. Puede alimentar a muchos dispositivos como ser turbinas, pilas a combustible, calentadores, hornos, entre otros. Es decir que presenta características más favorables para ser empleado como combustible.

En el año 2001 investigadores del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF) y la Facultad de Ingeniería del Ejercito Grl. Manuel N. Savio (FIE) comenzaron a trabajar de manera conjunta en el desarrollo de electrolizadores de electrolito sólido y pilas a combustible de electrolito polimérico. Sus trabajos dieron lugar a un convenio entre ambas instituciones y esto dio origen al primer laboratorio argentino dedicado exclusivamente a la investigación y desarrollo de pilas a combustible hidrógeno con membrana de electrolito polimérico (Lavorante y otros, 2013). Con el paso de los años, el grupo de trabajo se fue incrementado y con él, las áreas desarrolladas y aunque hoy en día no se cuente con el aval de un convenio, desde la División de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables (DIDER) se sigue trabajando en las mismas temáticas, así como incorporando adicionales.

Una pila a combustible es un dispositivo electroquímico capaz de convertir de forma continua la energía química que posee un combustible, en energía eléctrica. Una de las ventajas más importantes que presenta es su carácter modular, esto implica que puede ser construida en un amplio rango de potencias que van desde unos pocos watts, hasta los megawatts.

Esta tecnología ha llamado mucho la atención a causa de su simplicidad, viabilidad, su rápida puesta en marcha y que ha demostrado que puede poner en funcionamiento cualquier tipo de aplicación: desde un teléfono celular hasta una locomotora. Una unidad básica consiste en un electrolito que se encuentra en contacto con un ánodo y un cátodo a cada lado. En este tipo de dispositivo, el combustible alimenta continuamente al ánodo y un oxidante al cátodo.

En particular, las pilas a combustible de electrolito polimérico (PEMFC), son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química de una sustancia (hidrógeno) en energía eléctrica, siendo su único subproducto vapor de agua. Estas pilas se diferencian de las baterías convencionales, debido a que requieren un suministro continuo de combustible y comburente (oxígeno) para mantener la producción de electricidad. Un esquema simplificado de una pila de este tipo, estaría constituido por dos compartimentos, uno anódico y otro catódico separados por una membrana de intercambio iónico (el electrolito) (Ren et al., 2012). Las PEMFC poseen numerosas ventajas como son su baja temperatura de operación, su funcionamiento sostenido a elevadas densidades de corriente, bajo peso, compactas y de larga vida útil. Estas características hacen de las PEMFC candidatas prometedoras y atractivas para emplearse en una amplia variedad de aplicaciones que van desde dispositivos portátiles (computadoras, teléfonos celulares, equipos de comunicación), el transporte y la generación residencial de energía. También podrían ofrecer una alternativa en situaciones de crisis energética.

Las reacciones electroquímicas involucradas comprenden la oxidación del hidrógeno en el ánodo para generar protones, mientras que al mismo tiempo se liberan dos electrones que pasan a través de un circuito externo para llegar al cátodo.

En el ánodo: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^{1-}$

En el cátodo: $½\ O_2 + 2H^+ + 2e^{1-} \rightarrow H_2O$

Reacción global: $½\ O_2 + H_2 \rightarrow H_2O$

Los voltajes en cada electrodo, debido a los potenciales de oxidación del hidrógeno y de reducción del oxígeno, dan una diferencia de potencial de aproximadamente un voltio (dependiendo de las condiciones) a circuito abierto, es decir, cuando no hay consumo de corriente. Es este el potencial que impulsa al protón a través de la membrana de intercambio. Dado que el protón es atraído a través de la membrana, arrastra una cierta cantidad de moléculas de agua y una vez que llega al compartimento catódico, reacciona con el oxígeno para formar agua.

Dadas las potencias alcanzadas por los dispositivos construidos, la DIDER se vio en la necesidad de seguir mejorando los procesos de obtención de hidrógeno, para poder suministrar el caudal de combustible que requerían. Es por ello que nos hemos enfocado en la investigación de producción de hidrógeno por medios electroquímicos y biológicos. Además, a partir del conocimiento adquirido en el diseño, construcción y evaluación de las pilas a combustible, comenzamos a trabajar en el almacenamiento de energía a través de baterías de flujo redox de vanadio. Estos temas se detallarán a continuación y se darán ejemplos de su aplicación en la defensa de otros países.

Desarrollo del trabajo

Producción de hidrógeno

En la División de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables, se trabaja puntualmente en dos áreas: electroquímica y biológica.

Producción electroquímica

En el área electroquímica nos abocamos al diseño, construcción y evaluación de electrolizadores alcalinos, lo que incluye, además, investigación sobre sus componentes para mejorar su funcionamiento.

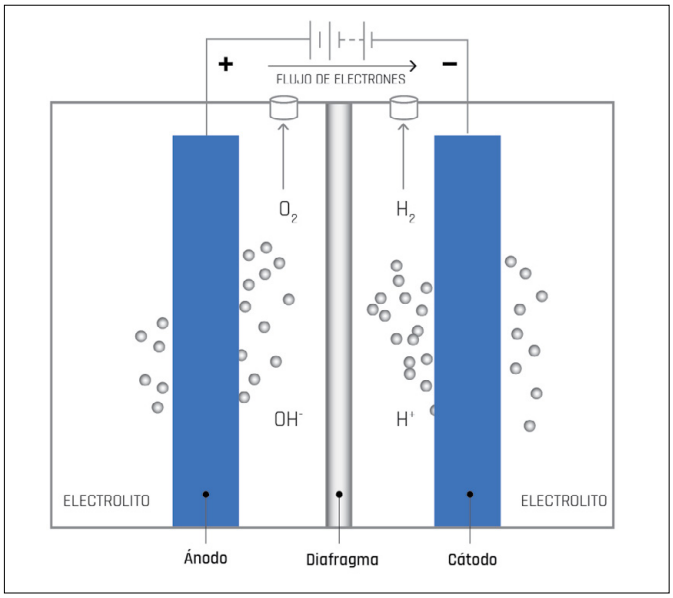
Mas allá del papel preponderante que tienen estos equipos en generar el combustible de las pilas a combustible, el hidrógeno, los electrolizadores alcalinos, pueden emplearse como dispositivos de almacenamiento del excedente de energía eléctrica, obtenida a través de fuentes renovables. Es bien conocida la intermitencia que poseen los recursos renovables, ya que no siempre se cuenta con la luz del sol ni tampoco con una velocidad de viento suficiente para poner en funcionamiento las palas de un aerogenerador. También se sabe que hay momentos a lo largo del día en que hay gran disponibilidad de energía, que, de no ser utilizada o acumulada, debe darse por perdida. Un ejemplo puntual de este hecho es cuando los habitantes de una casa se van a descansar, por la noche, y si contaran con un generador eólico, esa energía podría almacenarse en forma de hidrógeno. Es allí donde los electrolizadores actuarían como un mecanismo de almacenamiento que produce hidrógeno a partir del agua. En otras palabras, transformarían la energía eléctrica en energía química (contenida en el hidrogeno) que luego será utilizada según demanda en una pila a combustible.

El empleo de estos equipos permitiría, entonces, hacer un uso más eficiente de los recursos renovables disponibles. El hidrógeno obtenido mediante esta vía podría satisfacer la demanda energética cuando el recurso renovable no esté disponible o transportarlo a lugares remotos que no posean acceso a algún tipo de fuente. Para dar un ejemplo puntual de esta situación mencionaremos el caso de China, que en el año 2016 según datos reportados por la Administración Nacional de Energía, se determinó que, en el noroeste del país, de 28.7 x 10^9 kWh generados aproximadamente, el 20 por ciento no se utilizó, y en otros sectores, este porcentaje ascendió por encima del 30 por ciento (Chi y Yu, 2018). Estos datos dejan de manifiesto que el desarrollo de la electrolisis del agua es una muy

buena opción para realizar un máximo aprovechamiento del excedente de los recursos provenientes de fuentes renovables como son la energía solar y la eólica.

Un electrolizador es un dispositivo que permite separar el agua (H_2O) en hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) haciendo uso de corriente continua. Una celda de electrólisis básica (Figura 1) está constituida por dos electrodos, un diafragma o membrana y un líquido conductor. Los electrodos, por lo general, son de un metal plano o de placas de carbono y el líquido conductor, llamado electrolito, es donde los electrodos se sumergen (Kecebas et al., 2019). La corriente fluirá desde el electrodo positivo (el ánodo) al electrodo negativo (el cátodo) cuando la fuente de alimentación de corriente continua este conectada a estos electrodos. Es decir que los electrones fluyen desde la terminal negativa de la fuente de alimentación al cátodo, en donde los electrones son consumidos por los iones hidrógeno (protones) para formar el H_2. Para mantener la carga eléctrica, los iones hidróxido se transportarán a través de la solución electrolítica al ánodo. En ese electrodo, los iones hidróxido cederán electrones, se formará el O_2 y los electrones regresarán a la terminal positiva de la fuente de alimentación de corriente directa, cerrando el circuito (Zhang y Zeng, 2010).

FIGURA 1: ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UNA CELDA DE ELECTROLISIS BÁSICA.



Esto deja de manifiesto que el principio de la electrolisis alcalina de agua es bastante simple. Aplicando una corriente continua al agua, se separan y obtienen H_2 y O_2 como se muestra en las siguientes ecuaciones químicas:

$$\text{Cátodo: } 2H_2O + 2e^{1-} \rightarrow H_2 + 2\,OH^{1-}$$

$$\text{Ánodo: } 2\,OH^{1-} \rightarrow \tfrac{1}{2}\,O_2 + H_2O + 2e^{1-}$$

$$\textbf{Reacción global: } H_2O \rightarrow H_2 + \tfrac{1}{2}\,O_2$$

Dado que la electrolisis es un fenómeno que sucede en la superficie de los electrodos, desde la DIDER se estudió el incremento de su área activa por medio de la incorporación de una geometría particular sobre su estructura a través de mecanizado. Esta geometría fue la recto-paralela y permitió incrementar la superficie del electrodo en un 50 por ciento lo que mejoró el desempeño de los dispositivos aproximadamente al doble (Lavorante y Franco, 2016). Luego se investigó sobre las distancias a las cuales se deberían colocar esos electrodos, teniendo en cuenta la relación estequiométrica de los productos. Por lo tanto, el cátodo se encontrada casi al doble de distancia del

diafragma que el ánodo. Los resultados evidenciaron que la densidad de corriente se incrementaba aproximadamente en un 33 por ciento, lo que incrementa una vez más, la eficiencia de los dispositivos (Lavorante et al., 2019). Se evaluó también el uso de Zirfon® como material para el diafragma, lo que mostró incrementar la resistencia del sistema aproximadamente en un 15 por ciento si se lo compara con otro que no posee una barrera física (Lavorante y otros, 2014). Se puso a punto el procedimiento para llevar a cabo una técnica analítica, la titulación conductimétrica, para determinar la capacidad de intercambio iónico de determinados materiales que pueden emplearse en este tipo de dispositivos (Lavorante y Franco, 2017).

En el área de la Defensa los electrolizadores están siendo utilizados para producir hidrógeno in situ en áreas remotas donde se emplean vehículos aéreos no tripulados (UAV) que son propulsados por pilas a combustible. Dado que las pilas proveen una mejor confiabilidad y requieren de poco mantenimiento, los sistemas UAV operan por más tiempo que con otro tipo de baterías y con beneficios adicionales como su baja temperatura, libre de ruido y sin emisiones (Szymanski y otros, 2017).

El Laboratorio de Investigación de la Fuerza Aérea estadounidense y el Centro de Tecnologías de Transporte Avanzado de Hawaii estableció un acuerdo que tiene por objetivo central, evaluar las tecnologías del hidrógeno. Para ello estableció un Centro Nacional de Demostración en la base Hickam de la Fuerza Aérea en la que se prueban los equipos de apoyo para la Fuerza, en recursos básicos del aeródromo, en infraestructura y en flotas de vehículos terrestres. Este centro posee, además, una estación de combustible hidrógeno que cuenta con dos electrolizadores para asegurar el suministro (Carlin, 2010).

El proyecto llevado a cabo en la base de entrenamiento de Fuerzas Conjuntas: Los Alamitos (California, Estados Unidos) tiene por objeto la evaluación de la generación de energía a través de paneles solares, obtención de hidrógeno por medio de un electrolizador y su uso en pilas a combustible (Carlin, 2010).

La empresa Hydrogenics, con sede en Canadá, firmó un contrato para fabricar un sistema regenerativo de energía basado en pilas a combustibles, que será utilizado como sistema de respaldo para un vehículo blindado ligero Stryker del ejército de los Estados Unidos. Este sistema posee un electrolizador para producir hidrógeno que luego se almacena y es suministrado a la pila a combustible cuando lo necesita. El área de Defensa es la primera en adoptar este tipo de tecnología ya que su implementación elimina la necesidad de llevar combustible adicional en el desarrollo de sus actividades diarias, en el terreno (Hydrogenics, 2005).

Producción biológica

Desde el año 2011 la DIDER trabaja en colaboración con la Dirección de Investigación de la Armada (DIIV), en el desarrollo de métodos biológicos de digestión anaeróbica para la producción de hidrógeno.

La digestión anaeróbica consiste en un proceso en el que ciertos microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Se produce energía para el microorganismo y metano (CH_4) junto con otros productos entre los que se encuentra el H_2 (Martínez et al., 2011). Se obtiene el denominado biogás, que es una mezcla de múltiples compuestos, entre los que se encuentran el dióxido de carbono, el amoniaco y el ácido sulfhídrico pero en el cual el compuesto mayoritario es el metano. Es importante destacar que el gas hidrógeno es solo un intermediario en el proceso fermentativo y que en su mayor parte será consumido para producir metano. Por lo tanto, si se desea que el gas hidrógeno sea el producto final del proceso se debe intervenir en la digestión anaeróbica de modo de interrumpir la metanogénesis. Como consecuencia, tendra lugar el proceso denominado fermentacion oscura, cuyo producto mayoritario es el H_2.

La digestion anaerobica es llevada a cabo por bacterias estrictamente anaerobias y anaerobias facultativas. Estas comunidades bacterianas, llamadas consorcios, logran degradar la biomasa, y los desechos de algunas son sustrato para otras. Las bacterias productoras de H_2 representan un grupo particular en dichos consorcios microbianos. Esto indica que la producción de hidrógeno biológico, se encuentra asociada a la degradación de la materia orgánica fermentada.

Si se utiliza biomasa de segunda generación, la producción de hidrógeno, a través de procesos de fermentación, es económicamente factible, ya que parte de un sustrato de bajo costo y que no compite con la producción de alimentos. Como ejemplos de este tipo de biomasa, podemos citar a los desechos orgánicos provenientes de los municipios y de las industrias y, en particular, de la industria alimenticia, desechos ricos en glúcidos como son los de manzanas, harina de maíz y trigo, zanahorias y papas (Argun et al., 2017). En la Argentina, entre las cadenas productivas de valor agroindustrial pueden encontrarse las siguientes: manzana y pera, fruta de carozo, cítricos dulces, oleaginosa, láctea, azucarera y vitivinicultura. Es decir que la producción de hidrógeno biológico podría tener un considerable impacto positivo en las economías regionales de nuestro país.

Algunas contribuciones realizadas en la división, relacionadas con la temática son:

> Evaluación de la producción de hidrógeno empleando: barros de una planta de tratamiento de aguas servidas, tierra de campo y compost, como fuente de microorganismos (Martínez y otros, 2011).
> Identificación de parámetros clave para el proceso. Para ello se ejecutaron ensayos que permitieron evaluar la respuesta de los microorganismos presentes en los barros antes mencionados a distintas condiciones de trabajo (temperatura, fuentes de carbono, congelamiento, pH inicial, entre otros) (García, 2013).
> Desarrollo de un nuevo método para determinar el porcentaje de hidrógeno en una mezcla de gases que hace uso de una pila a combustible de membrana de electrolito polimérico (Martínez y otros, 2012).
> Escalado de la producción en un biorreactor de cinco litros (Gerosa y otros, 2017).
> Análisis genético de los microorganismos presentes en el biorreactor durante la fermentación a través de la secuenciación genética de alto rendimiento de la región V3-V4 del gen 16S rRNA. Trabajo que se realizó en colaboración con la Unidad de Genómica del Instituto de Biotecnología del INTA, Castelar.

Recientemente, la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable (EERE) del Departamento de Energía (DOE) anunció una colaboración con el Centro de Sistemas de Vehículos Terrestres del Ejército de Estados Unidos, del Departamento de Defensa (DOD) y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército para desarrollar y evaluar un camión para socorrer en situaciones de emergencia alimentado con pilas a combustible hidrógeno: H2Rescue (Office of Energy & Renewable Energy, 2019).

Asimismo, para destacar la importancia que tendrá este combustible en el futuro, puede resaltarse el hecho de que Estados Unidos (United States Department of Energy, 2019), la Unión Europea (European Union, 2018) y China (Zhang y Cooke, 2010). poseen programas de investigación y desarrollo sobre estas tecnologías.

Almacenamiento de Energía

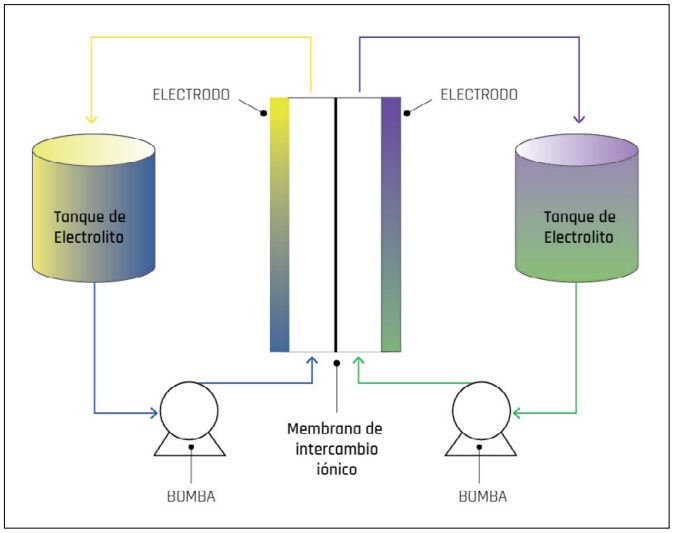
Baterías de Flujo Redox

Las baterías de flujo redox están diseñadas para convertir y almacenar energía eléctrica en energía química y suministrarla en forma controlada cuando es necesario. La energía es almacenada en las especies oxidadas y reducidas que circulan a través de ella (Ponce de León y otros, 2006).

El concepto de este tipo de baterías se originó en los años 70, para ser empleadas en pequeños sistemas de generación y de distribución de energía eléctrica, con el objeto de acumular la energía excedente y luego ser entregada en los momentos en que la generación es insuficiente (Chen y otros, 2017).

Las baterías de flujo utilizan dos pares redox solubles, como especies electroactivas, que se oxidan y se reducen para almacenar o entregar energía. Los electrodos se encuentran separados mediante una membrana de intercambio iónico, mientras que las especies electroactivas, contenidas en tanques separados, recirculan a través de la celda. Es allí, donde tienen lugar las reacciones electroquímicas de reducción y oxidación.

FIGURA 2: ESQUEMA BÁSICO DE UNA BATERÍA DE FLUJO REDOX



La Figura 2 es el esquema básico de este tipo de batería, en donde el sitio donde ocurren las reacciones se encuentra dividido por una membrana y cada compartimento está conectado a un tanque de reserva y una bomba que recircula el electrolito (Soloveichik G.L, 2015).

Una batería de flujo redox de vanadio (VRFB) está compuesta por un electrolito líquido que es bombeado a través de la celda. Dado que los principales estados de oxidación del vanadio son: +2, +3, +4 y +5, le permite emplearse como electrolito tanto en el ánodo como el cátodo de la batería. El electrolito utilizado en el compartimento del electrodo negativo consiste en una solución acuosa de ácido sulfúrico (H_2SO_4) con las especies iónicas V^{3+} (+3) y V^{2+} (+2), mientras que, en el compartimento del electrodo positivo, contiene las especies VO_2^+ (+5) y VO^{2+} (+4) también en una solución acuosa de H_2SO_4 (Choi y otros, 2017). Las reacciones electroquímicas que se desarrollan se indican a continuación:

$$\text{Electrodo negativo: } V^{3+} + e^{-1} \underset{\text{Descarga}}{\overset{\text{Carga}}{\rightleftarrows}} V^{2+}$$

$$\text{Electrodo positivo: } VO^{2+} + H_2O + e^{-1} \underset{\text{Descarga}}{\overset{\text{Carga}}{\rightleftarrows}} VO_2^{+} + 2H^{+}$$

$$\text{Reacción global: } V^{3+} + VO^{2+} + H_2O \longleftrightarrow V^{2+} + VO_2^{+} + 2H^{+}$$

Durante la descarga, los electrones son removidos del compartimento anódico y transferidos a través de un circuito externo al compartimento catódico. El flujo de electrones se invierte durante la carga. La cantidad de electrolito define la capacidad energética de la batería, mientras que su potencia queda establecida por el tamaño y la cantidad de celdas.

En la DIDER nos encontramos trabajando sobre el modelado numérico de baterías de flujo redox de tipo vanadio. A través de modelos computacionales validados, se podrá simular el compor-

tamiento de estos sistemas, previo a su fabricación, de forma de poder fijar variables constructivas, y reducir tiempos y costos. En puntual se está investigando sobre la geometría interna de los electrodos para mejorar su eficiencia.

Los sistemas de almacenamiento electroquímico de energía tienen una fuerte presencia en el ámbito de la defensa, dado que son escalables, apilables en contenedores y de operación silenciosa. Como ejemplos puntuales de su aplicación podemos citar los siguientes proyectos:

La marina de los Estados Unidos ha incorporado en su equipo móvil de soporte ***(MUSE)*** el uso de estas baterías en Puerto Hueneme, California. El objetivo era optimizar el consumo de energía en bases militares y en otros tipos de instituciones. Las tres baterías brindarían una capacidad total de 150 kWh y un almacenamiento de 600 kWh de electricidad (Colthorpe, 2014).

En la Estación Aérea del Cuerpo de Marines ***(MCAS)*** Miramar, también se instalaron baterías de flujo para el almacenamiento de energía proveniente de otras fuentes (solar, turbina de gas, diésel, biogás). Este sistema fue adicionado, luego de un corte general de suministro eléctrico en la región de San Diego en el año 2011, que dejó a la base militar sin energía durante 8 horas. Esto pudo concretarse como el resultado de la interacción de distintas entidades como: la Estación Aérea del Cuerpo de Marines Miramar, el Comando de Ingeniería Naval y el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, entre otros (Wood, 2008).

Otro proyecto consiste en un contenedor estacionado detrás de un edificio de la Reversa del Ejercito en Fort Devens, Massachusetts. La batería obtiene energía que sale de la red, en momentos de bajo consumo, almacenándola y luego la suministra en las horas pico. De esta forma se asegura cubrir la demanda de forma continua (Gellerman, 2017).

A lo largo de este trabajo no solo se pudo presentar el trabajo que esta realizando la DIDER sino también su vinculación con el desarrollo de tecnologías de directa aplicación para el ámbito de la Defensa Nacional.

Referencias

- Noor S. y Siddiqi M.W, (2010). Energy consumption and economic growth in south Asian countries: a co-integrated panel analysis. Proceedings of the World Academy of Science, Engineering and Technology, 67, 251–256.
- Momirlan M. y Veziroglu T.N, (2005). The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a cleaner planet. International Journal of Hydrogen Energy, 30, 795–802.
- Ahluwalia R.K. y Peng J.K, (2009). Automotive hydrogen storage system using cryoadsorption on activated carbon. International Journal of Hydrogen Energy, 34, 5476–5487.
- Mazloomi K. y Gomes C, (2012). Hydrogen as an energy carrier: Prospects and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 3042-3033.
- Dincer I. y Rosen M.A, (2011). Sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems. Energy for Sustainable Development, 15, 137–146.
- Lavorante M.J., Fasoli H.J., Franco J.I. y Sanguinetti A.R, (2013). Pilas a combustible y tecnología del hidrógeno en la Argentina. Proceedings del 4to Congreso de Latin American Energy Economy, página 12.
- Ren H., Lee H.S. y Chae J, (2012). Miniaturizing microbial fuel cells for potential portable power sources: promises and challenges, Microfluid. Nanofluid, 13, 353–381.
- Chi J. y Yu H, (2018). Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production. Chinese Journal of Catalysis, 39, 390-394.

- Keçebaş, A., Kayfeci, M., y Bayat, M. (2019). Electrochemical hydrogen generation. Solar Hydrogen Production, 299–317.
- Zeng K. y Zhang D, (2010). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. Progress in Energy and Combustion Science, 36, 307–326.
- Lavorante M.J. y Franco J.I (2016). Performance of stainless steel 316L electrodes with modified surface to be use in alkaline water electrolyzers. International Journal of Hydrogen Energy, 1-7.
- Lavorante M.J., Reynoso C.Y. y Franco J.I, (2019). Straight-Parallel Electrodes and Variable Gap for Hydrogen and Oxygen Evolution Reactions. Hindawi, International Journal of Electrochemistry Volume 2019, Article ID 5392452, 11 páginas.
- Lavorante, M.J., Franco, J.I., Bonelli, P., Imbrioscia, G.M., y Fasoli, H. J, (2014). Zirfon® as Separator Material for Water Electrolysis Under Specific Conditions. International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2013), 225–231.
- Lavorante M.J. y Franco J.I, (2017). Conductometric Titration for the Prediction of Conductivity in Solutions with Polymeric Membranes. Journal of Electronic Science and Technology, 15, 342-350.
- Szymanski S., Osenar P. y Reid C, (2017). Remote hydrogen refueling for unmanned aerial vehicles. Citado el 27 de marzo de 2020. file:///C:/Users/mjlav/OneDrive/Documents/2018/TEC1000/Ballard%20White%20Paper%20-%20Remote%20Hydrogen%20refueling%20for%20UAVs%20-%20June%202017.pdf
- Carlin R, (2010). Brief to Hydrogen Technology Advisory Group. Citado el 6 de marzo del 2020. https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/htac_feb_23_10_dod_update.pdf
- Hydrogenics Corporation (2005). Hydrogenics fuel cell for US Army armored vehicle, Purolator truck. Fuel Cells Bulletin, 7.
- Martinez V.L., Garcia R.E., Curutchet G.A. y Franco J.I, (2011). Selección de consorcios bacterianos naturales para la producción de hidrogeno biológico. Actas del 4to Congreso Nacional – 3er Congreso Iberoamericano Hidrogeno y Fuentes Sustentables de Energía- HYFUSEN 2011, 01-118.
- Argun H., Gokfiliz P. y Karapinar I, (2017). Biohydrogen Production Potential of Different Biomass Sources. Biohydrogen Production: Sustainability of Current Technology and Future Perspective. s.l.: Springer India, 11-48.
- Garcia ,R (2013). Producción biológica de hidrógeno a través de la fermentación de materia orgánica. Tesis de grado de la Universidad Nacional de San Martin.
- Martinez V.L., Garcia R.E., Curutchet G., Sanguinetti A., Fasoli H.J. y Franco J.I, (2012). Demonstration of the possibility to power a fuel cell with hydrogen derived from the fermentation of sugar. International Journal of Hydrogen Energy, 37, 14920-14925.
- Gerosa F., Garcia R.E., Daneri F., Cabezas M.D., Martinez V.L. y Franco J.I, (2017). Uso de pretratamiento y nuevo buffer para optimizar la producción de hidrógeno biológico. Avances en Ciencia e Ingeniería, 8, 39-49.
- Office of Energy & Renewable Energy. Energy.Gov. U.S. Department of Energy and U.S. Army Collaborate to Develop Hydrogen Fuel Cell Vehicle Technology for Emergency Disaster Relief. Citado el 27 de marzo de 2020. https://www.energy.gov/eere/fuelcells/articles/us-department-energy-and-us-army-collaborate-develop-hydrogen-fuel-cell. United States Department of Energy. Hydrogen Fuel Cells Program. Citado el 25 de marzo de 2020. https://www.hydrogen.energy.gov/h2_fuel_initiative.html.
- European Union: public - p rivate partnerships. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking. Citado el 23 de marzo de 2020. https://www.fch.europa.eu/
- Zhang F. y Cooke P, (2010). Hydrogen and Fuel Cell Development in China: A Review. Journal European Planning Studies, 18, 1153-1168.

- Ponce de Leon C., Frias-Ferrer A., Gonzalez-Garcia J., Szanto D.A. y Walsh F.C, (2006). Redox Flow cells for energy conversión. Journal of Power Sources, 160, 716-732.
- Chen R., Kim S., y Chang Z, (2017). Redox Flow Batteries: Fundamentals and Applications. Redox - Principles and Advanced Applications. 103-118.
- Soloveichik G.L, (2015). Flow Batteries: Current Status and Trends. Chemical Reviews, 115, 11533-11558.
- Choi C., Kim S., Kim R., Choi Y., Kim S., Jung H. y Kim, H.T, (2017). A review of vanadium electrolytes for vanadium redox flow batteries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 263–274.
- Colthorpe, A, (2014). Vanadium Flow batteries by Imergy selected for US Navy Smart Microgrid trial. Citado el 5 de abril del 2020. https://www.energy-storage.news/news/vanadium-flow-batteries-by-imergy-selected-for-us-navy-smart-microgrid-tria
- Wood R, (2008). NREL enhances energy resiliency at Marine Corps Air Station Miramar. Citado el 5 de abril de 2020. https://www.nrel.gov/energy-solutions/partner-mcas-miramar.html
- Gellerman B, (2017). A novel liquid battery could hold potential for unlimited energy storage. Citado el 10 de abril de 2020. https://www.wbur.org/bostonomix/2017/01/09/vanadium-liquid-energy-storage

2.5

Instrumentación electrónica para sensado en vuelos estratosféricos

Por Daniel A. Pastafiglia, Adrián G. Stacul, Ariel Dalmas Di Giovanni, Martín E. Morales, Sergio G. Saluzzi y Gerardo D. Garcia

Resumen

El trabajo consiste en la implementación de una unidad electrónica de medición y el análisis de los resultados producto de los vuelos que realizó el planeador estratosférico Perlan II en la ciudad de El Calafate, Argentina. Este planeador aprovecha el fenómeno natural de las ondas de montaña para que pueden ser navegadas tal cual se surfea una ola marítima, brindando al aeroplano la posibilidad de aumentar su altura sin necesidad de utilizar propulsión. Este tipo de vuelos permiten alcanzar alturas que sobrepasan la tropósfera y se introducen dentro de la estratosfera.

Instrumentación electrónica, sensado inercial, arquitectura ARM

Tipo de trabajo
Artículos basados en informes técnicos finales de proyectos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica y proyectos de transferencia.

Eje temático
Procesamiento de señales digitales – Instrumentación de sensores – Vehículos no tripulados

Introducción

El Proyecto Perlan (Perlan Project Inc., 2019) propone explorar los ondas de montaña y estudiar los bordes del espacio. Ya que las ondas de montaña son un fenómeno natural que se puede navegar tal cual se surfea una ola marítima, estas dan a la aeronave la posibilidad de aumentar su altura sin necesidad de utilizar propulsión. Esto permite alcanzar alturas que sobrepasan la tropósfera y se introducen dentro de la estratosfera. Estos fenómenos se dan en las cercanías de los polos terrestres, por lo tanto, se escogen lugares de vuelo específicos para realizar dichas experiencias. A tal fin, este proyecto posee un planeador tecnológicamente apto para poder operar en dichas condiciones extremas en que la densidad del aire es inferior al 2% de la que se encuentra a nivel del mar.

Adicionalmente, el proyecto promueve la incorporación de experimentos de terceros como universidades, institutos de investigación, entre otros, de distintas partes del mundo, para aprovechar los vuelos y registrar magnitudes físicas en cada ocasión. En concordancia con lo antedicho, el Laboratorio de Técnicas Digitales del Departamento de Electrónica Aplicada del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF) (Argentina - Ministerio de Defensa, s.f.), recibió una invitación para abordar en el aeroplano del proyecto Perlan II un experimento para ser sometido bajo ensayo durante los vuelos realizados en la ciudad de El Calafate, Argentina.

En función de la experiencia y los avances que el Laboratorio de Técnicas Digitales tuvo en la ejecución de múltiples proyectos PIDDEF[1] con la temática de instrumentación electrónica de a bordo, fue que se destinó al experimento una Unidad de Instrumentación (UI) con capacidad de medición y registro de parámetros inerciales y de posicionamiento vía GPS. A su vez, como herramienta para procesar la información se utilizó un puesto terreno con distintas aplicaciones de software para realizar el tratamiento de los datos crudos, graficarlos y facilitar su análisis.

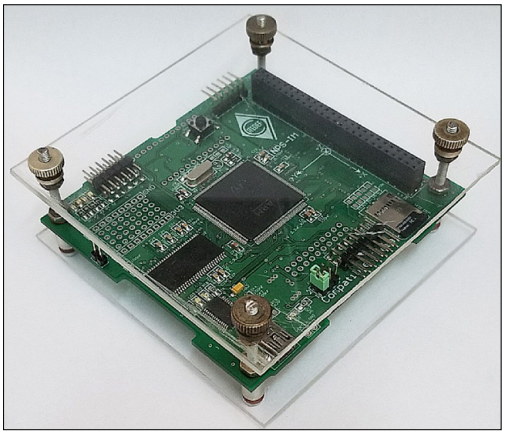
Este trabajo tuvo que ser previamente re-adecuado debido a las normativas impuestas por el proyecto Perlan II para poderlo abordar en su planeador. Las exigencias, entre ellas altas altitudes y muy bajas temperaturas, alcanzadas por el planeador están muy por encima de las que se pueden evaluar mediante una aeronave tradicional u otra experiencia similar.

Desarrollo

Unidad de instrumentación:

La unidad de instrumentación está basada en un microprocesador Cortex-M4 con arquitectura ARM, de la firma *STMicroelectronics* (STMicroelectronics, 2020), un conjunto de sensores y periféricos necesarios para el registro de datos y comunicaciones con otros módulos de hardware. El microcontrolador es el encargado de administrar cada sensor, armar un mensaje de datos y almacenarlos en una memoria del tipo microSD. Los sensores incorporados en la UI son: una unidad inercial de medición (con magnetómetros, giróscopos y acelerómetros en tres ejes) modelo MPU9250 (Invense Sense, s.f.) de la firma InvenSense, un sensor acelerómetro triaxial AIS328DQ (STMicroelectronics, 2012), un sensor de temperatura TMP122A (Texas Instruments, s.f.), un sensor magnetómetro triaxial AK8963 (AsahiKASEI, s.f.) y un receptor GPS ET332 (GlobalSat Technology Corporation, 2005).

FIGURA 1 - UNIDAD DE INSTRUMENTACIÓN

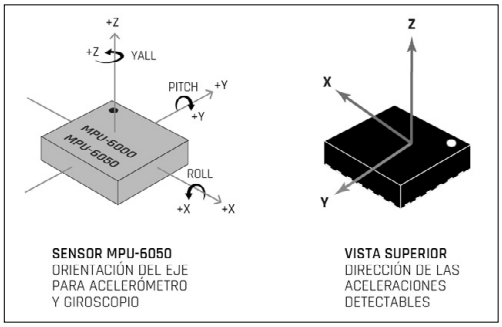


La UI adquiere información de todos los sensores cada 20 micro segundos periódicamente y arma una trama con un formato propietario. Para la administración de los sensores MPU9250, AIS238DQ y TMP122 se dispone de un único bus SPI en modo full dúplex como máster que los comunica hacia el microcontrolador. Para la instrumentación de la memoria MicroSD se dispone de un bus SDIO de 4 hilos con línea de

1 El Programa de Investigación y Desarrollo para la Defensa (PIDDEF) fue creado en el año 2008 y tiene como objetivo fortalecer la actividad de investigación, desarrollo e innovación mediante proyectos orientados a la obtención de soluciones verificables, demostradores y/o prototipos de nuevas tecnologías o nuevos usos, destinados a mantener, actualizar, incrementar y/o incorporar capacidades para la defensa nacional.

reloj, línea de comandos y detección de inserción de tarjeta. A su vez, cuenta con un intérprete de comandos que posibilita configurar a la unidad y administrar remotamente una memoria MicroSD interna, lo que posibilita la lectura de los datos y su borrado. Para el GPS se dispone de un puerto RS232, y para interactuar con el resto de los módulos se dispone de un bus I2C, un bus CAN, UARTs, un bus SPI y seis puertos GPIO.

FIGURA 2 - DISPOSICIÓN DE LOS SENSORES IMU MPU9250 Y AIS238DQ



La disposición de los componentes en el circuito impreso se definió de tal manera que los sensores del IMU y el acelerómetro compartan un eje en común y estén sobre el mismo eje central y a la misma altura. El sensor del MPU se ubicó en el centro geométrico de la plaqueta electrónica.

Respecto del firmware del microcontrolador, cuenta con un sistema detector y corrector de errores de operación que monitorea las tareas propias y en caso de que la operación esté fuera de lo normal toma acciones correctivas al respecto, por ejemplo: si algún sensor no reporta en tiempo y forma la acción correctiva podrá ser desde forzar el reinicio del mismo, o del periférico asociado de acuerdo al tipo de falla registrada.

TABLA 1 - FORMATO DE LA TRAMA DE SENSORES

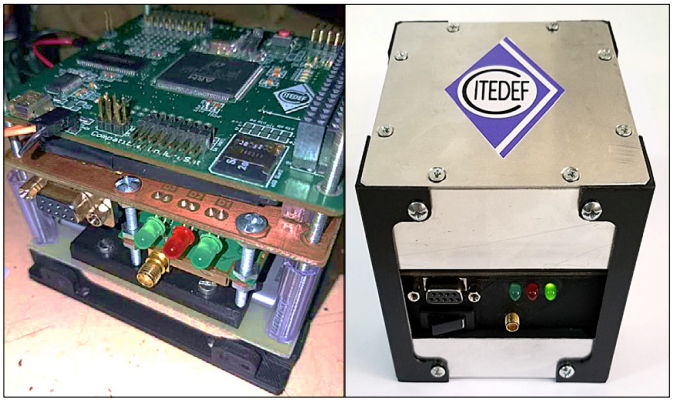
Encabezado	Contador	Hora	Minutos	Segundos	ms
2 bytes	2 bytes	2bytes	2bytes	2bytes	2bytes

Temperatura MPU	Acelerómetro MPU	Giróscopo MPU	Magnetómetro MPU	Acelerómetro AIS	Temperatura TMP
2bytes	2bytes	2bytes	2bytes	2bytes	2bytes

Integración de la UI de acuerdo a la normativa:

La UI se integra en un gabinete con el factor de forma determinado por el proyecto Perlan II, definido en un volumen de 10 centímetros de alto, de ancho y de largo, sin presentar extremidades salientes sobre la estructura como ser tornillos, llaves, conectores, etc., compatible con el estándar CubeStat. Otro aspecto importante a tener en cuenta tiene que ver con la alimentación de la unidad, en la que cada experimento de cada institución debe contar con su propio sistema de alimentación.

FIGURA 3 – VISTA INTERNA Y EXTERNA DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA



En el caso de la UI del CITEDEF, se ha incorporado una batería de Litio-Polímero y un regulador de tensión a tal fin, en el que al tener integrada la batería se dispone de una llave para cortar la alimentación desde un interruptor físico, y cargarse en forma autónoma al momento de conectar el cargador. En la Figura 3 se presenta una vista de la unidad de instrumentación, el receptor GPS, conectores adicionales, la batería y la fuente de alimentación.

Experiencia de vuelo

El Airbus Perlan II es un avión sin motor (o velero) presurizado diseñado para volar en el borde del espacio donde la densidad del aire es inferior al 2% respecto a la del nivel del mar, que, además de su tripulación conformada por dos pilotos, lleva instrumentos científicos necesarios para explorar las ondas de la montaña estratosféricas. La aeronave tiene un peso bruto de 1,800 libras y una envergadura de 84 pies, y su cabina es presurizada.

Durante el ejercicio 2019, desarrolló sus misiones en nuestro país, particularmente en la zona cordillerana del Calafate, y logró una temporada exitosa sobre el alcance de sus objetivos. Entre ellos, el equipo de Airbus Perlan Mission II completó siete vuelos estratosféricos, y alcanzó los 65.000 pies el 17 de septiembre; fue el tercer vuelo más alto de la historia de dicho planeador. Este heroico esfuerzo de todo el equipo demostró que, incluso en condiciones no óptimas, el Perlan II todavía puede volar más alto en la estratosfera. Un fenómeno meteorológico estratosférico no esperado, denominado calentamiento estratosférico repentino, evitó que el planeador alcanzara su récord de altitud mundial este año, y se entendió que el clima es lo que, en última instancia, impulsa un vuelo en alza.

Estos calentamientos estratosféricos se cree que tienen un gran efecto en las circulaciones sensibles al clima del hemisferio sur, como el vórtice polar. Los calentamientos estratosféricos se originan como propagación de ondas desde la tropósfera a la estratosfera, o al menos hay un papel crucial de estas en su desarrollo. Las mediciones atmosféricas recopiladas por Perlan II ayudarán a resolver mejor las causas y los efectos del calentamiento estratosférico repentino y permitirán a los modeladores del clima y el clima predecir con mayor precisión su ocurrencia e interacciones con los sistemas globales y regionales.

Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados se desarrolló una aplicación de software que permite graficar todas las variables físicas de los sensores internos de la unidad de sensado, una vez realizado el downlink de la información. El software también está preparado para agregar otras variables a graficar, y se desarma la trama de información en los diferentes canales presentes para disponer de los datos que se implantarán en los diferentes charts o ser volcados a disco. En las Figura 4, 5, 6, 7 y 8 se muestran algunos de los datos obtenidos en la experiencia.

FIGURA 4 - PERFIL DE ALTURA (METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR)

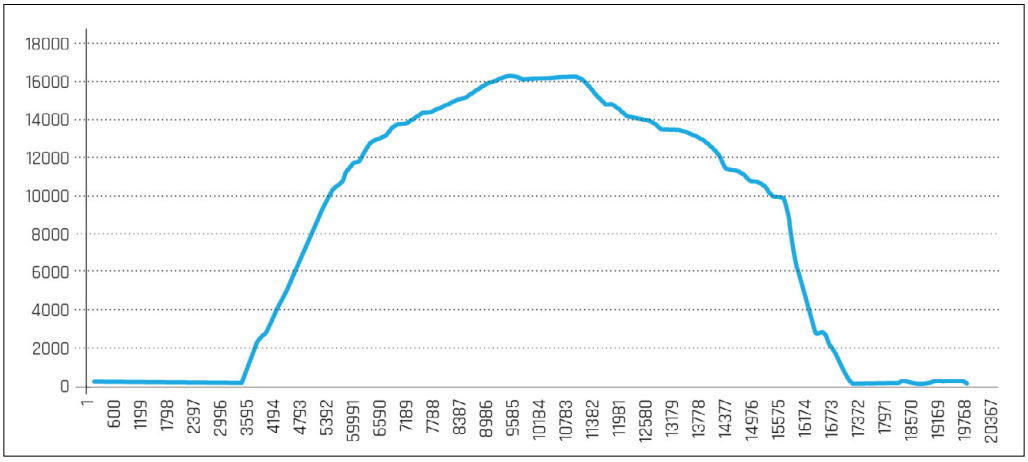


FIGURA 5 - PERFIL DE ACELERACIONES EN TRES EJES (VALORES EN G)

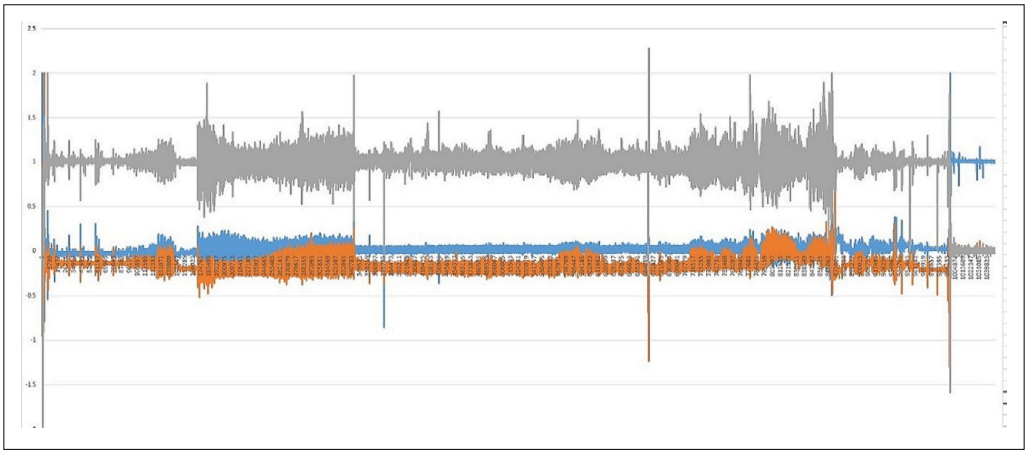
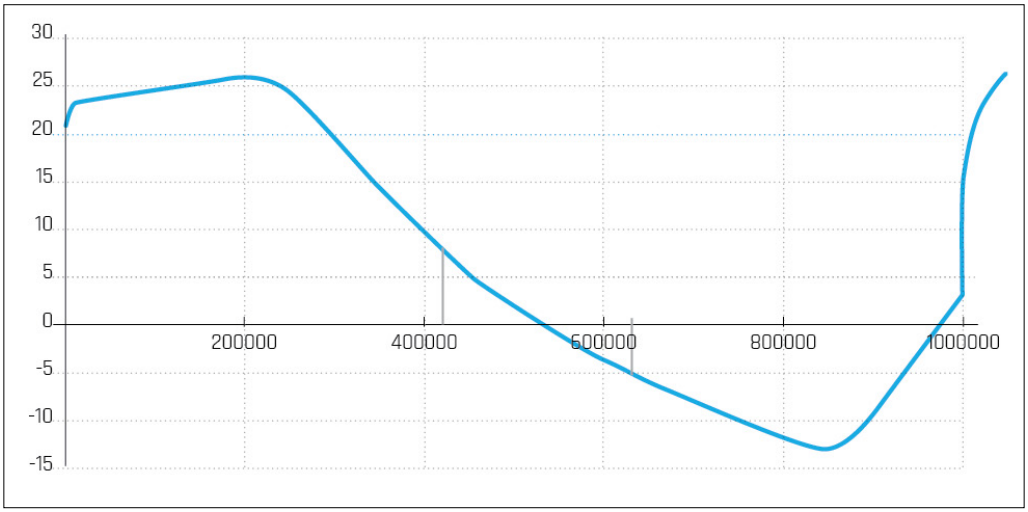


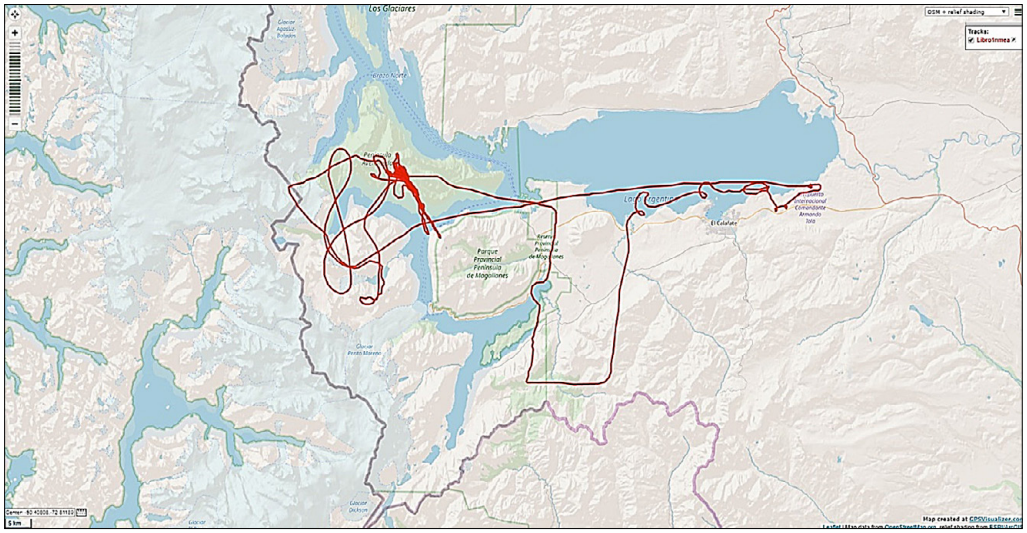
FIGURA 6 - PERFIL DE TEMPERATURA (C°)



Continúa en pagina 306 >

FIGURA 7 - TRAYECTORIA DEL DESPEGUE Y EL ATERRIZAJE

FIGURA 8 - TRAYECTORIA SOBRE CARTOGRAFÍA



Conclusiones

El uso de sistemas electrónicos de adquisición e instrumentación de sensores en aeronaves no tripuladas constituye una potente herramienta para monitorear el estado de la plataforma y realizar el análisis de datos mediante un post-procesamiento en tierra. Sin embargo, se debe tener cuidado al abordar este tipo de plataformas electrónicas y baterías, ya que la exigencia en cada aeronave varía en su complejidad; en este caso se han registrado alturas mayores a 16.000 metros y temperaturas menores a los 15 grados.

Se ha logrado adaptar el diseño y desarrollo de la instrumentación electrónica de sensado en base a las exigencias y requerimientos del proyecto Perlan II. Dicha electrónica ha sido sometida a ensayos de laboratorio previamente a los vuelos en el aeroplano. Luego de que se realizaron las prácticas y vuelos planificados por el proyecto Perlan II, se ha corroborado que los datos han sido adquiridos y almacenados de manera apropiada en el dispositivo desarrollado. De manera paralela realizamos el contraste de los resultados de la electrónica de CITEDEF con los datos de electrónica del propio aeroplano Perlan II (que están disponibles en internet) y hemos encontrado que las formas de onda son equivalentes, pero con la ventaja de que la electrónica desarrollada posee una frecuencia de muestreo superior.

Agradecimientos

Se quiere agradecer especialmente a Sandra Bazgan de Sandercock y a Morgan Sandercock por su disposición, apoyo y la confianza en el CITEDEF y en el equipo de trabajo.

También se quiere agradecer a las autoridades de CITEDEF y al MINDEF por el soporte logístico y de financiamiento para este tipo de iniciativas proyectuales de I+D+i.

Referencias

> GlobalSat Technology Corporation. (2005). *ET-332*. Obtenido de http://www.cerne-tec.com.br/Datasheets/et332.pdf
> Ministerio de Defensa de Argentina. (s.f.). *Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa*. Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/defensa/citedef
> AsahiKASEI. (s.f.). *AK8963*. Obtenido de https://download.mikroe.com/documents/datasheets/ak8963c-datasheet.pdf
> Invense Sense. (s.f.). *MPU-9250*. Obtenido de https://www.invensense.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/
> Perlan Project Inc. (2019). *Perlan Project*. Obtenido de https://perlanproject.org/
> STMicroelectronics. (2012). *AIS328DQ*. Obtenido de https://www.st.com/resource/en/datasheet/ais328dq.pdf
> STMicroelectronics. (2020). *STMicroelectronics*. Obtenido de https://www.st.com/content/st_com/en.html
> Texas Instruments. (s.f.). *TMP122*. Obtenido de http://www.ti.com/product/TMP122

3. EL CEPTM "Grl MOSCONI"

CETPM “Grl. Mosconi” año 2020

INTEGRANTES

Consejo Directivo
> Decano FIE: CY OIM Alejandro Adolfo Köhler
> Dir CEPTM: CR (R) OIM José Alberto Guglielmone
> Vicedecano FIE: TC OIM Alberto Nadale
> Secretario Académico: CR (R) OIM Alejandro Miguel Dal Maso
> Secretario de Investigación: TC OIM Alejandro Peralta

Director CEPTM “Mosconi”
> CR (R) OIM José Alberto Guglielmone

Consejo Consultivo
> CR (R) OIM Juan Carlos Pérez Arrieu
> GB (R) OIM VGM Alberto Corvalán
> Dr. Adrián Canzian
> Dr. Carlos Iglesias Mónica
> CR OIM Miguel Ángel Juárez
> Ing. Arístides Domínguez
> MY(R) Dr. Eduardo Serrano (†)
> Ing. Nicolás Méndez Guerín (†)

Coordinador del CEPTM “Mosconi”
> TC OIM Alejandro Peralta

Analistas
> CR (R) OIM José Alberto Guglielmone: simulación; sistemas artillería de defensa aérea.
> CR (R) OIM VGM Juan Carlos Villanueva: armamento; sistemas de armas de infantería
> CR (R) OIM Rafael Olivieri: informática; sistemas de comunicaciones.
> CR (R) OIM Alejandro Gazpio: geociencias; emergencias y catástrofes; sistemas de armas de ingenieros.
> CR (R) OIM Juan Carlos Pérez Arrieu: prospectiva tecnológica.
> CR (R) OIM Osvaldo Enrique Azpitarte: armas nucleares y radiológicas.
> CR (R) OIM Carlos Trentadue: armas químicas y biológicas.
> MY OIM Marcelo Acuña: automotores.

Antena Territorial de Defensa y Seguridad y Observatorios
> Coordinador: CY (R) OIM Héctor Daniel Anfuso.

Observatorio Tecnológico Militar Mosconi (OTM) de la FIE
> Responsable: CR (R) OIM VGM Juan Carlos Villanueva

Observatorio Emergencias y Catástrofes (OEC) FIE
> Responsable: CR (R) OIM Alejandro Gazpio

Observatorio Tecnológico Aeroespacial (OTA) de la ESGA FAA
> Enlace: BM (R) Alejandro Moresi

Observatorio Argentino del Ciberespacio (OAC) de la ESGC FAA
> Enlace: TC (R) OIM Carlos Federico Amaya

Área Vigilancia Tecnológica e Inteligencia estratégica
> Capacitadora y especialista en VTeIE: Lic. Esp. Nancy Verónica Pérez

Apoyo
> Lic. Ignacio de la Torre
> TT SCD Fernando Vera Batista
> Lic. María I Silvestre

Observadores Tecnológicos
> CT OIM Victor Julián Díaz – Agrimensura (orientación geográfica)
> Sr. Facundo Carlos Pattarone – Automotores
> CT OIM Fernando Daniel Quinodoz – Armamentos
> CT OIM Luciano Damián Morales– Armamentos
> CT OIM Sebastián Moreira – Química

Colaboradores del CEPTM
> TC OIM Walter Allende
> MY (R) OIM Roberto Corti
> GB (R) OIM Dr. Enrique Rodolfo Dick
> Lic Rodrigo López Lío
> CY (R) OIM Marcos Horacio Mansilla
> Lic. Carlos Requena
> Esp Ing Miguel Cuagliano
> CR (R) Med Jorge Ferrero

CETPM "Grl. Mosconi" año 2019

INTEGRANTES

Consejo Directivo
> Decano: GB OIM Aníbal Luis Intini
> Director CEPTM: GB OIM VGM Alberto Corvalán
> Vicedecano: CR OIM Jorge Héctor Gandini
> Secretario Académico: CR OIM Alejandro Miguel Dal Maso
> Secretario de Investigación: TC Alberto Nadale

Director CEPTM "Mosconi"
> GB OIM VGM Alberto Corvalán

Coordinador del CEPTM
> TC Alberto Nadale

Consejo Consultivo
> Dr. Adrián Canzian
> Dr. Carlos Iglesias Mónica
> CR OIM Miguel Ángel Juárez
> CR OIM Hugo Trentadue
> Ing. Arístides Domínguez
> MY Dr. Eduardo Serrano (†)
> Ing. Nicolás Méndez Guerín (†)

Analistas
> GB OEM Norberto Manuel González Pastor: prospectiva tecnológica
> CR OIM José Alberto Guglielmone: simulación; Sistemas de armas de artillería
> CR OIM Juan Carlos Villanueva: armamento; Sistemas de armas de infantería
> CR OIM VGM Fernando López: informática
> CR OIM Alejandro Gazpio: geociencias; emergencias y catástrofes; sistemas de armas de ingenieros
> CR OIM VGM Juan Carlos Pérez Arreiu: electrónica
> MY OIM Alejandro Oscar Peralta: automotores

Antena Territorial de Defensa y Seguridad y Observatorios
> Coordinador: CY OIM Héctor Daniel Anfuso

Observatorio Tecnológico Militar Mosconi (OTM) de la FIE
> Responsable: CR OIM VGM Juan Carlos Villanueva

Observatorio Emergencias y Catástrofes (OEC) FIE
> Responsable: CR OIM Alejandro Gazpio

Observatorio Tecnológico Aeroespacial (OTA) de la ESGA FAA
> Enlace: BM Alejandro Moresi

Observatorio Argentino del Ciberespacio (OAC) de la ESGC FAA
> Enlace: TC OIM Carlos Federico Amaya

Área Vigilancia Tecnológica e Inteligencia estratégica
> Capacitadora y especialista en VTeIE: Lic. Esp. Nancy Verónica Pérez
> Lic. Magalí Minian
> Lic. Ignacio de la Torre
> TT SCD Fernando Vera Batista

Observadores Tecnológicos
> CT OIM Victor Julián Díaz – Agrimensura (orientación geográfica)
> Sr. Facundo Carlos Pattarone – Automotores
> CT OIM Fernando Daniel Quinodoz – Armamentos
> CT OIM Luciano Damián Morales– Armamentos
> CT OIM Sebastián Moreira – Química

Colaboradores del CEPTM
> TC OIM Carlos Amaya
> TC OIM Walter Allende
> MY OIM Roberto Corti
> GB OIM Dr. Enrique Rodolfo Dick
> Esp Lic Rodrigo López Lío
> CY OIM Marcos Horacio Mansilla
> BM Alejandro Moresi
> Lic. Carlos Requena
> CR OEM Mg Bernardo Herrero
> Esp Ing Miguel Guagliano

PRINCIPALES ACTIVIDADES Y EVENTOS DEL CEPTM AÑOS 2019 Y 2020

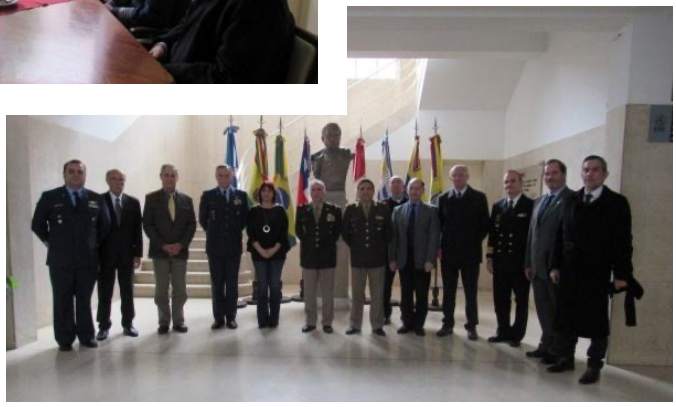
DURANTE EL AÑO ACADÉMICO

Año 2019

> El 23 de mayo de 2019 se firmó la certificación que consolida al CEPTM como Antena Territorial de Defensa y Seguridad (ATDS) desde el año 2016, en el marco del Proyecto "Antenas Territoriales" de la Secretaría de Gobierno de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (SGCTIP) del Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Nación.

> El 2 de julio de 2019 se firmaron los respectivos Convenios de cooperación académica entre:
  > Facultad de Ingeniería del Ejército y la Unidad Académica de Formación Militar Conjunta (Escuela Superior de Guerra Conjunta -ESGC).
  > Facultad de Ingeniería del Ejército y la Facultad de la Fuerza Aérea (Escuela Superior de Guerra Aérea - ESGA).

Con el objeto de estimular el intercambio académico entre el CEPTM (ATDS) y el "Observatorio Argentino del Ciberespacio" (OAC) y el "Observatorio Tecnológico Aeroespacial" (OTA) respectivo a las Sedes Académicas pertenecientes a la UNDEF para la realización de actividades conjuntas que promuevan la cooperación y el mejor aprovechamiento de las capacidades disponibles en sus áreas de competencia.



Participaron en la firma de los convenios: el Decano de la FIE (2019): GB Aníbal Intini, el Decano de la UAFMC: CY Gabriel Camilli, el Decano de la FFA BR (R) Hugo Di Risio, y el Director del CEPTM (2019): GB (R) VGM Alberto Corvalán entre otros invitados.

> El 3 de octubre de 2019 se firmó el convenio marco de cooperación y asistencia recíproca entre la Facultad de Ingeniería del Ejército (CEPTM) y la Fundación "Saber Cómo" (FSC) perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), con el objeto de mantener una permanente cooperación entre ambas instituciones, asistencia técnica e intercambio de datos en temas de interés mutuo.

Participaron de la firma del convenio: el Decano de la FIE (2019) GB OIM Aníbal Intini, el Director del CEPTM (2019) GB (R) VGM Alberto Corvalán y el Presidente de la FSC, Lic. Ricardo Auer.

> En septiembre de 2019 el CEPTM presentó un documento elaborado en colaboración con los Directores de Carreras de Ingeniería y miembros de la Secretaría de Investigación de la FIE en lo referente a tecnologías y objetos de estudio relacionados con la defensa sobre los que se propone realizar Vigilancia Tecnología.

> En noviembre de 2019 se lanzó la Convocatoria abierta a docentes, investigadores, alumnos, personal militar y civil, y a todo otro interesado en temas tecnológicos relacionados con el ámbito de la Defensa para la presentación de trabajos y artículos de interés académico relacionados con la temática de la Tecnología Militar en uso, en desarrollo, emergente o eventualmente de carácter disruptivo, y la Prospectiva Tecnológica Militar, para su inclusión en la Edición 2020 de la revista TEC1000. Los artículos seleccionados a raíz de esta convocatoria forman parte de esta publicación.

https://mailchi.mp/a3f1784c8f31/convocatoria-tec1000-edicin-4727833

Año 2020

> Por Disposición Decanal N° 320/20, de fecha 17 de abril de 2020, se designó como Director del CEPTM al CR (R) OIM José Alberto Guglielmone en reemplazo del GB (R) OIM "VGM" Alberto Corvalán. Asimismo, se hizo cargo de la coordinación del CEPTM el TC OIM Alejandro Peralta en reemplazo del TC OIM Alberto Nadale.

> Durante el mes de junio, la Comisión de Referato interno recibió y seleccionó los artículos a editarse en la publicación TEC1000 2019/2020.

> Entre los meses de abril y noviembre se realizó un informe prospectivo sobre "Defensa Química Biológica y Nuclear – DQBN" Armas de Destrucción Masiva, el cual fue desarrollado por los analistas del CEPTM "Grl Mosconi" y expertos en la temática. El mismo se encuentra editado en esta publicación y paralelamente se confeccionó una versión especial que fue entregada a autoridades del Ejército Argentino.

> El día 16 de diciembre se llevó a cabo una exposición ante el Jefe del Estado Mayor del Ejército, GD Agustín Cejas y Subjefe del Estado Mayor del Ejército, GD Fernando Ros y el Decano de la FIE, CY Alejandro Köhler. La presentación tuvo como eje temático el informe prospectivo "Defensa Química Biológica Nuclear - DQBN"- Armas de Destrucción Masiva producido por el CEPTM durante el año 2020. El objetivo del trabajo netamente académico fue brindar información relevante a decisores y planificadores responsables principalmente de la defensa y la seguridad, teniendo en cuenta que la información, el conocimiento y la preparación son el antídoto para la supervivencia ante un evento con Armas de Destrucción Masiva (ADM).

> Durante todo el año académico 2019 y 2020 se realizaron reuniones semanales de los miembros del Centro e invitados para discutir y compartir conocimiento sobre tecnología para la defensa.

CAPACITACIONES

Año 2019

> El 28 de febrero de 2019 se realizó una charla sobre Vigilancia Tecnológica y Prospectiva: Herramientas para la toma de Decisiones y la Planificación en el IIFA - Instituto de Inteligencia de las Fuerzas Armadas, a cargo del CR (R) OIM "VGM" Juan Carlos Pérez Arrieu, CR (R) OIM "VGM" Juan Carlos Villanueva y la Lic. Magali Minian.

> En los meses de agosto y septiembre de 2019, en el marco del Proyecto de Antena Territorial, el CEPTM realizó en las sedes de la ESGC y de la FIE, una serie de capacitaciones orientadas a alumnos y a formadores relacionadas con la temática "Vigilancia Tecnológica". Estas fueron dictadas por el Director del CEPTM: GB (R) OIM Alberto Corvalán, la Esp. Lic. Nancy Pérez y la Lic. Magali Minian.

> Durante agosto y septiembre de 2019, se realizó por tercer año consecutivo, el Ciclo de Conferencias sobre Tecnología Militar dirigido a Cadetes del tercer y cuarto curso (abierto también a Oficiales) del Colegio Militar de la Nación, con nuevas temáticas:

TEMAS	EXPOSITORES
"VIGILANCIA TECNOLÓGICA Y PROSPECTIVA: Herramientas para la Toma de Decisiones y la Planificación".	GB (R) OIM "VGM" Alberto L. Corvalán (Director CEPTM).
"FUEGOS PRECISOS DE LARGO ALCANCE: Tendencias y proyectos".	CR (R) OIM "VGM" Juan C. Villanueva. (Analista de la Especialidad Armamentos en CEPTM - FIE).
"VEHÍCULOS BLINDADOS: Su vigencia - Tendencias y proyectos".	CY OIM Héctor Anfuso. (Analista de la Especialidad Vehículos Blindados en CEPTM - FIE).
"SISTEMAS DE PROTECCIÓN BALÍSTICA VEHICULAR Y PERSONAL: Tendencias y proyectos".	CT OIM Damián Morales – CT I Fernando Quinodoz. (Observadores Tecnológicos de la Especialidad Armamentos en CEPTM - FIE).
"SISTEMAS DE ARMAS DE COMBATE CERCANO: Tendencias y proyectos".	CR (R) OIM "VGM" Juan C. Villanueva. (Analista de la Especialidad Armamentos en CEPTM - FIE).
"LOS DRONES Y SU EMPLEO MILITAR: Su evolución de los sistemas de reconocimiento a los drones letales"	TC OIM Walter Allende. (Analista de la Especialidad Geográfica en CEPTM- FIE).

> El 10 de septiembre de 2019 se llevó a cabo en el Aula Magna de la FIE una capacitación introductoria sobre la Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Estratégica, organizada por el CEPTM. El tema específicamente desarrollado fue *"Introducción a la vigilancia tecnológica y la inteligencia estratégica - conceptos, herramientas y fuentes de información"*, a cargo de la Esp. Lic. Nancy Verónica Pérez (miembros del CEPTM). Participaron de este evento Maestrandos (maestría en Ciberdefensa y Ciberseguridad) de la Universidad de Buenos Aires, y un concurrido público interesado en la temática.

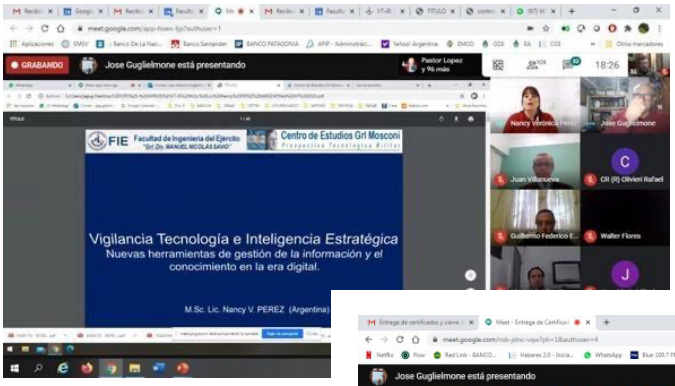
> Durante el mes de noviembre de 2019, el CEPTM organizó una capacitación sobre *Prospectiva Estratégica* con sede en la Escuela Superior de Guerra. La capacitación estuvo a cargo del Lic. Manuel Francisco Marí Castelló – Tárrega, con extensa experiencia en el área. Esta iniciativa permitió reunir a personal representativo de diferentes elementos de la Fuerza, tales como DGPPP, SGE, ESG, DIGID, JEF Planto EMCO, JEF VI EMCO y FIE.

Año 2020

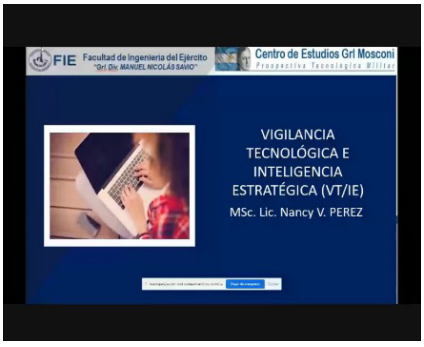
> En el mes de junio de 2020 se realizó un taller virtual introductorio sobre *"Vigilancia Tecnológica"*, orientado a alumnos de cuarto año del curso de formación de Oficial Ingeniero Militar (CFOIM) de la FIE, la capacitación fue dictada por la Esp. Lic. Nancy Pérez con la colaboración de analistas del CEPTM.

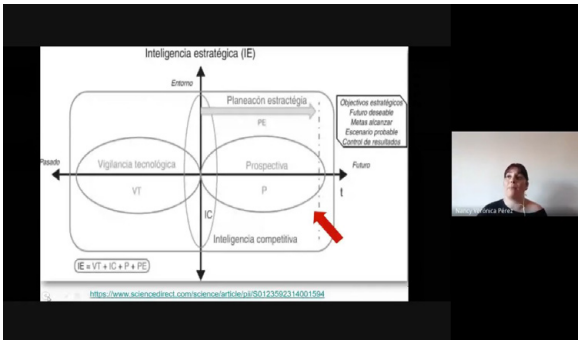
> En el mes de julio de 2020 se desarrolló una capacitación virtual sobre *"Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Estratégica: nuevas herramientas para la gestión de información y conocimiento"* destinada a los Oficiales de la Reserva de las Fuerzas Armadas. Se inscribieron más de 160 reservistas de todo el país. Asimismo, participaron del taller el Decano de la FIE: CY OIM Alejan-

dro Köhler, el Director del CEPTM: CR (R) OIM José Guglielmone y la capacitadora y especialista en la temática Esp. Lic. Nancy Pérez. El día 9 de septiembre se realizó el cierre del taller y entrega de certificados a todos los participantes.



> En el mes de noviembre se desarrollaron unas charlas virtuales de sensibilización sobre Vigilancia Tecnológica destinada a los Oficiales de la Dirección General de Investigación y Desarrollo y a los Cursantes de la Escuela Superior de Guerra Aérea. Las charlas tuvieron lugar a través del Campus Virtual de la FIE los días 3 y 10 de noviembre y contaron con la participación del Decano de la FIE: CY OIM Alejandro Köhler, el Director del CEPTM: CR (R) OIM José Guglielmone, el Director del Observatorio Aeroespacial, BM (R) Alejandro Moresi, y la capacitadora y especialista en la temática Esp. Lic. Nancy Pérez.





PUBLICACIONES

Años 2019 y 2020

> La edición "TEC 1000" año 2018 se terminó de imprimir en agosto de 2020 con un volumen de 75 ejemplares. En esta se presentan los distintos estudios de Vigilancia Tecnológica en el Área de Defensa y Seguridad; elaborados por los Analistas del CEPTM y Observadores Tecnológicos

Se puede acceder a su versión digital mediante el siguiente enlace:
www.fie.undef.edu.ar/ceptm/tec1000/2018.pdf

Esta ha sido registrada
con los siguientes códigos:
ISBN 978-987-46550-5-9
ISSN 2591-4162

> Actualización y nueva imagen de la página web del CEPTM disponible en el siguiente enlace:
https://www.fie.undef.edu.ar/ceptm/

> Miembro activo de la comunidad CEFA Digital. El CEPTM contribuye con material de producción propia al portal electrónico del Repositorio Institucional del Centro Educativo de las Fuerzas Armadas. Acceso a través del link:
http://www.cefadigital.edu.ar/handle/1847939/229.

NEWSLETTERS del Observatorio Tecnológico Mosconi (OTM)

Como es habitual en el CEPTM, se envía todos los meses un newsletter en el cual se difunden las principales noticias seleccionadas por los analistas del Centro Grl Mosconi.

Año 2019

> ENERO

https://mailchi.mp/23fca973e73a/lw5d0r49gm-1589877

Enero 2019

OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y MANUFACTURA ADITIVA EN 2040

La fabricación aditiva (AM) o 3D, es una tecnología emergente con potenciales implicaciones de seguridad local e internacional en el corto y largo plazo. Surgieron dos amenazas de seguridad globales: la proliferación de armas y la inseguridad económica.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

ISRAEL USARÁ ARMAS LÁSER PARA NEUTRALIZAR COHETES Y DRONES

Israel había abandonado hace mas de 10 años, la idea del empleo de las armas Laser para defensa aérea. Sin embargo, la mayoría de los expertos considera que ha sido una decisión equivocada, por lo que ese país ha reiniciado el desarrollo de estos sistemas, como una eficiente alternativa para hacer frente a la amenaza de los cohetes y drones de HAMAS y HEZBOLLAH. Tiempo de reacción, disponibilidad ilimitada y bajo costo por disparo, son los principales fundamentos.

Leer + >>

Share
Tweet
Forward
+1

ARMAMENTOS

GLIDE BREAKER PROGRAM: SISTEMA PARA NEUTRALIZAR ATAQUE DE ARMAS HIPERSÓNICAS.

Hasta la fecha, las grandes potencias como EUA, Rusia y China han destinado sus esfuerzos al desarrollo de armas hipersónicas, dejando la defensa contra las mismas para una segunda etapa. Investigadores de DARPA (Defense Advanced Researcho Project Agency) en EUA, se han lanzado ahora a la búsqueda de tecnologías que sean capaces de neutralizar la amenaza que presentan estas armas. Para ello han convocado a las empresas del sector, a participar de un nuevo programa denominado "Glide Breaker". El mismo incluye el desarrollo y demostración de un sistema interceptor avanzado, capaz de destruir estas armas durante las diferentes etapas de su trayectoria.

Leer + >>

INFORMÁTICA

TECNOLOGÍA DE PRÓXIMA GENERACIÓN: EL INTERNET DE LAS COSAS

Si bien los dispositivos han estado interconectados por Internet durante más de una década, solo estamos rascando la superficie de lo que IoT significa para la cadena de suministro.

Leer + >>

> FEBRERO

https://mailchi.mp/88a3d31fd4c4/lw5d0r49gm-1589905

Febrero 2019

OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

LA IMPRESIÓN 3D PRÓTESIS PARA LA SANIDAD MILITAR

Las víctimas de la guerra amputadas en Jordania están recibiendo prótesis impresas en 3D gracias a un hospital de cirugía reconstructiva de Médicos Sin Fronteras. Esperan permitir que los pacientes recuperen la funcionalidad de las extremidades perdidas a un precio asequible. La impresión 3D ha demostrado ser extremadamente útil para desarrollar prótesis, los resultados no solo se adaptan a cada paciente y son ligeros, sino que también son rápidos y económicos de hacer.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

LA AGENCIA DE DEFENSA DE MISILES OTORGA A LOCKEED MARTIN UN CONTRATO PARA DESARROLLAR UN RADAR DE DEFENSA NACIONAL PARA HAWAI

Lockheed Martin recibió un contrato de $585 millones por parte de la Agencia de Defensa de Misiles (MDA) para diseñar, desarrollar y entregar su Radar de Defensa Nacional-Hawai (HDR- H) en Oahu, Hawaii. El radar HDR-H proporcionará una adquisición autónoma con un seguimiento de precisión y discriminación, para optimizar la capacidad defensiva del Sistema de Defensa de Misiles Balísticos (BMDS) y contrarrestar las futuras amenazas, incluyendo una arquitectura abierta y escalable para una eventual evolución.

Leer + >>

ARMAMENTOS

NEXT GENERATION SQUAD WEAPON: PROGRAMA PARA EL REEMPLAZO DE LAS ARMAS AUTOMÁTICAS DE LAS PEQUEÑAS FRACCIONES

Hace años que el US Army viene explorando alternativas para el reemplazo del sistema básico de arma de asalto de infantería, de la familia M16 / M4, en calibre 5.56mm, así como la ametralladora de apoyo integrada al grupo de tiradores. La última propuesta se orienta a la unificación del fusil y la ametralladora liviana, por una plataforma básica modular, capaz de ser configurada para diferentes alternativas, y que además emplee un solo calibre. Ello permitiría reemplazar a los calibres NATO 5.56mm y 7.62mm, por un calibre intermedio, de la familia de los 6.8mm.

Leer + >>

INFORMÁTICA

RUSIA SE DESCONECTARÁ DE INTERNET COMO PARTE DE UNA PRUEBA PLANIFICADA

El plan de contingencia de internet de Rusia se acerca a la realidad. Antes del 01 de abril hará su primera prueba de desconexión de internet para utilizar su propia internet: RUNET.
Runet, es una gran cantidad de sistemas autónomos registrados por residentes de la Federación Rusa y sus políticas de enrutamiento.

Leer + >>

> MARZO

https://mailchi.mp/8aceafa99248/lw5d0r49gm-1641133

Marzo 2019

OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

ARMAS AUTÓNOMAS - INTELIGENCIA ARTIFICIAL - CIBERGUERRA

Las tecnologías emergentes cambian el carácter de la guerra, conservando los Valores Centrales del Ejercito se necesitan nuevos conceptos, nuevas doctrinas, nuevas organizaciones para explotarlas.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

"OSIRIS" EL NUEVO SIMULADOR PARA MANDOS DEL EJÉRCITO SUIZO

Rheinmetall suministrará un nuevo simulador para entrenar a los líderes militares del Ejército Suizo. Osiris hace posible modelos interdisciplinarios que permiten la representación de entrenamiento tanto para tierra, mar y aire, incluidas las capacidades relacionadas. Puede operarse en varios escalones de la jerarquía militar, con un control altamente automatizado.

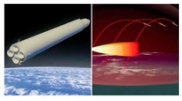
Leer + >>

AUTOMOTORES

PRESENTACIÓN DE UN DRONE TERRESTRE (UGV) CON CAPACIDAD ANTITANQUE:

Las empresas MBDA y MILREM Robotics presentaron el primer UGV con capacidad antitanque. La fusión de ambas empresas permitió que cada una de ellas aportara sus capacidades específicas (MILREM: Plataforma terrestre robotizada – MBDA: Misiles y sistemas lanzadores). La combinación de dos modernas tecnologías dan como resultado un sistema de armas autónomo, con capacidades verdaderamente disruptivas.

Leer + >>

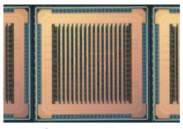


ARMAMENTOS

LAS 5 PRIORIDADES DE MODERNIZACIÓN DE LAS FFAA DE RUSIA.

Influenciado tanto por factores de orden interno como la evolución de la situación internacional, Rusia avanza en un Programa Integral para acelerar la modernización de sus FFAA. Incremento en sus capacidades estratégicas mediante el despliegue de plataformas tierra – mar – aire de lanzamiento de ICBM, sistemas aerospaciales, Inteligencia artificial, Drones, así como renovación de sus capacidades C3I y guerra electrónica, complementado con importantes presupuestos destinados a entrenamiento, son algunos de los puntos claves de ese programa.

Leer + >>



INFORMÁTICA

ASEGURAR EL 'INTERNET DE LAS COSAS' EN LA ERA CUÁNTICA

Chips eficientes permiten que los dispositivos de bajo consumo ejecuten los esquemas de encriptado cuántico más duros de la actualidad.

Leer + >>

Share
Tweet
Forward
+1
Share

> ABRIL

https://mailchi.mp/07e994427777/lw5d0r49gm-1657341

Abril 2019

OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

MILITARIZACIÓN DEL ESPACIO - ARMAS ANTI SATÉLITE MISIÓN SHAKTI, INDIA DERRIBA UN SATÉLITE DE ÓRBITA BAJA

La agencia de investigación del Ministerio de Defensa Indio (DRDO), llevó a cabo el 27 de marzo la destrucción de un satélite de órbita baja, con un misil lanzado desde una isla frente al estado de Odisha (este), convirtiéndose así en el cuarto país del mundo en lograr esta proeza tecnológica. La operación, bautizada "Misión Shakti" ("fuerza" en hindi), duró tres minutos…

Leer + >>

ELECTRÓNICA

ESTARÍAN LISTOS LOS SATÉLITES REPROGRAMABLES

Una nueva generación de satélites están prometiendo un cambio tectónico en las operaciones. La nueva tecnología se interconectará con todos los buses satelitales y sistemas terrestres de la compañía, y serán programable, dijeron los funcionarios de la compañía.
Los mejores satélites actuales "son duraderos, son capaces, pero no evolucionan una vez que son lanzados", dijo Maria Demaree, vicepresidenta y gerente general de soluciones de misión en Lockheed Martin Space. Los satélites emergentes definidos por software, o satélites inteligentes, serán literalmente programables sobre la marcha.

Leer + >>

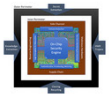
AUTOMOTORES

ARMAMENTOS

FUTURE ARTILLERY - 2018 /2019 GLOBAL MARKET REPORT

Los conflictos de las últimas dos décadas han motivado una revalorización de los Sistemas de Armas de Artillería, como decisivos en el resultado de la Batalla. Por ésta razón, la mayoría de los países implementan Programas de modernización y desarrollo, de sistemas Arma / Munición, cada vez más modulares, con mayores alcances y precisión.
La empresa DEFENSE IQ presenta anualmente un completo informe específico, que incluye los principales Programas y requerimientos de Sistemas de Armas de Artillería a nivel mundial. Presenta además, los inventarios globales de Sistemas de Artillería, discriminados por regiones y por países.

Leer + >>

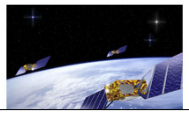


INFORMÁTICA

DARPA BUSCA LOGRAR SEGURIDAD EMBEBIDA EN UN CHIP ESCALABLE

Hasta ahora la seguridad estaba en el software, este programa se enfoca en abordar los desafíos técnicos y económicos asociados con la incorporación de mecanismos de defensa escalables en los diseños de chips.

Leer + >>



> MAYO

https://mailchi.mp/2fb1ef16d8f7/lw5d0r49gm-1670225

Mayo 2019

OTM OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el ***Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi*** *(CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

FIRMA TÉRMICA – LO NUEVO EN CAMUFLAJE MILITAR - TECNOLOGÍAS EEUU y RUSIA

La tecnología de camuflaje militar ha dado grandes pasos en la última década, se han desarrollado muchos conceptos novedosos de camuflaje que incluyen la tecnología de camuflaje de vehículos Adaptiv de BAE Systems, la tecnología de materiales Quantum Stealth de Hyperstealth Biotechnology, el manto de invisibilidad japonés desarrollado por Dr Susumu Tachi, que redirige las ondas de luz alrededor de un objeto, la empresa rusa Rostec.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

EL PROGRAMA DE RADAR DE DEFENSA ANTIMISILES DEL EJÉRCITO DE EEUU, AVANZA A LA COMPETENCIA DE PROTOTIPOS.

El Ejército de los EEUU, lanza una competencia para una propuesta a fin de obtener un nuevo radar de defensa aérea y de misiles. Luego de varios intentos frustrados y a raíz que la defensa aérea ha sido fijada como prioridad, el Ejército planea elegir un proveedor en septiembre, para construir seis prototipos a fines del año 2022 y se espera un contrato para 16 radares adicionales, según la solicitud. Si bien se espera el reemplazo del radar del Patriot, aún las especificaciones técnicas no han sido reveladas.

Leer + >>

AUTOMOTORES

GRIZZLY: EL UGV PARA TRANSPORTE DE CARGA DE LAS TROPAS A PIE

ARMAMENTOS

ARMAS AUTONOMAS CON CAPACIDAD LETAL: Existe un código de Ética para su empleo?

Los dirigentes de las potencias mundiales están convencidos que aquel que lidere el desarrollo de sistemas de armas autónomas con capacidad letal, operando en equipo con los combatientes humanos y con un empleo intensivo de inteligencia artificial (AI), será el que ejerza el Poder Militar Global. Grupos operativos que sean capaces de maniobrar y combatir, coordinando fracciones de soldados y enjambres de Drones aéreos, terrestres y acuáticos, resultarán decisivos para obtener la superioridad en el campo de batalla. Sin embargo, ello trae aparejados severos cuestionamientos, acerca de otorgar a las "maquinas" la capacidad de decidir sobre oportunidad y conveniencia de la acción letal, que puede provocar daños colaterales irreparables. El presente artículo analiza si existe un adecuado Código de Ética para el empleo de Armas Autónomas con capacidad letal.

Leer + >>

INFORMÁTICA

COMO LAS EMPRESAS DE TECNOLOGÍA ESTÁN CONFIGURANDO LAS REGLAS QUE RIGEN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (AI)

Las empresas tecnológicas están tomando un gran interés en las directrices de Europa para la IA (Europe's guidelines for AI) publicadas recientemente por la Comisión Europea.

Leer + >>

> JUNIO

https://mailchi.mp/de08a4b17353/lw5d0r49gm-1680549

Junio 2019

OTM OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el ***Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi*** *(CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LOS PRINCIPIOS DE LA GUERRA

El punto central de la IA es pensar en cosas que los humanos no pueden. Qué sucede cuando la Inteligencia Artificial produce una solución demasiado compleja para ser entendida por los humanos?; Es posible confiar en la computadora para guiar la estrategia?; Se modificará la naturaleza de las decisiones de Comando? . Sera necesario rever los principios de la conducción. Actualmente cada vez que alguien mira una pantalla de radar o sonar, cuenta con un software complicado para interpretar correctamente una gran cantidad de señales que ningún humano puede ver.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

EL EJÉRCITO DE EEUU, SE DIRIGE A LA INDUSTRIA PARA QUE LAS EMPRESAS PUEDAN PROPORCIONAR UNA NUEVA COMPUTADORA DE MISIÓN PARA EL VEHÍCULO DE COMBATE STRYKER

Los expertos del Ejército de EE . UU., están investigando a la industria para encontrar compañías capaces de diseñar una nueva computadora de misión, basada en tecnologías comerciales (COTS), para el vehículo de combate blindado Stryker ECP.

Leer + >>

Share
Tweet
Forward
+1
Share

ARMAMENTOS

EL US ARMY AVANZA EN PROYECTOS DE ARMAS LASER Y MISILES HIPERSONICOS.

En el marco de las prioridades de modernización definidas por el US ARMY, los proyectos relacionados con los sistemas de armas LASER y los misiles Hipersónicos, concentran parte del esfuerzo presupuestario. Es que el nuevo concepto de "Cross – Domain Capabilities", obliga a las distintas Fuerzas a incorporar nuevas capacidades, tales como los Fuegos de Largo Alcance de Nivel Estratégico, que el US Army obtendría al disponer de misiles Hipersónicos.

Leer + >>

INFORMÁTICA

EL PENTÁGONO ESTÁ TRATANDO DE PROTEGER SUS REDES CONTRA DESCIFRADORES DE CÓDIGOS CUÁNTICOS

La Agencia de Sistemas de Información de la Defensa está explorando nuevas estrategias de encriptación que podrían soportar un ataque de computadoras cuánticas.

Leer + >>

EMERGENCIAS Y CATÁSTROFES

DELIVERY DE INSUMOS SANITARIOS CON DRONES

ZIPLINE es una compañía con sede en California, que opera "DRONES" para entregar suministros médicos en áreas con pobre infraestructura como RUANDA. Este país es conocido como la tierra de las mil colinas, por lo que un viaje de 50 km puede llevar más de una hora. Un dron que lleva sangre, realizará el mismo viaje en minutos.

> JULIO

https://mailchi.mp/3c29cbac30e5/lw5d0r49gm-1698629

Julio 2019

OTM OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

NUEVA TECNOLOGIA? – IMPRESIÓN 4D

Aunque aún en la etapa de investigación, la impresión 4D está preparada para transformar el futuro. Al igual que las impresoras 3D, la nueva tecnología de impresión convierte los planos en objetos tridimensionales al construirlos capa por capa. Pero los materiales inusuales, los diseños y los estímulos externos, como el calor, la electricidad, un campo magnético o el agua dan a los objetos impresos en 4D la capacidad de cambiar de forma a algo nuevo.

Skylar Tibbits el científico que originalmente acuñó el término, "impresión 4D", fundó el Laboratorio de autoensamblaje en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. De acuerdo con el informe "4D Printing Market by Material ... de Global Trends & Forecasts to 2019 -2025" , publicado por Marketsand Markets, se espera que el mercado total alcance los 537 millones de dólares para el 2025.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

GRUPO THALES EN PARÍS PRESENTÓ EL RADAR DE CONTROL DE TRÁFICO AÉREO (ATC) STAR NG DE PRÓXIMA GENERACIÓN PARA APLICACIONES MILITARES Y COMERCIALES.

El radar incluye una gran cantidad de nuevas tecnologías que incluyen capacidades duales civiles y militares, lo que hace que el sistema de vigilancia RF sea el sistema de vigilancia por radar más avanzado y eficiente del mundo, afirman los funcionarios de Thales. Es un radar de vigilancia primario de banda S, utiliza el procesamiento de señales digitales para proporcionar una mayor mitigación de la notoria interferencia de RF de los parques eólicos generadores de electricidad, también puede detectar objetivos de movimiento lentos y

ARMAMENTOS

DESARROLLO REVOLUCIONARIO PARA LA ARTILLERÍA DE CAMPAÑA

La compañía noruega NAMMO, ha presentado una munición de artillería de 155mm, con la que se podrían lograr alcances de hasta 100 km. El novedoso sistema dispone, además del propulsante convencional, de un motor del tipo "Air - breathing Ramjet" alimentado por combustible sólido, por similitud a un cohete, que se enciende cuando el proyectil ha alcanzado suficiente velocidad luego del disparo. Es un verdadero "Game-changer" para la artillería de campaña. Según expresara el CEO de Nammo en Eurosatory 2019, podríamos decir que es "como disparar un misil desde un cañón". Este revolucionario desarrollo, que permitiría obtener alcances hoy exclusivos de los sistemas autopropulsados, podría estar operativo para el año 2024.

Leer + >>

AUTOMOTORES

ARMORED MULTI PURPOSE VEHICLE (AMPV), ESPERADO REEMPLAZO DEL VC M113.

El programa relacionado con el reemplazo del afamado vehículo de transporte de tropas VC M113, con más de 60 años de servicio en el US Army y en decenas de países, ha llegado a su etapa de producción inicial por la empresa BAE SYSTEMS. Su denominación es "Armored Multi-Purpose Vehicle" (AMPV). Sin embargo, una serie de deficiencias detectadas en las evaluaciones operacionales, deben ser solucionadas antes que los primeros 258 vehículos que equiparan a 2 Brigadas sean provistos, lo que se estima ocurrirá en el 2020.

Leer + >>

INFORMÁTICA

LOS PAÍSES DE LA UE SE COMPROMETEN CON LA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN CUÁNTICA.

Los representantes de siete países de la UE acuerdan el desarrollo y despliegue de una infraestructura de

> AGOSTO

https://mailchi.mp/ed8a4dd32b9d/lw5d0r49gm-1721425

Agosto 2019

OTM OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

COMANDO DE FUTUROS DEL US ARMY ASEGURA QUE EL EJERCITO ESTÉ ARMADO CON ULTIMA TECNOLOGÍA

Como el principal brazo de ciencia y tecnología (S&T) del Ejército, el Comando de Desarrollo de Capacidades de Combate del Ejército de los EE. UU. (CCDC) consta de siete centros, el Laboratorio de Investigación del Ejército de EE. UU. (ARL) y un equipo de científicos e ingenieros que descubren, desarrollan y entregan tecnología a corto, mediano y largo plazo; realizar investigaciones y experimentos en infraestructuras de vanguardia, utilizando laboratorios y equipos avanzados; y tiene una larga historia de trabajo con cientos de socios académicos e industriales nacionales e internacionales para resolver algunos de los problemas más difíciles del Ejército.

Leer + >>

AUTOMOTORES

EL JLTV (JOINT LIGHT TACTICAL VEHICLE) LISTO PARA EL COMBATE EN EL CUERPO DE US MARINES

Finalizada la etapa de exhaustivos ensayos técnicos y operacionales al JLTV (Joint Light Tactical Vehicle), esperado reemplazo del reconocido HUMMER, han sido desplegados en las unidades operativas el US Marines los primeros vehículos. Este ambicioso proyecto, que prevé convertirse en el Vehículo Liviano de Empleo Común de todas las Fuerzas de ese país, aporta mejores condiciones de protección, maniobrabilidad, conectividad y facilidades de mantenimiento a las fuerzas desplegadas en el terreno.

Leer + >>

Share
Tweet
Forward
+1

ARMAMENTOS

DESARROLLO DE MOTORES COHETE FABRICADOS CON "3D – Printing"

Científicos de la JAMES COOK University de Australia, están empleando "Fabricación Aditiva" (3D Printing) para el desarrollo de motores cohete para vectores de uso dual (civil y militar), así como los motores de ensayo que son empleados en los test de performance de los propulsantes. Los avances logrados con esta revolucionaria tecnología de fabricación, que permite construir componentes de geometrías complejas, imposibles de obtener con los métodos tradicionales de la industria, otorga a los investigadores la posibilidad de explorar nuevas alternativas de motores híbridos, empleando como materias primas, plásticos y otros materiales de fácil obtención.

Leer + >>

QUÍMICA

MISILES DE CRUCERO CON PROPULSIÓN NUCLEAR

La posibilidad de disponer de un misil intercontinental capaz de volar a distancias que exceden los límites alcanzados actualmente, es un objetivo de las grandes Potencias. Y ello sólo se puede lograr con Motores de Propulsión Nuclear. Pero un pequeño reactor nuclear en el motor de un misil de crucero, presenta grandes riesgos, incluso si funciona correctamente. El reciente accidente ocurrido en los ensayos del misil ruso 9M730 Burewestnik, reabre el debate sobre la conveniencia de avanzar en el desarrollo de motores cohete con propulsión nuclear y los riesgos que ello conlleva.

Leer + >>

> SEPTIEMBRE

https://mailchi.mp/41f0bc6e0619/lw5d0r49gm-1727681

Septiembre 2019

OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

ARMAS AUTÓNOMAS – INTELIGENCIA ARTIFICIAL AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA - UN DESAFÍO ÉTICO Y DE SEGURIDAD

La tecnología no sólo está cambiando completamente la forma en la que los seres humanos se comunican. Desde hace tiempo, ejércitos de todo el mundo se encuentran volcados en la fabricación de armas que funcionan de forma autónoma. ¿Hasta que punto deberían estar bajo control humano?, ¿Quién decide? . El transporte marítimo, aéreo y terrestre se automatiza , los problemas de la llamada industria 4.0 se ponen de manifiesto, los ejércitos deben reaccionar ante las armas hipersónicas. LA ONU la OMI y la OIT , entre otras ya están enfocando el problema.

Leer + >>

EMERGENCIAS Y CATÁSTROFES

ATAQUE CON DRONES A OLEODUCTOS

Arabia Saudita informo que sufrió ataques con drones a dos estaciones de bombeo del oleoducto que cruza el país de este a oeste que obligó a su cierre. Fue el segundo suceso tras el ataque a dos de sus tanqueros el domingo próximo pasado. Los iraníes aseguraron por su parte que los ataques fueron reivindicados por grupos de Yemen, en rechazo a la presencia de tropas sauditas y de Emiratos Árabes Unidos (EAU) en ese país.Las estaciones de bombeo ocho y nueve del oleoducto saudita Este-Occidente fueron el objetivo de los drones, que dejó en llamas a la primera y le generó daños menores. Según los informes el ataque fue realizado con siete drones y se encuadra en el legítimo derecho de defensa ante la presencia de fuerzas de los Emiratos Árabes Unidos (EAU) y Arabia Saudita, señaló el Consejo Político del movimiento huti Ansarullah. Los drones yemenitas pueden explotar a 20 metros de altura sobre su blanco lanzando fragmentos de metralla.

Leer + >>

ARMAMENTOS

CHINA PRESENTA UN "ACTIVE PROTECTION SYSTEMS" (APS) PARA TANQUES LIVIANOS.

Los Sistemas de Protección Activa para blindados (APS-Active Protection Systems), que permiten neutralizar el ataque de cohetes antitanque, fueron diseñados inicialmente para los grandes tanques de batalla (60 / 70 Tn). La razón principal es el incremento del peso que los APS generan, además de la demanda de energía extra necesaria para que funcionen adecuadamente. Sin embargo, China ha presentado un sistema APS apto para equipar sus tanques medianos VT-5 de 30Tn, lo cual significaría un importante avance en el área de sistemas de protección blindada.

Leer + >>

QUÍMICA

QUÍMICA. MATERIALES ENERGÉTICOS. COMBUSTIBLES

Perspectivas mundiales de gas y LNG hasta el 2035

La prestigiosa consultora McKinsey ha publicado su proyección hasta el 2035 del mercado mundial de gas natural (GN) y gas natural licuado (LNG). El año pasado vio crecer el mercado del gas natural a su ritmo más rápido en casi una década, apoyado por el auge de los mercados internos en China y los Estados Unidos y un creciente comercio mundial de gas para servir a los mercados asiáticos. Si bien el ritmo de crecimiento se desacelera, el gas sigue siendo el combustible fósil de más rápido crecimiento y el único combustible fósil que se espera que crezca más allá de 2035; el LNG a razón del 3,6% y el GN alrededor del 0,9% anuales hasta ese año.

Leer + >>

> OCTUBRE

https://mailchi.mp/2ded46370153/lw5d0r49gm-1743253

Octubre 2019

OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

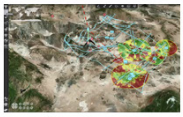
*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

INTEGRACIÓN HOMBRE-MAQUINA: ROBOTS REALIZAN EJERCICIOS MILITARES

Investigadores del Laboratorio de investigación del Comando de Desarrollo de Capacidades de Combate del Ejército de EE. UU, probaron robots terrestres en ejercicios militares, en un sitio de pruebas de robótica en Pennsylvania, como parte de la culminación de un proyecto de investigación de 10 años . El trabajo se centró en la investigación básica y aplicada de vanguardia relacionada con las tecnologías de robótica terrestre e IA, con el objetivo general de desarrollar la autonomía en apoyo del trabajo en equipo tripulado y no tripulado. Los compañeros humanos del equipo pueden dar órdenes verbales al robot usando lenguaje humano natural.

Leer + >>

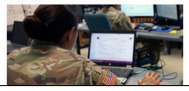


ELECTRÓNICA

MIRANDO LA BATALLA INVISIBLE: EWPTM DE RAYTHEON

La guerra electrónica puede ser invisible al ojo humano, pero el Ejército tiene sensores que detectan las transmisiones. La herramienta de planificación y gestión de guerra electrónica, recopila datos de sensores en todo el campo de batalla, los sintetiza en un mapa inteligible, por dónde pasan las señales y simula los efectos de posibles contramedidas, para que los comandantes puedan tomar una decisión informada sobre cómo contrarrestar al enemigo. El corazón del software es un modelo de física que utiliza datos de múltiples fuentes para calcular cómo las ondas de radio están interactuando, o podrían interactuar, tanto entre sí como con el terreno.

Leer + >>



ARMAMENTOS

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN ACERCA DEL "PODER DE FUEGO" QUE DISPONDRÁN LOS SOLDADOS EN 2050.

Un investigador del Army Research Laboratory (ARL) ha realizado un interesante trabajo de investigación, con el objetivo de determinar el "Poder de Fuego" que dispondrán los soldados en el año 2050. El Científico Alexander Kott, ha reunido cuidadosamente los principales "atributos de performance" que caracterizan a determinados sistemas de armas, analizando su evolución a lo largo de los años, desde el arco y flecha, pasando por el mosquete y hasta el tanque. Así construyó un "Modelo de Evolución Tecnológica", que proporcionaría herramientas útiles para identificar tendencias y la probable evolución de determinadas tecnologías claves en el campo del armamento.

Leer + >>

GEOCIENCIAS

NASA HA LANZADO CON ÉXITO EL SATELITE DE Rx "NUSTAR"

Según el Director de la División de Astrofísica de la NASA Paul Hertz, "Nustar" nos ayudará a comprender cómo nuestro universo evolucionó a partir del Big Bang hasta llegar a ser tan complejo. Este satélite verá los objetos "más calientes, más densos y más cargados de energía de una manera radicalmente nueva", dijo Fiona Harrison, del Instituto de Tecnología de California, y científica principal de la misión. Ha sido construido sobre la plataforma LeoStar-2 , este satélite de 360 kilogramos debe girar alrededor de la Tierra en una órbita circular a una altitud de más de 550 km e inclinada a 6 °. Será el primer telescopio espacial capaz de crear imágenes de rayos X de alta energía del mismo tipo que las utilizadas por la medicina. Podrá ver a través del polvo y los gases y para felicidad de los investigadores, la misión se extenderá durante 25 meses mínimo.

Leer + >>

> NOVIEMBRE

https://mailchi.mp/0b314f9aea1d/lw5d0r49gm-4723489

Noviembre 2019

OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EL ENGAÑO EN LA GUERRA

"En la película de 1983 "War Games", el profesor Falken irrumpe en la sala de NORAD para advertir "Lo que ves en estas pantallas aquí arriba es una fantasía: una alucinación mejorada por computadora ¡Esos disparos no son misiles reales, son fantasmas!". Explicó que el ataque nuclear soviético en pantalla, en cambio, fue una simulación creada por "WOPR", una inteligencia artificial un invento propio ..."
La inteligencia artificial (IA) también afectará la naturaleza de la guerra. Contrariamente a la promesa de que la IA ofrecería una visión omnisciente de todo lo que sucede en el espacio de batalla (un objetivo de los planificadores militares), queda en evidencia que las tecnologías no solo ofrecen soluciones...

Leer + >>

ELECTRÓNICA

LO QUE NECESITA SABER SOBRE EL RADAR MAS NUEVO DE LA MARINA DE EE.UU.

El Radar de defensa aérea y antimisiles SPY-6, de la Marina de EE.UU. producido por Raytheon, es de última generación y permite llenar un vacío de capacidad crítica. Proporciona a los barcos detectar y contrarrestar simultáneamente misiles balísticos, una de las amenazas de más rápido crecimiento en el mundo, así como otros ataques provenientes del aire y del mar. Aquí se mencionan cinco datos relevantes sobre este Radar.

Leer + >>

QUÍMICA

ARMAMENTOS

EL ATAQUE DE "DRONES KAMIKAZE" CUESTIONA LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE DEFENSA AÉREA ACTUALES.

El ataque a dos importantes plantas petroleras de Arabia Saudita, por parte de una serie de drones letales volando a baja altura, puso en evidencia la severa vulnerabilidad que presentan los sistemas de defensa aérea y misilística, desplegados en diferentes escenarios. Hasta las modernas baterías de defensa misilística Patriot PAC – 2, resultan inadecuadas para hacer frente a esas amenazas de bajo costo atacando en enjambres (Swarm), por lo que se analiza incorporar diferentes capacidades "anti-drone", para integrarlas a los sistemas de Def Ae mencionados.

Leer + >>

AUTOMOTORES

CANÓN DE 50mm PARA BLINDADOS.

En el marco del Programa del US Army "NEXT GENERATION COMBAT VEHICLE", se evalúan diferentes alternativas relacionadas con el arma principal de vehículos de combate. Para el caso del VC Bradley, la empresa NORTHROP GRUMMAN avanza en el desarrollo de cañones de 50mm, capaces de realizar disparos de proyectiles APFSDS (Flecha), en ráfagas de 3 / 5 disparos con alcances de más de 4000m, lo cual tendría efectos devastadores aún en los más avanzados sistemas de blindaje actuales.

Leer + >>

EMERGENCIAS Y CATÁSTROFES

IMPRESIÓN EN 3D DE UN REFUGIO PARA EMERGENCIAS Y CATÁSTROFES

Un revolucionario método que utiliza un

> DICIEMBRE

https://mailchi.mp/bcb6ae912091/lw5d0r49gm-4736125

Diciembre 2019

FIE Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

FUSIÓN HOMBRE MAQUINA Y SUS IMPLICANCIAS EN EL COMBATE.

El grupo de estudio de BHPC del DoD (Biotechnologies for Health and Human Performance Council) realizó una evaluación de un año titulado "Soldado Cyborg 2050: que implica la fusión humano / máquina y el impacto para el futuro de la Defensa". El objetivo principal de este estudio fue pronosticar y evaluar las implicaciones militares de las máquinas que están físicamente integradas con el cuerpo del ser humano, para aumentar y mejorar su rendimiento en los próximos 30 años.
Este informe resume esta evaluación y recomendaciones; identifica cuatro casos potenciales de uso militar para nuevas tecnologías en esta área; y evalúa su impacto sobre el estructura organizativa del DOD, doctrina y tácticas de los combatientes e interoperabilidad con los aliados y la sociedad civil.

Leer + >>

AUTOMOTORES

SISTEMAS AUTÓNOMOS TERRESTRES INTEGRADOS A LAS MENORES FRACCIONES.

El desarrollo de Sistemas Autónomos operando integrados a las menores fracciones de tropas a pie, es un objetivo de los países más avanzados, invirtiéndose importantes recursos en ello. Tanto Sistemas Letales (Armas) como de apoyo a las operaciones, en funciones tales como exploración, movilidad y asistencia a los fuegos de artillería, plantean el interrogante acerca de su aporte real a la eficiencia para el combate de los elementos, o si se transformarán en una "nueva carga" para la logística de las operaciones militares.

Leer + >>

ARMAMENTOS

76 KM: RÉCORD DE ALCANCE PARA LA ARTILLERÍA DE CAMPAÑA.

En el marco de los acuerdos establecidos para la estandarización (NATO) de las armas de artillería de campaña calibre 155mm y sus municiones, las empresas Rheinmetal (Alemania) y Denel (Sudáfrica) realizaron ensayos en los cuales se obtuvo un alcance récord de 76 km, empleando munición híbrida del tipo RAP/BB (Rocket Assisted / Base Bleed). Para los disparos se emplearon cañones Mod D6 L52 (Sudáfrica) y PZh2000 (Alemania). Los proyectiles llevaban kits de corrección de trayectoria para mejorar la precisión a esas distancias.

Leer + >>

EMERGENCIAS Y CATÁSTROFES

PREDECIR EL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR.

En momentos que se han presentado catástrofes mediáticas como la inundación de Venecia a causa del aumento del nivel el mar, nos preguntamos cómo se puede predecir una catástrofe semejante. Una solución es el monitoreo continuo de la Tierra y precisamente un sistema se dedicara especialmente al nivel del mar (a partir del 2020), se trata pues del Sentinel-6 heredero de la serie Jason de satélites topográficos oceánicos.

Leer + >>

INFORMÁTICA

EL MINISTERIO DE DEFENSA ARGENTINO INAUGURA EL CENTRO NACIONAL DE CIBERDEFENSA EN EL PREDIO DE CITEDEF.

El acto inaugural se realizó en el centro

Año 2020

> ENERO

https://mailchi.mp/24600aa831a5/lw5d0r49gm-4807105

Enero 2020

FIE Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OTM OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

FFAA DE LOS EEUU - 6ta NUEVA FUERZA CREACIÓN DE LA "FUERZA ESPACIAL DE ESTADOS UNIDOS (USSF)".

El 20 de diciembre se creo la sexta rama militar independiente de los EEUU (Army, Marines, Navy, Air Force, Coast Guard, y ahora la Space Force) por el momento solo 16.000 hombres de la USAF pasaran a la nueva Fuerza, principalmente del Cdo Aeroespacial (1982 - 2019) que desaparecerá.

Durante la ceremonia de firma, Trump nombró al General Jay Raymond (USAF) como el primer Jefe del USSF, Raymond también dirige el Comando Espacial de Estados Unidos y sera miembro del Estado Mayor Conjunto.

Durante los próximos 18 meses, la Fuerza Aérea de los EE. UU. Identificará aún más al personal e instalaciones para transferir y convertirse en miembros del servicio de la Fuerza Espacial de los EE. "Todos los aviadores actualmente asignados al Comando Espacial de la Fuerza Aérea ahora serán asignados a la Fuerza Espacial de los Estados Unidos (USSF)"

Leer + >>

INFORMÁTICA

LA ENCUESTA DE NDIA MUESTRA QUE LA INDUSTRIA DEBE HACER MÁS POR LA CIBERSEGURIDAD.

La adopción y el despliegue de tecnologías cibernéticas han mejorado la efectividad de los combatientes estadounidenses en todo el mundo. Desde reducir el costo y el tiempo de entrega para la producción de armas de

ARMAMENTOS

GAFAS CON IDENTIFICACIÓN DE BLANCOS Y LINK PARA LA PUNTERÍA DE ARMAS PORTÁTILES.

En el marco de las 6 Prioridades de Modernización del US Army, la denominada "Soldier Lethality" es la que tiene por objetivo aportar extraordinarias capacidades al combatiente individual. Relacionado con ello, se encuentra en avanzado estado de desarrollo un dispositivo que combina realidad aumentada, con sistemas de identificación "F-F" (Friend – Foe), adquisición de blancos y asistencia al disparo del fusil. Se espera que se encuentre listo para su despliegue operacional en 2021.

Leer + >>

EMERGENCIAS Y CATÁSTROFES

CORONAVIRUS DE CHINA: LA OMS DECLARA EL BROTE DE NEUMONÍA DE WUHAN EMERGENCIA DE IMPORTANCIA INTERNACIONAL.

El jueves 30 de enero de 2020, la OMS ha declarado al brote de coronavirus con origen en China como "emergencia de salud pública de importancia internacional". Luego de la reunión de evaluación del Comité de Emergencias, el director de la OMS, Tedros Adhanom, dijo que la razón de la declaratoria "no se debe a lo que está sucediendo en China, sino por lo que está sucediendo en otros países".

La preocupación radica en la posibilidad de que el virus se propague a países con sistemas de salud más débiles y que no estén preparados para enfrentarlo", dijo Adhanom en Ginebra, Suiza.

Han muerto en China más de 200 personas por la conocida como neumonía de Wuhan. Cerca de 8.000 casos han sido confirmados en el país asiático, lo que representa el 99% de los diagnósticos.

En tanto, la OMS ha registrado hasta

> FEBRERO

https://mailchi.mp/06d3077f36f9/lw5d0r49gm-4807681

Febrero 2020

FIE Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OTM OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

EL DOD DE EEUU SE PREPARA PARA EL CORONAVIRUS. MAS DE 900 MUERTOS Y 50 MILLONES DE PERSONAS EN CUARENTENA EN CHINA.

Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) están monitoreando de cerca un brote de enfermedad respiratoria causada por un nuevo coronavirus, llamado 2019-nCoV, que se detectó por primera vez en la ciudad de Wuhan, en la provincia china de Hubei y que continúa expandiéndose, según el Sitio web de los CDC.

El CDC señaló que está trabajando con la Organización Mundial de la Salud y los socios estatales y locales de salud pública para responder a esta amenaza emergente para la salud pública y contenerla.

Los coronavirus son una gran familia de virus que son comunes en muchas especies diferentes de animales, incluidos camellos, vacas, gatos y murciélagos, según los CDC. En raras ocasiones, los coronavirus animales pueden infectar a las personas y luego propagarse. Ese fue el caso del síndrome respiratorio del Medio Oriente y los coronavirus del síndrome respiratorio agudo severo.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

RHEINMETALL SUMINISTRARÁ SIMULADORES DE DUELO LÁSER PARA EL VEHÍCULO DE COMBATE DE INFANTERÍA PUMA.

Rheinmetall pronto suministrará a la Bundeswehr alemana tecnología de simulación que permitirá un entrenamiento altamente realista de unidades de infantería mecanizadas equipadas con el Puma IFV, con el

ARMAMENTOS

MAS TECNOLOGÍA PARA INCREMENTAR LA LETALIDAD DEL SOLDADO.

El presente trabajo muestra como el equipamiento del combatiente individual, ha ido evolucionando de un soldado con poca tecnología, a un guerrero altamente tecnificado. Por décadas, el infante estadounidense ha sufrido más bajas que cualquiera de las otras armas o especialidades. Sin embargo los presupuestos para inversiones en tecnología en su equipamiento han sido los más bajos hasta ahora. Esa tendencia está cambiando aceleradamente con la incorporación de sistemas que proporcionan mayor letalidad, supervivencia e IA tanto para operaciones como adiestramiento.

Leer + >>

EMERGENCIAS Y CATÁSTROFES

CORONAVIRUS, ¿PORQUÉ LA OMS NO DECRETA AÚN EMERGENCIA MUNDIAL?

Según un funcionario de la OMS existe transmisión del virus entre personas en China, pero hasta ahora parece estar limitada a grupos familiares y a trabajadores de la salud que han atendido a pacientes infectados. Asimismo han enfatizado que: por ahora no hay "ninguna prueba" de contagio entre humanos fuera de China. "Fuera del país no hay por ahora constatación de contagios, pero eso no significa que esto no vaya a suceder", advirtió el alto funcionario internacional.

> MARZO

https://mailchi.mp/b64394b9a394/lw5d0r49gm-4820597

Marzo 2020

FIE Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OTM Observatorio Tecnológico Mosconi
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

CORONAVIRUS: LOS LIDERES MILITARES Y CIVILES DE EEUU PLANIFICAN ANTE UNA POSIBLE PANDEMIA

El liderazgo civil y militar del Departamento de Defensa, incluidos todos los Secretarios y los Comandantes de Comandos de Combate, planifican para garantizar que el departamento esté listo para escenarios a corto y largo plazo, sobre una posible pandemia de coronavirus, en situaciones nacionales e internacionales. El Secretario de Defensa Esper enfatizó que los comandantes en todos los niveles tienen la autoridad y la orientación que necesitan para operar.

Dijo Esper: "Mi prioridad número uno sigue siendo proteger nuestras fuerzas y sus familias; la segunda es salvaguardar nuestras capacidades y nuestra misión y la tercera es apoyar el enfoque interagencial de todo el gobierno. Continuaremos tomando todas las precauciones necesarias para garantizar que nuestra gente están seguros y pueden continuar su misión ".

Leer + >>

QUÍMICA

LA PINTURA ÓSEA PUEDE AYUDAR A REGENERAR HERIDAS

Una empresa con sede en Boston está trabajando con proteínas regenerativas óseas para ayudar al persona a recuperarse de lesiones óseas. El producto se puede aplicar como pintura a un implante ortopédico fabricado para reemplazar o soportar un hueso dañado. Esto podría ayudar a acelerar el proceso de curación de lesiones como huesos rotos.

Leer + >>

GEOCIENCIAS

LA ATMOSFERA COMO SENSOR

ARMAMENTOS

TECNOLOGÍAS QUE LIDERARAN LOS DESARROLLOS MILITARES EN LA PRÓXIMA DÉCADA.

Armas de energía Dirigida (DEW), Misiles Hipersónicos, proyectiles "Smart" con grandes alcances para las armas de artillería, Inteligencia Artificial (AI), nuevos tipos de sistemas autónomos operando en equipo con humanos, exoesqueletos, vehículos autónomos a cargo de las tareas de transporte logístico y evacuación médica de los combatientes, entre otros, serán la tendencia de los proyectos militares de la década del 2020.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

SISTEMA DE SENSORES PARA DETERMINAR EL EFECTO DE EXPLOSIONES SOBRE EL CUERPO DE LOS SOLDADOS.

Relacionado con el ataque de misiles iraníes a una base de EUA y la detección posterior de unos 100 soldados con diferentes daños cerebrales a causa de las explosiones, el Pentágono está desarrollando un sistema integral de sensores incorporados al equipo individual, que permite determinar y registrar con precisión los valores de sobrepresión a los que han sido sometidas determinadas partes del cuerpo como cabeza, torso y hombros. Ello permitirá hacer un diagnóstico inicial mas preciso acerca del grado de afectación de determinadas partes del cuerpo y aplicar las acciones medicas necesarias en cada caso.

.

Leer + >>

> ABRIL

https://mailchi.mp/4123c7f44215/lw5d0r49gm-4838597

Abril 2020

FIE Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OTM Observatorio Tecnológico Mosconi
Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

SANIDAD MILITAR - CBRN - ORGANIZACIÓN

COMANDO DE INVESTIGACIÓN MEDICA Y DESARROLLO US ARMY

Desde enfermedades hasta lesiones, el Comando de Investigación y Desarrollo Médico del Ejército de EE. UU., es la única organización centrada únicamente en la investigación y el desarrollo para abordar los requisitos médicos únicos de los militares. USAMRDC gestiona y ejecuta investigaciones en cinco áreas básicas: enfermedades infecciosas militares, atención de víctimas de combate, medicina operativa militar, defensa química biológica y medicina clínica y de rehabilitación.

La línea de productos incluye vacunas, productos farmacéuticos, dispositivos médicos, equipos médicos y tecnología de la información, una cartera mucho más diversa y compleja que cualquier empresa de productos médicos comerciales. USAMRDC trabaja en estrecha colaboración con el Comando de Logística Médica del Ejército para garantizar que los productos que salvan vidas lleguen al campo de combate.

Leer + >>

QUÍMICA

AVANCES PARA OBTENER "ENERGÍA LIMPIA" MEDIANTE FUSIÓN NUCLEAR.

Muchos países invierten grandes recursos para la obtención de "energía limpia", barata y eficiente, empleando el proceso de Fusión Nuclear. El presente artículo describe interesantes resultados obtenidos en reactores experimentales de Fusión, que utilizan como combustible "Hydrogen ice pellets" en lugar del tradicional hidrógeno gaseoso.

Leer + >>

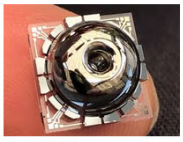
WEBINAR ON GOOD LICENSING PRACTICES FOR PROTECTED ELEMENTS IN TEST GUIDEMINES

ARMAMENTOS

EL DESARROLLO DE ARMAS "ANTI – SATÉLITE".

EUA, Rusia, China, Irán y Corea del Norte entre otros, desarrollan sistemas de armas con la capacidad de destruir o neutralizar satélites, equipamiento vital hoy para el desarrollo de las operaciones de cualquier Fuerza Militar. Los programas son destinados a adquirir "Counterspace capabilities", tanto con sistemas de Energía Dirigida y Energía Cinética del tipo "hit-to-kill", para denegar así el acceso a la información de posicionamiento y vigilancia que los sistemas satelitales otorgan.

Leer + >>



ELECTRÓNICA

DESARROLLO DE GIRÓSCOPOS QUE PERMITIRÍAN NAVEGAR CON PRECISIÓN EN ZONAS "SIN SEÑAL GPS".

Más allá de la multiplicidad de empleos de los sistemas GPS, lo cierto es que no se encuentran disponibles todo el tiempo. Investigadores de la Universidad de Michigan (EUA) desarrollaron una IMU (Inertial Messurement Unit) equipada con un "Precision Shell Integrated Gyro", que permite obtener valores de precisión 10.000 veces superiores a los que equipan a los teléfonos celulares actuales y con costos muy bajos.

Leer + >>

AUTOMOTORES

LOS AVANCES EN PROYECTOS DE VEHÍCULOS DE COMBATE AUTÓNOMOS.

EUA y Rusia inician el año 2020 con

> MAYO

https://mailchi.mp/f279729e9283/lw5d0r49gm-4853377

Mayo 2020

FIE Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OTM Observatorio Tecnológico Mosconi
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

BIOSEGURIDAD IA y DERECHOS

La pandemia de COVID-19 y la manera en que los diferentes países la enfrentan para minimizar sus efectos, presenta un enorme desafío. Los sistemas cada vez más sofisticados de vigilancia e IA, que en determinados países asiáticos ha tenido éxito a expensas de la restricción de determinadas libertades individuales propias de los países democráticos, resulta un dilema que enfrentan las autoridades.

Leer + >>

GEOCIENCIAS

DESARROLLO DE GIROSCOPIOS QUE PERMITIRÍAN NAVEGAR CON PRECISIÓN EN ZONAS SIN SEÑAL GPS.

Más allá de la multiplicidad de empleos de los sistemas GPS, lo cierto es que no se encuentran disponibles todo el tiempo. Investigadores de la Universidad de Michigan (EUA) desarrollaron una IMU (Inertial Mesurement Unit) equipada con un "Precision Shell Integrated Gyro", que permite obtener valores de precisión 10.000 veces superiores a los que equipan a los teléfonos celulares actuales y con costos muy bajos.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

ASÍ ES COMO SE VEN LAS FUERZAS TERRESTRES EN UN SISTEMA DE GUERRA ELECTRÓNICA.

Las Unidades modernas generan un gran Firma Electromagnética, producto de la gran cantidad de radios, sensores y otros tipos de sistemas que estas poseen, todo esto puede ser rastreado

ARMAMENTOS

GASTO GLOBAL EN DEFENSA 2019.

SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute) ha presentado su informe anual de los Gastos Globales en Defensa 2019. Con un total de US$ 1917 Billones, se trata de la mayor erogación desde 1988, representando un 2.2% del PBI Global. Los 5 países con mayores gastos fueron: EUA, China, India, Rusia y Arabia Saudita.

Leer + >>

QUÍMICA

FALTA DE CONTROLES INTERNACIONALES Y OBLIGATORIOS DE LABORATORIOS Y EL COVID-19.

El artículo de la referencia, producido en el seno del Consejo Argentino para las Relaciones Internacionales (CARI) por el embajador Marcelo Valle Fonrouge, sobre la incertidumbre sobre el origen del virus SARS-CoV-2 y los inconvenientes para enfrentar la consiguiente pandemia en un mundo globalizado, alerta sobre la necesidad imperiosa de repensar la Convención de Armas Biológicas y Toxínicas (CABT) e implementar un régimen de controles más estricto bajo verificación internacional.

Leer + >>

AUTOMOTORES

"ROBOT DE CARGA" A RUEDAS PARA EL US ARMY.

El US ARMY se encuentra en la etapa final de evaluación del sistema de "Mula Robot" que a partir del 2024, sería

> JUNIO

https://mailchi.mp/7b70d0e1f77f/lw5d0r49gm-4889293

Junio 2020

Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional
90 años formando ingenieros para el desarrollo y la defensa nacional

OTM Observatorio Tecnológico Mosconi
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

INVIRTIENDO EN ARMAS ESPACIALES, QUÉ Y QUIENES.

El informe organiza las armas basadas en el espacio en seis categorías, con versiones cinéticas y no cinéticas de los sistemas Tierra-espacio, espacio-espacio y espacio-Tierra. De ellos, se han ensayado tres categorías mediante pruebas, implementación o uso operativo.

Leer + >>

GEOCIENCIAS

INMINENTE INVERSIÓN DE LOS POLOS ANTE EL DEBILITAMIENTO DEL CAMPO MAGNÉTICO.

Se ha especulado sobre si el actual debilitamiento del campo magnético terrestre es un signo de que la Tierra se acerca a una inminente inversión de los polos.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

EL EJÉRCITO PUEDE TENER LA HERRAMIENTA DE GUERRA ELECTRÓNICA QUE NECESITA EL PENTÁGONO.

El Departamento de Defensa de EE.UU. está considerando la Herramienta de Planificación y Gestión de Guerra Electrónica del Ejército, como la opción principal para que la fuerza conjunta coordine acciones en el espectro electromagnético. La herramienta, conocida como EWPMT, es un paquete de software que permite a los comandantes y operadores visualizar y planificar operaciones dentro del espectro electromagnético.

ARMAMENTOS

SPIKE FIREFLY: MUNICIÓN CON CAPACIDAD DE "SOBREVOLAR" EL OBJETIVO.

La empresa Israelí RAFAEL proveerá a las Fuerzas de Defensa (IDF) de ese país, la revolucionaria munición SPIKE FireFly. Despega desde el suelo como un drone y es capaz de mantenerse en posición "de espera" (Loitering) sobre la zona de eventuales blancos, hasta que le llega la orden de atacar su objetivo. Gran flexibilidad, disponibilidad inmediata para neutralizar amenazas y bajo costo relativo, hacen de este revolucionario sistema una herramienta excepcional para las pequeñas fracciones en combate, en especial en escenarios urbanos.

Leer + >>

QUÍMICA

ESCUELA DE DEFENSA QUÍMICA, BIOLÓGICA Y NUCLEAR - US ARMY.

La amenaza de las armas químicas, biológicas, radiológicas y nucleares (QBRN) requiere que el Ejército tenga un cuerpo de profesionales dedicados y capaces de utilizar la última tecnología de defensa. Los especialistas químicos, biológicos, radiológicos y nucleares son los principales responsables de defender al país contra la amenaza de las armas QBRN y las armas de destrucción masiva.

Leer + >>

AUTOMOTORES

AUTOS ELÉCTRICOS QUE SE RECARGAN EN MOVIMIENTO.

Una seria limitación de los automóviles eléctricos es su reducida autonomía. Un grupo de investigadores del Dpto de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Florida, estudia cómo desarrollar la capacidad de recarga entre dos vehículos en movimiento, por similitud

> JULIO

https://mailchi.mp/160b2d0c37bf/lw5d0r49gm-4993213

Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OTM
OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

Julio 2020

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

PROSPECTIVA: TENDENCIAS DEL FUTURO DE LA GUERRA AL 2030.

Un estudio de la RAND Corporation: ¿Dónde ocurrirá la próxima guerra? ¿Quién peleará en ella? ¿Por qué ocurrirá? ¿Cómo se peleará? Este resumen sintetiza una serie de informes que buscaban responder a estas preguntas, desde ahora hasta 2030. Los informes tomaron el enfoque de examinar estas preguntas a través de las lentes de varias tendencias: geopolíticas, económicas, ambientales, legales, informativas y militares.

Leer + >>

GEOCIENCIAS

LAS PANDEMIAS MODIFICARON LA ARQUITECTURA, ¿QUÉ CAMBIARÁ EN NUESTRAS CIUDADES DESPUÉS DEL COVID-19?.

Cientos de epidemias que provocaron la muerte de altos porcentajes de las poblaciones, fueron conjugadas con teorías científicas, acertadas o erradas que moldearon las construcciones de nuestro mundo y cambiaron fundamentalmente la realidad.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

ISRAEL DESARROLLA UN SISTEMA PARA "NEUTRALIZAR" A LOS OPERADORES DE DRONES.

Después del ataque masivo con drones por parte de Irán en Marzo de 2019, investigadores Israelíes de la Ben Gurion University, han desarrollado un sistema que a partir de la trayectoria realizada por los UAV en su ataque, se puede determinar con precisión la ubicación exacta del operador y neutralizarlo. Esto debilita la capacidad del oponente, ya que es más sencillo obtener nuevos drones que desarrollar

ARMAMENTOS

SISTEMA DE SATÉLITES QUE ASISTIRÁN EN LA DEFENSA CONTRA ARMAS HIPERSÓNICAS.

Un factor clave para la defensa contra las Armas Hipersónicas, es un sistema de alerta temprana que proporcione tiempo mínimo de reacción, para hacer frente a la amenaza de esas revolucionarias armas. La US Space Development Agency desarrolla un ambicioso Programa, con el objetivo de colocar cientos de pequeños satélites de órbita baja y media, capaces de integrar una sofisticada trama de observación, alerta y seguimiento de estos disruptivos misiles en avanzado estado de desarrollo, que alcanzan velocidades superiores a MACH 5 y capacidad de realizar maniobras evasivas en su trayectoria.

Leer + >>

QUÍMICA

PRONÓSTICO GLOBAL DE MERCADO Y TECNOLOGÍA QBRN PARA EL 2028.

El Informe "Global CBRN: Market and Technology Forecast 2020", nos advierte sobre las amenazas actuales y futuras a la población mundial. " Con la experiencia adquirida con la pandemia del COVID-19, se ha comprendido que ningún país puede permanecer seguro en los próximos años, si algún tipo de arma biológica es empleada". La nueva amenaza biológica es silenciosa, difícil de predecir, detectar y evaluar, por lo que la defensa QBRN se convertirá en un desafío colectivo a todo nivel.

Leer + >>

AUTOMOTORES

MILREM TYPE X: EL VC AUTÓNOMO BLINDADO CON CAÑÓN DE 30mm.

> AGOSTO

https://mailchi.mp/031dd8d88577/lw5d0r49gm-5028365

Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OTM
OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

*Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi** (CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

Agosto 2020

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

IMPLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA CADENA DE SUMINISTROS DEL EJÉRCITO.

La implementación de tecnologías avanzadas, que incluyen IA, robótica y sistemas autónomos que no están en la fuerza actualmente, requerirá una atención particular a la doctrina, organización, capacitación, material, liderazgo y educación, personal, instalaciones y políticas (DOTMLPF- P) . Estas tecnologías necesitan líderes innovadores, soldados calificados y equipos capacitados ...

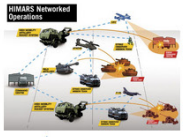
Leer + >>

GEOCIENCIAS

¿RUSIA DESARROLLA ARMAS ANTI-SATÉLITE?

El US Space Command ha anunciado que se encontraron evidencias acerca de ensayos recientes realizados por Rusia, de sus armas "anti-satélite". Si bien no se ha producido destrucción ni daño alguno en los satélites de EUA, se estima que la nueva estrategia Rusa de desarrollo de "Satélites de Inspección", encubriría en realidad el desarrollo de armas para atacar estos vitales sistemas de comunicaciones e información de otros países.

Leer + >>



ELECTRÓNICA

ARMAMENTOS

LOS UAV´s Y EL CONCEPTO DE "DISUASIÓN POR DETECCIÓN" EN LAS OPERACIONES MILITARES.

Un nuevo trabajo de CSBA (Center of Strategic and Budgetary Assessment) desarrolla el rol clave que tienen los UAV´s en las operaciones militares actuales y futuras, para la implementación del nuevo concepto de "disuasión por detección". La Acción de vigilancia permanente empleando drones, aún con aeronaves no sigilosas sobre los movimientos del oponente, tiene un poderoso efecto desalentador, al dificultar el empleo de uno de los principios vitales para la conducción de las operaciones militares, como es "la sorpresa".

Leer + >>

QUÍMICA

COMPTOX CHEMISTRY DASHBOARD: AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (EPA) DE EUA.

A pesar de una abundancia de fuentes en línea que proporcionan acceso a datos químicos, hay una creciente demanda por bases de alta-calidad, estructura-curada y datos abiertos para satisfacer las diversas necesidades de investigadores y científicos.El CompTox Chemistry Dashboard de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus iniciales en inglés) satisface estas necesidades mediante la integración de varios tipos de datos relevantes a través de una capa de quimioinformática (cheminformatics), construida sobre una base de datos de sustancias vinculadas a estructuras químicas.

Se incluyen datos fisicoquímicos, destino y transporte ambiental, exposición, uso, toxicidad en vivo y datos de bioensayos in vitro, que surgieron a través de un centro de integración con enlaces a datos adicionales de la EPA y recursos en línea de dominio público.

> SEPTIEMBRE

https://mailchi.mp/3ac7af68c8a6/lw5d0r49gm-5058273

Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional
80 años formando ingenieros para el desarrollo y la defensa nacional

OTM
OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el ***Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi*** *(CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

Septiembre 2020

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

SIMULADORES CBRNe PARA CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO.

Pensar el carácter futuro del Conflicto es tarea central de las organizaciones militares y de seguridad, la industria se vuelca a proporcionar soluciones para el mercado DCBRNe en franca expansión.

Planificar y desarrollar ejercicios para amenazas y riesgos CBRNe / HazMat , necesita contar con una variedad de escenarios (búsqueda de laboratorios clandestinos, dispositivos explosivos químicos improvisados, reconocimiento / reconocimiento de áreas grandes o locales, evaluación de amenazas o descontaminación), así como modelizar eventos y coordinar actores...

Leer + >>

ELECTRÓNICA

EXPERIMENTANDO CON ENJAMBRES DE DRONES AÉREOS Y TERRESTRES.

Investigadores del US ARMY se encuentran experimentando con enjambres de UAV´s y UGV´s, a efectos de adquirir experiencia y conocimientos que permitan optimizar el funcionamiento de estos sistemas, capaces de operar en equipo cumpliendo las más diversas misiones operacionales, que se prevé desarrollaran en el campo de batalla futuro. Todo ello muestra una marcada tendencia a la integración de "equipos Hombre- robot" operando en plataformas terrestres y aéreas, que presenta enormes desafíos a los desarrolladores de electrónica integrada e AI (Inteligencia Artificial).

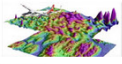
Leer + >>

ARMAMENTOS

MISIL HELFIRE R9X: SOLO ENERGÍA CINÉTICA Y PRECISIÓN PARA BATIR BLANCOS CON MENOS DAÑOS COLATERALES.

Un nuevo empleo del novedoso Misil Hellfire R9X ha sido reportado en Siria para la neutralización de blancos puntuales, en el marco de operaciones en zonas altamente pobladas. Este revolucionario misil de corto alcance y pequeño tamaño, lanzado desde drones, es capaz de batir objetivos por el solo efecto de la energía cinética del impacto y su gran precisión, reduciendo así los daños colaterales sobre la población civil. No obstante, el empleo de este tipo de armas de "efecto puntual", disparadas desde UAV´s en operaciones de contraterrorismo, continúa siendo motivo de cuestionamiento en diversos ámbitos.

Leer + >>



GEOCIENCIAS

LA ULTIMA ALTERNATIVA GPS

Regularmente los líderes militares advierten la fragilidad del sistema GPS y durante un tiempo, los investigadores han trabajado en diversas alternativas de solución, ya sea con relojes cuánticos y navegación inercial. La USAF está explorando una nueva alternativa, utilizando los campos magnéticos de la Tierra como una forma segura de detectar la ubicación de las aeronaves y posiblemente otro tipo de vehículos.

Leer + >>

QUÍMICA

"3D - PRINTING" COMBINADO CON "INJECTION MOLDING": NUEVO PROCESO DE FABRICACIÓN.

> OCTUBRE

https://mailchi.mp/b75065a0c158/lw5d0r49gm-5087997

Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional
80 años formando ingenieros para el desarrollo y la defensa nacional

OTM
OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el ***Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi*** *(CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

Octubre 2020

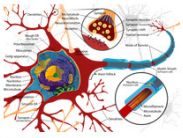
HECHOS PORTADORES DE FUTURO

DCBRN - ADM

DEFENSA CONTRA LAS ARMAS DE DESTRUCCIÓN MASIVA Y COVID 19.

El virus SARS-COV-2 puede no ser un arma biológica de diseño, pero los efectos de la enfermedad que causa, conocida como COVID-19, han estado al nivel de un Arma de Destrucción Masiva (WMD). Ha habido más de 9 millones de casos de COVID-19 en todo el mundo, la enfermedad causó más muertes solo en la ciudad de Nueva York que las producidas por el atentado del 11Set01. La naturaleza excepcional de la escala global de la enfermedad, el riesgo para la vida humana, la dislocación de la economía y la tensión en la infraestructura pública han hecho que abordarla requiera respuestas de los estados adecuadamente planificadas.

Leer + >>



QUÍMICA

LOS AGENTES NEUROTÓXICOS, UNA AMENAZA CRECIENTE.

Si el líder opositor Ruso Alexei Navalny, fue atacado con el agente químico neurotóxico Novichok, como expresaron las autoridades alemanas, se pone en evidencia la amenaza de proliferación de este tipo de armas no convencionales, para realizar ataques a objetivos puntuales de alto interés. Investigadores de EUA, llevan adelante desarrollos tendientes a obtener un sistema eficiente, que permita la rápida detección de este tipo de armas químicas de altísima letalidad.

Leer + >>

ARMAMENTOS

EMPLEO DE PROYECTIL DE HIPERVELOCIDAD PARA DERRIBAR MISIL DE CRUCERO.

EUA y otros países están desarrollando Armas Electromagnéticas (Railgun) de empleo naval, que disparan proyectiles de hipervelocidad (HVP), capaces de entregar una enorme cantidad de Energía cinética al impactar sobre el blanco. Derivado de esos proyectos, se ha ensayado con éxito el disparo de proyectiles HVP desde Armas de Artillería de Campaña de 155mm, para derribar misiles de crucero, lo cual constituye un extraordinario avance que podría revolucionar los sistemas de defensa aérea tradicionales.

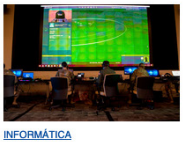
Leer + >>

ELECTRÓNICA

EMPLEO EXITOSO DEL "SPACE BASED INFRARED SYSTEM SATELLITES".

La US Space Force confirmó que su sistema SBISS, la constelación de satélites geosincrónicos de vigilancia para la defensa, fue empleado exitosamente por primera vez durante el ataque misilístico realizado por Irán en 07Ene20, sobre bases estadounidenses en Irak, proporcionando alerta temprana a las tropas y contribuyendo así a minimizar las bajas producidas por el ataque.

Leer + >>



INFORMÁTICA

LA FUERZA AÉREA DE ESTADOS

> NOVIEMBRE

https://mailchi.mp/80705c4d06fb/lw5d0r49gm-7053553

Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OTM
OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el ***Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi*** *(CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

Noviembre 2020

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

LA PRIMERA RED CELULAR EN LA LUNA.

Nokia ha sido nombrada por la NASA como socio para promover las tecnologías de «Tipping Point» para la Luna, desplegando el primer sistema de comunicaciones LTE / 4G en el espacio y ayudando a allanar el camino hacia la presencia humana sostenible en la superficie de nuestro Satelite . Marcus Weldon, director de tecnología de Nokia y presidente de Nokia Bell Labs, dijo: <Aprovechando nuestra rica y exitosa historia en tecnologías espaciales, desde ser pioneros en comunicaciones por satélite hasta descubrir la radiación de fondo de microondas cósmica producida por el Big Bang, ahora estamos construyendo la primer red de comunicaciones celulares en la Luna>.

Leer + >>

ELECTRÓNICA

EL SOLDADO CONVERTIDO EN UN NODO MÁS DE «INTERNET DE LAS COSAS» (IOT) MILITAR.

Sensores y pantallas miniaturizadas permiten al combatiente disponer de una verdadera red de información en tiempo real, entre el sistema de puntería de su arma y los binoculares. Todo ello asistido por multiplicidad de sensores externos, terrestres y aéreos, que le proporcionan información adicional sobre el terreno, el enemigo y fuerzas propias en el campo de combate.

Leer + >>

QUÍMICA

EMPLEO DE POLÍMEROS COMO

ARMAMENTOS

ISRAEL Y EUA AVANZAN EN EL DESARROLLO DE ARMAS LASER "Anti- misiles".

EUA e Israel tienen una tradición de estrecha colaboración en el área de sistemas de Defensa Aérea como los reconocidos Iron Dome, Arrow y David Sling. Siguiendo esa línea de cooperación, ambos países avanzan en la integración de sus empresas tecnológicas de defensa, en I&D en el área de Armas de Energía Dirigida (DEW). Ambos consideran estas armas vitales para los futuros escenarios de conflicto, donde los misiles de altas prestaciones y los sistemas autónomos, representan las principales amenazas a enfrentar.

Leer + >>

INFORMÁTICA

UN PLAN DE CIBERSEGURIDAD DE TRES PASOS PARA EL EJÉRCITO MODERNO.

La creciente actividad de ciberguerra sobre las redes de defensa muestra el costo humano de los desafíos de ciberseguridad de hoy: los miembros del equipo del centro de operaciones de seguridad militar, a menudo trabajan turnos consecutivos de 12 horas, abordando una cantidad creciente de alertas. La investigación de cada alerta puede tardar entre 20 minutos y 2 horas o más. Por esto deben implementar medidas especiales.

Leer + >>

GEOCIENCIAS

NUEVA FORMA DE UBICAR EL NORTE MAGNÉTICO PARA

> DICIEMBRE

https://mailchi.mp/e766a9bf51b4/lw5d0r49gm-7146885

Facultad de Ingeniería del Ejército
Universidad de la Defensa Nacional

OTM
OBSERVATORIO TECNOLÓGICO MOSCONI
Antena Territorial de Defensa y Seguridad
NEWSLETTER

Este documento de Vigilancia Tecnológica es elaborado por el ***Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar Grl. Mosconi*** *(CEPTM) y difundido en forma periódica como un aporte al mantenimiento del conocimiento específico profesional militar en las distintas especialidades de ingeniería.*

Diciembre 2020

HECHOS PORTADORES DE FUTURO

DQBN - DEFENSA DE ARMAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS TITULARES 2020.

La preparación para los brotes biológicos y el cambio climático se convertirá en una prioridad más alta para las Naciones, sus FFAA y FFSS, vacunación de contactos de supervivientes de la enfermedad por el virus del ébola para prevenir una mayor transmisión; preparación para una pandemia: una perspectiva del Reino Unido sobre las superposiciones con la lucha contra el terrorismo.

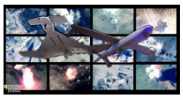
Leer + >>

E LECTRÓNICA

EL "SUPER SISTEMA" DE DEFENSA AÉREA DEL EJÉRCITO DE EUA.

El revolucionario sistema integrado de redes de Defensa Aérea y de Comando y Control del Ejército de los Estados Unidos, llamado Integrated Battle Command System (IBCS), después de una prueba de gran éxito en Ago 2020, finalmente podría pasar de ser un esfuerzo de I+D, a un firme programa de producción en un futuro próximo, Su objetivo es conectar sensores, con diferentes tipos de armas como misiles, cañones, láseres y las capacidades de guerra electrónica, a fin de contrarrestar los diferentes blancos aéreos. Su despliegue operativo aumentaría drásticamente la capacidad de Estados Unidos para defender sus fuerzas de todo tipo de ataques aéreos, proporcionando un entorno de red de mando y control de arquitectura abierta, que puede incorporar actualizaciones rápidas y agregar futuros sensores y efectores que pueden operar coordinadamente de forma fluida y altamente automatizada.

Leer + >>



ARMAMENTOS

DRONES LETALES EN LOS CONFLICTOS PRESENTES Y FUTUROS.

El reciente conflicto entre Armenia y Azerbaiyán, nuevamente mostró la importancia de los UAV´s, particularmente operando en enjambres y con capacidades letales. Ya empleados anteriormente en escenarios como Ucrania, Siria y Libia, donde el dominio del espacio aéreo y la intervención de estos disruptivos sistemas, resultaron vitales para la victoria. Es que la capacidad letal de los mismos, para neutralizar objetivos importantes como grandes fuerzas blindadas o artillería del oponente, es un multiplicador de fuerzas con una extraordinaria relación "costo beneficio".

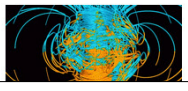
Leer + >>

INFORMÁTICA

RELACIÓN ENTRE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA CIBERDEFENSA.

La ciberseguridad y la inteligencia artificial guardan una estrecha relación. Primero, las técnicas de inteligencia artificial (IA) pueden utilizarse para mejorar la ciberseguridad y resiliencia de productos, servicios, sistemas y, por ende, de las empresas y la sociedad (enfoque de defensa). Segundo, la IA está empezando a ser utilizada por cibercriminales y otro tipo de ciberataqcantes para poner en riesgo la ciberseguridad y perpetrar diferentes tipos de ataques y generar noticias falsas (enfoque de ataque). Finalmente, los sistemas de IA son, a su vez, susceptibles de sufrir ciberataques.

Leer + >>



4. ANTENA TERRITORIAL DE DEFENSA Y SEGURIDAD

4.1
Observatorio Tecnológico Aeroespacial
2 años comunicando acerca del estado del arte aeroespacial

Por el BM (R) Alejandro Moresi - Director OTA

LOGO DEL OBSERVATORIO TECNOLÓGICO AEROESPACIAL

El Observatorio Tecnológico del aeroespacio surge como una iniciativa de la Escuela Superior de Guerra Aérea (ESGA) en orden a mejorar las capacidades de los alumnos cursantes en las investigaciones de sus Trabajos Finales Integradores, a la vez que brinda un servicio de vigilancia tecnológica a la comunidad aeroespacial.

Este proyecto es un desarrollo para capacitación de futuros investigadores a partir de los alumnos de la especialización en "Conducción de Fuerzas y Operaciones Aeroespaciales, integrándolos al sistema de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Estratégica de Nivel Nacional implementado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, mediante el cual se trabajará en la detección y determinación del estado del arte y qué es "LO NUEVO EN EL AEROESPACIO", para buscar un aprendizaje continuo acerca de este ambiente.

El proyecto se cristalizó de manera definitiva a través de dos vías:

1. **Financiera:** mediante la Universidad de la Defensa Nacional, a través de las convocatorias UNDEFI 2018 y 2019.
2. **Operativa:** a través de la antena tecnológica de Defensa y Seguridad, cuya administración y adiestramiento es provisto por la Facultad de Ingeniería del Ejército Argentino, a través del Centro de Prospectiva Tecnológica Militar Gral. Mosconi, acuerdo formalizado a fines del año 2019

El año 2020, por sus particulares características, implicó necesarios cambios en los modos de comunicación y ejecución de los procesos docentes, con ello surge una serie de procesos de implementación de sistemas a distancia que se convirtió en la herramienta por excelencia para la comunicación.

Si bien el observatorio no vio resentida su actividad rutinaria, (difusión del estado del arte en al ámbito aeroespacial), que se llevó a cabo a través de la distribución de boletines mensuales, aspecto que ya se encontraba implementado desde su creación, a lo largo de este período se produjeron 12 ediciones, las cuales pueden ser accedidas en el URL: https://www.esga.mil.ar/Observatorio/boletines.html

Diferente fue el tratamiento de las tareas de extensión y difusión que debieron cambiarse del modo presencial. Estas comprendieron entre otras actividades las siguientes:

1. Artículo Revista Científica de la UNDEF, "Soberanía en la Tercera Dimensión" (mayo de 2020)
2. Exposición "Poder Aeroespacial" Escuela de Aviación Militar primer año (mayo de 2020)
3. Exposición "Estrategia Aeroespacial" en la Escuela de Aviación Militar cuarto año (junio de 2020)
4. Exposición Facultad de la Defensa Nacional "Capacidades de la Fuerza Aérea Argentina" (junio de 2020)
5. Webinar de la Revista de Seguridad y Defensa, "Estrategia Aeroespacial" (junio de 2020)
6. Exposición "Poder Aeroespacial" Universidad Austral Maestría en Políticas Públicas (julio de 2020)
7. Exposición "Aeroespacio" Jornadas Aeroespaciales de la UNDEF (octubre de 2020)
8. Exposición "Futuro del Poder Aeroespacial", Consejo Argentino de Relaciones Internacionales noviembre de 2020)
9. Introducción al Observatorio Aeroespacial, ESGA, Curso de Comando y Estado Mayor (febrero de 2021).

El año 2020 el observatorio encuentra una manera diferente de interactuar tanto con analistas como con observadores tecnológicos a través de la creación de un aula virtual en la Plataforma Educativa Virtual (PEV) de la ESGA (figura 1).

FIGURA DEL AULA VIRTUAL DEL OBSERVATORIO OTA EN LA PEV DE LA ESGA

A través de esta aula virtual se implementaron:

1. Foros de intercambio; para discusión de información.

2. Bases de datos para almacenar noticias que permiten a los analistas determinar si resultan prioritarias para su publicación y establecer cuáles han sido publicadas.
3. Wiki: donde se pueden publicar, comentar y discutir diferentes aspectos de la problemática aeroespacial que se plantean en las distintas páginas congruentes con las áreas de trabajo del observatorio.
4. Pre-boletines: es un área que en formatos de libros se presenta de manera previa a los boletines que se proponen para el próximo mes.

Esta aula virtual se comenzará a implementar en 2021, una vez que nuestros nuevos alumnos hayan sido capacitados como observadores tecnológicos, la intención es que se constituya en una herramienta útil para los trabajos finales integradores, así como una herramienta de trabajo para nuestro observatorio.

4.2

Observatorio Argentino del Ciberespacio

Por el TC (R) OIM Carlos Federico Amaya Co-Director OAC

El "Observatorio Argentino del Ciberespacio" (OAC), tiene como función principal "difundir y hacer conocer el ciberespacio a la comunidad educativa y a la sociedad en general". Nace a partir de un proyecto de la Facultad Militar Conjunta dependiente de la Universidad de la Defensa (UNDEF). Con posterioridad logra su financiamiento y ampliación en las "Convocatorias 2017 para proyectos de Investigación UNDEFI".

Como materialización de este hecho, el OAC comenzó a publicar su Boletín mensual a partir del 25 de junio de 2018, habiendo publicado hasta la fecha y en forma ininterrumpida 32 números (http://www.esgcffaa.edu.ar/esp/oac-boletines.php).

Esta iniciativa dio la posibilidad de llegar mediante la citada publicación a una amplia gama de sectores de la sociedad, que incluyen la comunidad académica, áreas especializadas y en especial a los educandos de nuestra facultad como material de consulta respecto del "Estado del Arte en la Materia", lo que dio origen, además, al desarrollo de actividades de extensión y apoyo a los Trabajos Finales Integradores de los cursos de formación de posgrado que se cursan en esta casa, orientados siempre a la Gobernanza y el Gerenciamiento del área en cuestión.

Se incluye en la temática, además de la ciberdefensa, la ciberseguridad, aspectos relacionados con el gerenciamiento de las Tecnologías de la Información desarrolladas en el quinto dominio Se involucran de esta manera en forma integral las recomendaciones de trabajo propuestas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, 2011, página 6, 19, 44 y otras, es decir se tienen en cuenta todos los aspectos desde una perspectiva vertical del problema: desde las cuestiones estratégicas, hasta lo más sencillo del empleo diario o del análisis técnico del problema).

En oportunidad de una exposición de Vigilancia Tecnológica del entonces Ministerio de Ciencia y Tecnología, (MinCyT), auspiciada por el "Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar "Grl. Mosconi" (CEPTM), de la Facultad de Ingeniería del Ejército (FIE), el grupo de trabajo del OAC se interiorizó en el "Sistema Nacional de Vigilancia e Inteligencia Estratégica" que funciona en ese organismo y del cual el CEPTM es el administrador de la **"Antena Territorial de Defensa y Seguridad".**

Estudiado el tema se iniciaron todos los procesos para incorporar al OAC formalmente a dicha antena como un observatorio más de la misma. Es así que las instituciones participantes el 2 de Julio de 2019 firman un "Convenio de Cooperación Académica" entre la FIE y la entonces ESGC.

El citado documento determina en su primera formalidad "…El presente Convenio tiene por objeto permitir y estimular el intercambio académico entre la FIE (Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar "Grl Mosconi") y la ESGC ("Observatorio Argentino del Ciberespacio") para la realización de actividades conjuntas que promuevan la cooperación y el mejor aprovechamiento de las capacidades disponibles en las áreas de su competencia" (SIC).

Para poder desarrollar sus objetivos el OAC debió adaptar la modalidad de trabajo para que cumpliera con los estándares establecidos por el MinCyT, para obtener la calificación de Observatorio Tecnológico.

Las áreas de trabajo e interés en las cuales el OAC se encuentra trabajando son las siguientes:

> **Estrategia:** el ciberespacio es un elemento viviente y cambiante en el que las tecnologías y los procesos legales y doctrinarios se encuentran en permanente cambio, estos son los aspectos de interés de esta área.
> **Ciberdefensa:** bajo esta área se tratan los aspectos referidos a infraestructuras críticas, sistemas de protección, ataques, conformación de Fuerzas y desarrollo de Recursos Humanos.
> **Ciberseguridad:** el objeto de tratamiento está orientado a los problemas relacionados con las TICs y el impacto con la sociedad, organizaciones alerta y evolución relacionadas con el área.
> **Ciberconfianza:** Esta área surge como puntual recomendación de la ITU y bajo el concepto de integrar una cultura del ciberespacio. Aquí se tratan cuestiones relacionadas con la inter net de las cosas (ioT), los impactos de las nuevas tecnologías y cómo las maneja la sociedad de la información.
> **Ciberdelito, cibercrimen y ciberguerra:** son áreas variables de acuerdo con la forma en que fluye la problemática del ciberespacio, ellas poseen una fuerte relación con la ciberseguridad y la ciberdefensa, pero con ciertas características particulares que le dan entidad propia.
> **Tecnología:** aquí fundamentalmente se han seguido los desarrollos de alto impacto en el ciberes pacio como son la inteligencia artificial, la computación cuántica y la robótica entre otras.
> **Ciberforensia:** es un área dedicada a presentar informes técnicos sobre distintos eventos de cualquiera de las áreas de tratamiento.

Todas las áreas de trabajo se orientan principalmente a la información para la comunidad edu cativa de la UNDEF en general, a especialistas en ciberdefensa, a diferentes organizaciones relacio nadas con el ciberespacio, universidades y centros de pensamiento con interés en el tema.

La información pública y accesible también desde la página web http://www.esgcffaa.edu.ar/esp/oac-boletines.php.

A lo largo de estos cuatro años del OAC se han publicado 32 Boletines. La tarea se ha llevado a cabo mensualmente, a excepción de los meses de enero-febrero en que se ejecutó de manera bimestral.

El sistema de difusión se realiza a través de una base de datos registrada en la herramienta de marketing digital mailchimp (https://mailchimp.com/).

El correo electrónico empleado para el registro de la cuenta es:
observatorioargentinodelciberespacio@conjunta.undef.edu.ar

Las estadísticas que proporciona el sistema de difusión son periódicas en relación con los envíos y con una cantidad de aspectos para su análisis. A los efectos del presente trabajo se ha realizado una tabla de resumen que, de alguna manera, sintetiza los aspectos de mayor consideración para evaluar la tarea realizada.

N° Actividad realizada Cantidad
1. Entregas: 14.971
2. Aperturas: 9786
3. Países y porcentajes: Alemania 0,061 - Argentina 47,87 - Bélgica 0,01- Brasil 1,16 - Canadá 0,05 - Chile 0,14 - China 0,01 - Chipre 0,05 - Colombia 0,1 - Cuba 0,03 - Ecuador 0,05 – Estados Unidos 45,54 - España 0,48 - Francia 0,1 Guyana 0,03 - Italia 0,11 - México 2,49 - Nicaragua 0,01 - Países Bajos 0,16 Panamá 0,08 - Perú 0,34 - República Dominicana 0,01 - Singapur 0,01 – Sudáfrica 0,01 – Suiza 0,01 – Reino Unido 0,5 – Uruguay 0,56 – Venezuela 0,03.

La tarea de extensión

Como detalle del objetivo de llevar la cultura del ciberespacio a diferentes ámbitos de la comunidad, se han cumplido tareas de extensión como: participación en foros, conferencias, la realización de cursos, presentaciones en distintos tipos de medios (canales de *streaming*, medios gráficos y seminarios o dictando clases en otros ámbitos), se destacan:

- El OAC participó en el Taller de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2018), evento organizado desde 1999 por la Red de Universidades Nacionales con Carreras de Informática (RedUNCI). http://wicc2018.unne.edu.ar/wicc2018librodeactas.pdf, página 1048.
- Una de las actividades de difusión más efectivas fue la participación del OAC en un canal de *streaming*, en este caso fue el canal 22 “Islas Malvinas”. Esta modalidad de trabajo fue empleada en 2 (dos) oportunidades.
- Posteriormente, ya dentro del período de cuarentena, el observatorio tuvo la oportunidad de interactuar con la Maestría de Ciberseguridad y Ciberdefensa de la Universidad Nacional de Buenos Aires (UBA). En esa oportunidad se disertó sobre “El ciberespacio. Pensando en el conflicto Futuro”.
- Se dictó durante el segundo semestre de 2019 con una duración de 40 (cuarenta) horas el Curso “Programa Intensivo de Introducción a la Ciberdefensa y Ciberseguridad”.
- en razón de los requerimientos que surgieron en el curso del 2019, en 2020 se dictó la “Diplomatura Universitaria en Gerenciamiento del Área de Ciberdefensa y Ciberseguridad” desarrollado entre 18 de agosto y 26 de noviembre, con una carga horaria de 90 horas y la participación de 66 diplomandos. La diplomatura desarrolla las siguientes temáticas:

    - Presentar los aspectos generales de ciberdefensa y ciberseguridad y su relación con la tecnología de la información.
    - Introducir los aspectos generales de sobre los diferentes tipos de ilícitos que se llevan a cabo a través de este nuevo ambiente (por ejemplo: ciber espionaje, activismo Hacker, ciber crimen y ciber conflictos entre otros).
    - Analizar los principios y sistemas de gestión más relevantes de la ciberdefensa.
    - Adquirir los conceptos y desarrollar habilidades en el ámbito del planeamiento estratégico de la ciberdefensa.
    - Adquirir habilidades de gerenciamiento y de instrumentación en el contexto de la formación y el entrenamiento de los recursos humanos en ciberdefensa.
    - Analizar los aspectos más sensitivos del gerenciamiento de la ciberdefensa de la infraestructura crítica.
    - Entender la complejidad del gerenciamiento innovador para enfrentar los nuevos desafíos cibernéticos.

- Aportar al desarrollo de capacidades, conocimientos, técnicas, procedimientos y aptitudes profesionales para dirigir e integrar equipos técnicos de investigación en ámbitos de la inteligencia aplicada, la defensa nacional y escenarios de toma de decisiones en el gerenciamiento de la ciber disuasión, en los ámbitos estatales y privados.
- Analizar la importancia del Estándar ISO/IEC 27000 en un contexto de Ciberdefensa.

TEC1000 es una publicación anual que aborda la Vigilancia Tecnológica y Análisis Prospectivos para afrontar con éxito las amenazas y desafíos tecnológicos futuros.

Nuestras publicaciones

TEC1000 . **2016**

TEC1000 . **2017**

TEC1000 . **2018**

www.fie.undef.edu.ar/ceptm/