



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN

**DESECHO DE ARMAS QUÍMICAS DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL: LOS
RETOS QUE SE PLANTEAN**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

MARÍA FERNANDA DÍAZ AMBRIZ

CDMX

2024





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

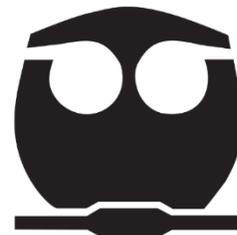
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación o Graduación con trabajo escrito)**

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la Institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DESECHO DE ARMAS QUÍMICAS DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL: LOS RETOS QUE SE PLANTEAN que presenté para obtener el título/grado de INGENIERA QUÍMICA, es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por la Facultad de Química, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación/graduación.

Atentamente

María Fernanda Díaz Ambriz
315128701

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: PROFESOR BENJAMIN RUIZ LOYOLA
VOCAL: PROFESOR JOSE MANUEL MENDEZ STIVALET
SECRETARIO: PROFESORA MARIA KENIA ZAMORA ROSETE
1er. SUPLENTE: PROFESORA VIRIDIANA GISELA LLERA ROJAS
2° SUPLENTE: PROFESOR FERNANDO SANTIAGO GOMEZ MARTINEZ

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO.

ASESOR DEL TEMA:

Profesor Benjamín Ruiz Loyola

SUSTENTANTE:

María Fernanda Díaz Ambriz

Dedicatoria

Agradezco profundamente a todas las personas que han sido parte de este viaje y que han tenido un impacto positivo a lo largo de este proyecto, no solo de titulación, sino en la trayectoria que me ha llevado hasta este punto.

A mis papás, Araceli y Fernando, quienes siempre me han apoyado incondicionalmente. A mi papá, por compartir su sabiduría y su manera única de encontrar soluciones. A mi mamá, en especial, quien parece haber estudiado la carrera conmigo por todas las desmañadas, desveladas, sacrificios y entrega en cada paso que doy. Te amo mamá; siempre eres mi motor para seguir creciendo y la fortaleza la he aprendido de ti.

Por supuesto a mi hermana, a mi compañera de vida, por compartir las alegrías y preocupaciones de este camino, y por comprenderme en los momentos de mayor estrés. Sé que pronto celebraremos también tu titulación.

Al amor de mi vida, Heber. Gracias por ser siempre mi cómplice en absolutamente todo. Estoy eternamente agradecida con el universo por habernos conocido desde el primer día que entramos a la Facultad, por ser mi mejor amigo, mi impulso y mi motivación para siempre dar más y alcanzar mis metas. Por ti, que me apoyaste en cada paso no solo en este trabajo, sino en cada momento que hemos vivido. Aunque estés a un océano de distancia cumpliendo tu sueño, te siento cerca de mí. Te amo, por siempre.

A mis amigos de la carrera, con quienes he tenido la fortuna de mantener una relación más allá de lo académico: a Josa, con quien me reencontré después de años; a Paulina, Fernandita, Karen, Cathy, Ruth, Aram, Carlitos, Sam, Pao y a todos aquellos que no menciono, pero que atesoro. Gracias por compartir laboratorios, exámenes, noches de proyectos, horas de comida y más.

Al Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, a Mayte y Octavio, quienes nos abrieron las puertas y nos mostraron lo maravilloso del laboratorio de investigación. A la señora Dalia y a Jorge, quienes nos apoyaron en todo momento.

A quienes me han ayudado a crecer profesionalmente y personalmente: a BI por abrirme las puertas al mundo corporativo; a César, mi primer líder; a Fátima y Ale, quienes también son mis mentoras y red de apoyo.

Finalmente a la UNAM, porque me sacó de mi burbuja y me permitió conocer a personas con perspectivas diversas que me ayudaron a cuestionarme. Gracias por brindarme una educación gratuita y de calidad, pero sobre todo, por ser el medio a través del cual conocí a personas increíbles.

Índice

Dedicatoria	4
Índice	6
I. Introducción	8
1.1 Justificación de la investigación	8
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo general.....	9
1.2.2 Objetivos particulares	9
II. Municiones no detonadas y armas químicas de la Segunda Guerra Mundial	10
2.1 Antecedentes históricos y contexto global.....	10
2.2 Impacto actual en el medio ambiente y la seguridad humana	13
III. Chemsea Project	15
3.1 Origen y objetivos del Chemsea Project	15
3.2 Investigaciones y hallazgos del proyecto.....	18
3.3 Implicaciones para el medio ambiente y la seguridad	20
IV. Armas químicas desechadas	24
4.1 Distribución geográfica de los sitios de desecho	24
4.1.1 Europa y Asia.....	24
4.1.2 Estados Unidos.....	27
4.2 Riesgos asociados.....	29
V. Tecnologías de detección y eliminación de armas químicas	31
5.1 Tecnologías de detección y eliminación	31
5.1.1 Hidrólisis.....	35
5.1.2 Fracturación criogénica	36
VI. Impactos ambientales y riesgos asociados	38
6.1 Efectos ambientales de las municiones no detonadas.....	38
6.2 Riesgos para la seguridad humana	41
VII. Aspectos políticos en la destrucción de armas químicas	43
7.1 Resoluciones y acuerdos relevantes de la CWC.....	43
VIII. Caso de Siria	49
8.1 Antecedentes del conflicto en Siria	49
8.2 Desarrollo y ejecución del programa de destrucción	50
IX. Conclusiones	55

X. Bibliografía	57
Referencias capítulo II: Municiones no detonadas y armas químicas de la Segunda Guerra Mundial.....	57
Referencias capítulo III: Chemsea Project	58
Referencias capítulo IV: Armas químicas desechadas	59
Referencias capítulo V: Tecnologías de detección y eliminación de armas químicas	61
Referencias capítulo VI: Impactos ambientales y riesgos asociados	62
Referencias capítulo VII: Aspectos políticos en la destrucción de armas químicas	64
Referencias capítulo VIII: Caso de Siria	65
Anexo 1 – Lista 1	67
Glosario	80

I. Introducción

1.1 Justificación de la investigación

La eliminación segura de armas químicas es un tema que toma relevancia en el panorama internacional, tanto por sus implicaciones en la seguridad global como por sus efectos devastadores en el medio ambiente y la salud humana.

Este proyecto de actualización monográfica se justifica en virtud de la necesidad urgente de comprender y abordar los desafíos asociados con la presencia y eliminación de armas químicas de la Segunda Guerra Mundial, donde constituyen un problema de seguridad para varios países.

En primer lugar, el legado de conflictos pasados, como la Segunda Guerra Mundial, ha dejado una cantidad significativa de armas químicas no detonadas, representando un peligro latente para las poblaciones locales y el ecosistema circundante. La revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con este tema permitirá una comprensión más profunda de la magnitud del tema y de las mejores prácticas para su abordaje.

Además, la colaboración internacional es esencial para enfrentar eficazmente este desafío, como lo demuestran proyectos como el *Chemsea Project* y los esfuerzos conjuntos de países bálticos en la eliminación de armas químicas en el Mar Báltico. Este proyecto de actualización monográfica proporcionará una visión integral de las iniciativas internacionales en curso y de las lecciones aprendidas, contribuyendo así a fortalecer la cooperación global.

Por otro lado, los avances tecnológicos en la detección y eliminación de armas químicas ofrecen nuevas oportunidades para abordar este problema de manera más segura. La revisión de estas tecnologías emergentes, como la hidrólisis y la fracturación criogénica, permite identificar posibles soluciones innovadoras y a promover su aplicación práctica en el terreno.

Finalmente, este proyecto de actualización monográfica tiene como objetivo generar conciencia sobre los impactos a largo plazo de las armas químicas en el medio ambiente y la salud humana, así como sobre la importancia de fortalecer los marcos

legales y políticos para su correcta disposición final y tratamiento. Al proporcionar una revisión exhaustiva de este tema complejo y multidisciplinario, se espera que este proyecto sirva como un recurso valioso para investigadores, formuladores de políticas y otros actores interesados en la seguridad global y la protección ambiental relacionado con el desecho de armas químicas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Examinar la complejidad y la importancia de abordar el desecho seguro de armas químicas de la Segunda Guerra Mundial a nivel global, así como el impacto ambiental asociado, mediante la recopilación y síntesis de diversos documentos, artículos científicos e investigaciones internacionales. Se busca destacar la colaboración mundial para enfrentar el legado de la guerra, tomando como punto de partida proyectos emblemáticos como el *Chemsea Project* y otros casos relevantes. Además, se pretende examinar los avances tecnológicos y los esfuerzos internacionales en la destrucción de armas químicas, así como identificar los desafíos y éxitos en la desmilitarización química, con el fin de contribuir al conocimiento y la conciencia sobre este tema crucial para la seguridad global y la protección del medio ambiente

1.2.2 Objetivos particulares

- Realizar una revisión íntegra de la literatura científica y técnica relacionada con el desecho de armas químicas de la Segunda Guerra Mundial, abordando tanto investigaciones actuales como históricas.
- Identificar y analizar los principales proyectos y programas internacionales dedicados al tratamiento y eliminación de armas químicas de la Segunda Guerra Mundial, con énfasis en sus resultados obtenidos.
- Evaluar el impacto ambiental a largo plazo de la presencia de armas químicas no detonadas en diversos contextos geográficos, destacando el caso específico del Mar Báltico.
- Investigar los avances tecnológicos de hidrólisis y fracturación criogénica para el tratamiento de disposición final de armas químicas.

- Analizar los informes y documentos oficiales de organizaciones internacionales como la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ o por sus siglas en inglés OPCW), para comprender el progreso en la implementación de la Convención de Armas Químicas y los desafíos pendientes en la destrucción de *stocks* de armas químicas.
- Investigar casos específicos de desmilitarización química exitosa, como el proceso de eliminación de armas químicas en Siria.

II. Municiones no detonadas y armas químicas de la Segunda Guerra Mundial

2.1 Antecedentes históricos y contexto global

Para comenzar con los antecedentes históricos, hay que definir qué se entiende por un arma química. Según la Convención sobre las Armas Químicas (2016), se establece que un arma química es:

1. Toda sustancia química tóxica que pueda causar la muerte o lesiones a seres humanos o animales por su acción química sobre los procesos vitales.
2. Cualquier precursor químico empleado para producir una sustancia química tóxica.
3. Municiones o dispositivos destinados a causar lesiones o la muerte por medio de la liberación de sustancias química tóxicas. Entre ellos, pueden incluirse morteros, misiles, bombas, minas, entre otros.
4. Todo equipo diseñado para usarse con municiones y dispositivos identificados como armas químicas.

La Convención sobre las Armas Químicas (2011) prohíbe el desarrollo, la producción, el almacenamiento, la transferencia y el empleo de armas químicas. Se trata de la prohibición total de toda una categoría de armas de destrucción masiva.

Si bien existieron esfuerzos previos para abordar la prohibición de armas químicas, eclipsados por las preocupaciones sobre la guerra nuclear durante gran parte de la Posguerra (al mismo tiempo que biológicas y nucleares), en 1992 la Conferencia de Desarme de la ONU marcó un hito crucial al adoptar formalmente un proyecto de Convención sobre la materia.

Para contextualizar, en 1968, cuando las discusiones sobre armas biológicas y químicas comenzaron en la Conferencia de Desarme de Ginebra, se reabrió el debate sobre la necesidad de una prohibición completa de las armas químicas. Las negociaciones se desarrollaron por caminos divergentes, dando lugar a tratados con enfoques distintos.

La Convención sobre Armas Biológicas (por sus siglas en inglés BWC -*Biological Weapons Convention*-) se concluyó en poco tiempo y se abrió a firma en 1972. Significativamente para los esfuerzos posteriores para prohibir las armas químicas, la BWC obligó a sus Estados Partes a continuar las negociaciones sobre las armas químicas, con el objetivo de instituir medidas que ordenaran su destrucción y la prohibición de su desarrollo, producción y almacenamiento (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2014).

Las negociaciones sobre la Convención sobre Armas Químicas tomaron mucho más tiempo, progresando a marchas forzadas a medida que los avances acompañaban los cambios políticos en diversos países.

En 1980, la Conferencia de Desarme estableció un grupo de trabajo ad hoc sobre armas químicas. Cuatro años más tarde, se le asignó al grupo la tarea de elaborar un contenido para la prohibición de las armas químicas, y así surgió el "texto continuo" (o '*rolling text*' en inglés) provisional de la Convención.

Hubo situaciones que empujaron a que las negociaciones de la Convención avanzaran con fuerza, como: la mejora en las relaciones entre las superpotencias a finales de la década de 1980 o el anuncio de un acuerdo bilateral entre Estados Unidos y la Unión Soviética para destruir la mayor parte de sus arsenales de armas químicas y abstenerse de su producción en un futuro (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2014).

La cantidad de armas químicas que poseían ambos países, era suficiente para destruir gran parte de la vida humana y animal de la Tierra (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2014).

A pesar de los avances, todavía quedaba una serie de cuestiones por resolver. Algunos países abogaban por la vinculación del desarme químico con el progreso en el desarme nuclear, mientras que otros buscaban disposiciones para la defensa contra ataques químicos.

Es hasta 1993, que la Convención sobre Armas Químicas abrió para firma en París. En una muestra de apoyo sin precedentes a un tratado internacional de control de armamentos, 130 países firmaron la Convención durante los tres días que duró la conferencia en París. Entre los países que firmaron, se encontraba México. La Convención entró en vigor en 1997 y actualmente cuenta con 193 Estados Partes (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2014).



Figura 1. Mapa de los Estados Miembros comprometidos con la Convención sobre las Armas Químicas. Fuente: OPCW, 2024. Autoría: elaboración propia.

El 29 de abril de 1997 marcó un hito histórico en el camino hacia la paz y la seguridad internacional con la entrada en vigor de la Convención sobre las Armas Químicas (CAQ). Este tratado multilateral, el primero en su tipo, estableció la eliminación de una categoría completa de armas de destrucción masiva en un plazo determinado (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2014).

La Convención sobre Armas Químicas es un instrumento histórico que ha logrado avances significativos en la eliminación de las armas químicas. La Convención ha prohibido el desarrollo, la producción, la adquisición, la posesión, el almacenamiento y la transferencia de armas químicas. También ha establecido un régimen de verificación para garantizar el cumplimiento de la disposición final de las armas químicas.

La CAQ culminó años de arduas negociaciones en la Conferencia de Desarme y la Comisión Preparatoria, dando lugar a un régimen internacional de desarme liderado por la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ) (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2014).

La Convención sobre Armas Químicas es un ejemplo importante de cooperación internacional en materia de desarme y seguridad.

Sin embargo, todavía hay desafíos que enfrentar. Algunos Estados no han firmado la Convención, como por ejemplo Egipto o Corea del Norte. Es por ello importante continuar trabajando para lograr la eliminación completa de las armas químicas.

La OPAQ tiene el mandato de garantizar el cumplimiento de la Convención, poniendo fin al desarrollo, producción, almacenamiento, transferencia y uso de armas químicas, previniendo su resurgimiento y asegurando la eliminación de las existentes (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2014). Con la plena implementación de la CAQ, se aspira a erradicar la amenaza de la guerra química y construir un mundo más seguro para las siguientes generaciones.

[2.2 Impacto actual en el medio ambiente y la seguridad humana](#)

Se consideran armas químicas abandonadas (por sus siglas en inglés ACW, *Abandoned Chemical Weapons*) aquellas dejadas por un Estado Parte, después del 1 de enero de 1925, en el territorio de otro Estado sin su consentimiento. Una vez declaradas, su origen se verifica y se establece evidencia sobre su abandono e identidad del Estado que la abandonó. Este último es responsable de brindar

recursos para su destrucción, mientras que el Estado territorial debe cooperar de manera adecuada (OPCW, 2024).

La recuperación y destrucción de armas químicas abandonadas y antiguas presentan dificultades particulares para los Estados, ya que suelen mezclarse con otras municiones peligrosas. El deterioro de los componentes explosivos y de seguridad aumenta el riesgo al acercarse o manipular estos elementos (OPCW, 2024).

Algunas de las preocupaciones ambientales son:

- **Contaminación:** La posible contaminación del suelo y el agua debido al deterioro de armas químicas vertidas al mar antes de 1985 o enterradas antes de 1977 puede demandar su recuperación y eliminación.
- **Degradación:** Los agentes químicos almacenados durante más de medio siglo exigen un manejo y transporte con las más estrictas medidas de seguridad para evitar liberaciones accidentales en el entorno donde se encuentra.
- **Riesgos asociados:** Existen riesgos inherentes a las operaciones de destrucción regulares, aunque se mitigan con salvaguardas físicas (diseño y equipamiento apropiados) dentro de las instalaciones. Existe una creciente preocupación pública sobre la exposición directa y a largo plazo a agentes, productos de eliminación y degradación (OPCW, 2024).

Existen normas ambientales para asegurar la destrucción de armas químicas de forma segura y disminuir el riesgo de impacto ecológico. Los Estados deben cumplir con estándares nacionales de seguridad y medio ambiente. Además, los Estados deben obtener los permisos ambientales necesarios para cada instalación de destrucción antes de su funcionamiento.

Las medidas de verificación de la OPCW (2020) no evalúan ni supervisan el cumplimiento de estándares nacionales, lo cual sigue siendo responsabilidad del Estado. Sin embargo, se espera que la declaración de estándares nacionales

contribuya a proteger a la población, al personal de inspección y al medio ambiente durante las operaciones con armas químicas.

Cada Estado puede elegir su método de destrucción, pero están prohibidas las opciones con alto impacto ecológico como vertido al mar, enterrar las armas químicas o incineración al aire libre.

La tecnología seleccionada debe minimizar el riesgo de liberación de agentes químicos durante el almacenamiento, transporte y eliminación, así como reducir al mínimo el impacto en la salud pública y el medio ambiente derivado de los efluentes del proceso (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020).

III. Chemsea Project

3.1 Origen y objetivos del Chemsea Project

Tras la Primera y Segunda Guerra Mundial, se acumularon grandes cantidades de agentes de guerra química (*chemical warfare agents* por sus siglas en inglés CWA) en Europa. Tras la Segunda Guerra Mundial, los CWA alemanas almacenadas en Wolgast, en la costa del Mar Báltico, supusieron un desafío de eliminación. Siguiendo las órdenes de las fuerzas de que ocupaban la región, la mayoría de estas armas fueron vertidas en el Estrecho de Skagerrak y en el Mar Báltico. Se estima que se vertieron al menos 170,000 toneladas de CWA en Skagerrak, principalmente en la Fosa Noruega y cerca de la costa sueca. Los métodos de eliminación consistieron en hundir barcos cargados con CWA (HELCOM, 2018).

Al menos 50,000 toneladas de CWA, con aproximadamente 15,000 toneladas de agentes activos, fueron vertidas en el Mar Báltico. Los principales lugares de vertido son el Pequeño Cinturón (*Little Belt* en inglés), la isla de Bornholm y la cuenca de Gotland (*Gotland Deep*) (HELCOM, 2018).

Estos materiales vertidos a menudo contenían explosivos o propulsantes como carga de refuerzo, causando un problema de contaminación subacuática. Existen indicios donde parte de los CW fueron arrojados por la borda durante el transporte

hacia los vertederos del Mar Báltico, por lo que se desconoce el volumen exacto de las armas químicas (Andrulewicz, 1996; Beldowski, y otros, 2016), donde se pueden apreciar en la figura 2.

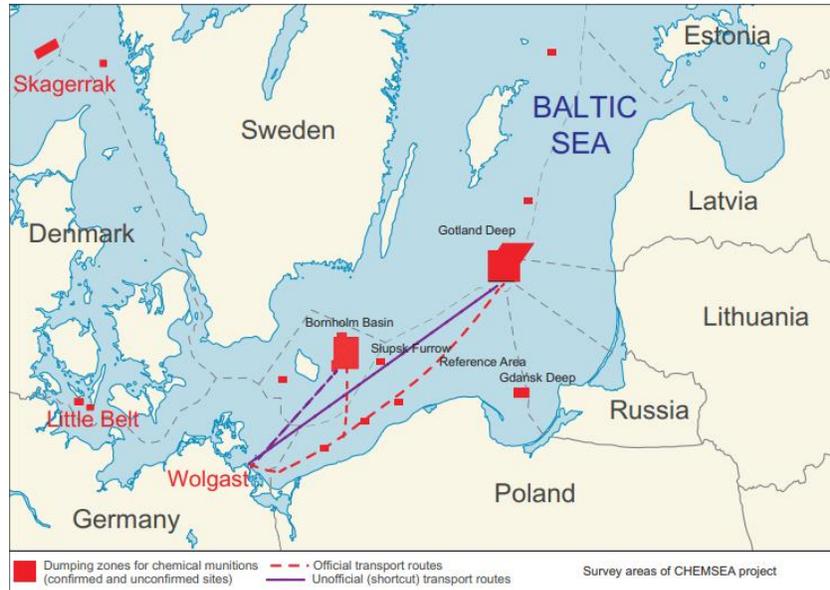


Figura 2. Dumping sites of chemical munitions in the Baltic Sea. Retomado de Beldowski, J. et. al. (2016).

El proyecto CHEMSEA (*Chemical Munitions Search & Assessment* en inglés) surgió de la necesidad de mapear y evaluar los vertederos de armas químicas en el Mar Báltico. Su objetivo es convertir los descubrimientos científicos en herramientas que puedan utilizar las autoridades marítimas para gestionar los riesgos (HELCOM, 2018).

El fondo marino del Mar Báltico es un recurso compartido por todas las naciones vecinas, como se aprecia en la figura 2. Su gestión sostenible requiere de la colaboración transnacional tanto para los riesgos ambientales asociados como para un futuro con actividades industriales. Esto incluye a una serie de cables submarinos y parques eólicos marinos, un túnel de Alemania a Dinamarca y varios oleoductos, como por ejemplo Nordstream que se extiende por un poco más de 1,224 km por el fondo del Mar Báltico desde Rusia a Alemania (Beldowski, y otros, 2014).

Varios de estos proyectos se encuentran cerca de zonas de riesgo de contaminación por la degradación de los CWA (Bełdowski, y otros, 2014). Asimismo, la pesca que llega a tener contacto con el fondo en las zonas próximas a los vertederos de los CWA es intensiva, por lo que constituyen un serio problema constante.

El proyecto CHEMSEA detalla la ubicación de las municiones químicas vertidas, la extensión de la contaminación de los sedimentos y los posibles impactos en la vida marina. Además, resume las directrices desarrolladas para los distintos actores implicados en el Mar Báltico. El éxito del proyecto refleja el esfuerzo colaborativo de 11 instituciones asociadas de Finlandia, Alemania, Lituania, Polonia y Suecia, junto con numerosas instituciones asociadas como la Comisión de Helsinki y agencias gubernamentales nacionales. El Fondo Europeo de Desarrollo Regional también proporcionó financiación parcial a través del Programa de la Región del Mar Báltico (Bełdowski, y otros, 2014).

Se formularon varios objetivos para el proyecto para abordar problemas ambientales y de gestión, los cuales son:

1. Creación de mapas detallados de Gotland y Gdansk. La ubicación de municiones, las áreas de sedimentos contaminados y la fauna que podría verse afectada.
2. Evaluación de la toxicidad de los productos de degradación de CWA para la vida acuática basada en investigaciones in situ y en laboratorio.
3. Creación de un modelo que predice la magnitud y dirección de los eventos de filtración.
4. Evaluación integrada de los peligros ambientales de los desechos de CWA.
5. Creación de métodos innovadores y unificados para la evaluación de productos de desgaste de CWA y CWA que serán tratados en todas las naciones del Mar Báltico.
6. Creación de directrices para diversos grupos objetivo para utilizar al trabajar con sedimentos bálticos contaminados.

Al mismo tiempo, caracterizar los vertederos, elaborar directrices para reducir las amenazas potenciales para el medio ambiente y los pescadores, y preparar un plan de contingencia conjunto para toda la región en caso de fugas de CWA son los objetivos del proyecto para cubrir las lagunas existentes sobre los vertidos de los CWA en el Mar Báltico.

3.2 Investigaciones y hallazgos del proyecto

Para la pesca o la instalación de infraestructura submarina, la seguridad marítima tiene como requisito conocer la posición de los CWA, por lo que Chemsea Project abarca la verificación y actualización de la información sobre la ubicación de las municiones químicas en el Mar Báltico.

El proyecto capturó datos mediante sonares, ecosondas y magnetómetros operados desde embarcaciones o mediante imágenes tomadas con vehículos submarinos. La información fue procesada en mapas *GIS ARCMAP* que permitieron mostrar las posiciones reales de las municiones y de los sedimentos contaminados (Beldowski, y otros, 2014).

La Academia Naval Polaca (o por sus siglas en inglés PNA) y otras instituciones polacas, realizaron varios cruceros de investigación a bordo de los buques Báltica y Oceanía para detectar y verificar a los CWA en las zonas profundas de Gdansk and Gotland.

En un primer paso, se determinó la medida potencial de los objetos o contenedores que podrían ser identificados como municiones químicas o desechos que podrían contener municiones químicas, como cajas de artillería de 150 mm y cajas de acero.

De acuerdo en la investigación de Chemsea (2014) realizar un estudio hidroacústico es aconsejable como primer paso, tanto en la evaluación del impacto ambiental como en la selección del lugar de trabajo en la zona donde se sospecha que existen municiones vertidas.

En el caso para descartar objetos naturales o que no se relacionen con las municiones, el sonar se complementó con otras técnicas, como la magnetometría para detectar objetos ferrosos. Ver ejemplo del sistema de búsqueda en la figura 3.

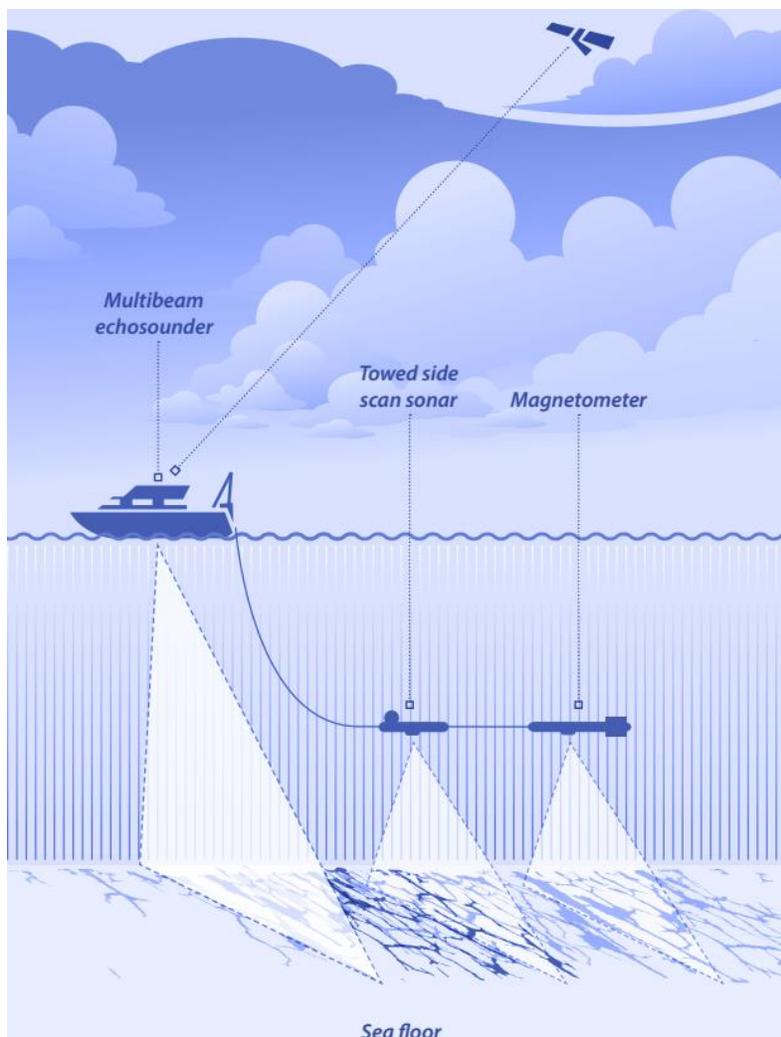


Figura 3. Survey Equipment Configuration. Retomado de Beldowski, J. et. al. (2014).

Parte de las técnicas mencionadas generan enormes cantidades de datos, por lo que se fusionaron y procesaron mediante programas informáticos SIG. El resultado es una representación gráfica de la zona estudiada en forma de cartas detalladas destinadas a apoyar las actividades marítimas humanas.

Además, la base de datos SIG se amplió con datos sobre los niveles de concentración de varios compuestos químicos después de recibir resultados de análisis de laboratorio de muestras de sedimentos. Esto permitió correlacionar las posiciones de muestreo con los niveles de contaminación.

Los contaminantes se clasificaron en dos grupos de sustancias relacionadas con el arsénico y los productos de degradación de CWA. Esto permitió generar un mapa de los niveles de contaminantes y detecciones de los CWA y sus productos de degradación. Se muestra a continuación una imagen como ejemplo de las áreas con presencia de compuestos químicos y sus productos de degradación.

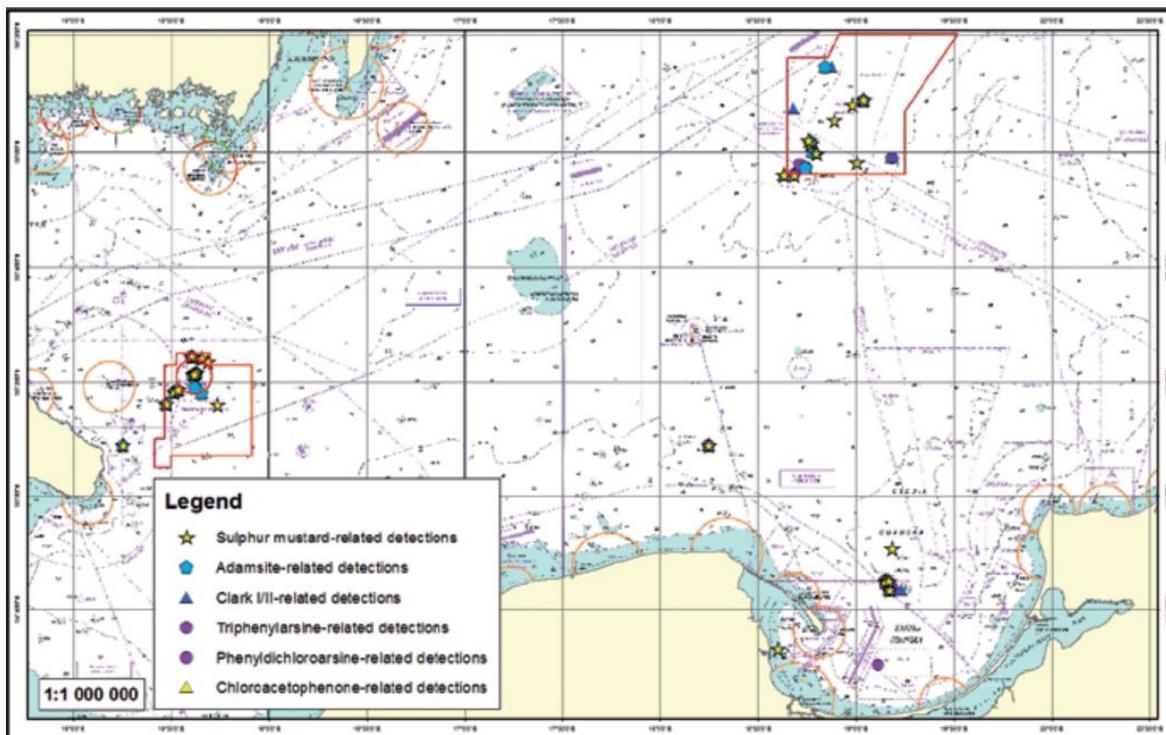


Figura 4. Positions of positive detections of chemical warfare agents and their degradation products. Recuperado de (Bełdowski, y otros, 2014).

3.3 Implicaciones para el medio ambiente y la seguridad

Para conocer los efectos de los CWA, los estudios incluyeron el bacalao y mejillones, recogiendo varias muestras de sedimentos, de agua y tejidos para observar en laboratorio.

Diferentes factores ambientales como la temperatura, la salinidad, la presencia o disminución de oxígeno, el tipo y la composición química de los sedimentos o la presencia de bacterias, así como su combinación específica, afectan a los procesos químicos en el medio marino.

Las sustancias químicas se transforman constantemente y cambian su estructura y propiedades. Por ello, la detección de CWA en muestras ambientales se centra principalmente en sus diversos productos de degradación.

Recordando que hay sitios oficiales de desecho reconocidos en el Mar Báltico, los cuales son: Little Belt, Bornholm Basin, and Gotland Deep, donde parte de los CWA son tabún (*tabun* en inglés) en Little Belt y mostaza de azufre en Gotland Deep (Knobloch et. al., 2013).

La mostaza azufrada representa la mayor parte de todos los CWA vertidos en el Mar Báltico. Otros agentes principales pertenecen a los compuestos arseno orgánicos. Entre ellos: Clark I (difencilcloroarsina), Clark II (difencilcianoarsina), Adamsita (difencilamina cloramina), Lewisita (dicloro (2-clorvinil)-arsano) y Dick (etildicloroarsina) (Zalewska, y otros, 2023).

En los sedimentos de los sitios oficiales se encontraron derivados o productos de oxidación de la mostaza azufrada, Adamsita, la trifenilarsina, entre otros. A pesar de las diferencias entre las sustancias químicas de origen y los derivados, la mayoría de los productos de degradación de CWA tienen propiedades tóxicas similares a las de las sustancias químicas de las que proceden (Beldowski, y otros, 2014).

Las armas químicas vertidas ponen en peligro el ecosistema marino principalmente por la posibilidad de liberar compuestos con un efecto tóxico específico, que depende de las transformaciones que hayan sufrido las sustancias como resultado de su exposición a condiciones fisicoquímicas particulares.

Por poner un caso en el agua de mar, el gas mostaza (2,2'-dicloro-dietil-sulfuro) tiende a polimerizarse (Missiaen, Söderström, Popescu, & Vanninen, 2010) y se hidroliza lentamente a tiodiglicol (que no es tóxico) y el HCl, se neutraliza en el agua de mar (Glasby, 1997). Cuando se hidrolizan compuestos que contienen arsénico, se forman compuestos que pueden seguir siendo tóxicos. Clark I y II, cloruro y cianuro de difencil arsina, respectivamente, se hidrolizan a óxido de tetrafenildiarsina, que no puede desintoxicarse mediante hidrólisis posterior y puede conservarse en

el fondo marino durante muchos años (Glasby, 1997). La adamsita es cloruro de fenarsazina, la cual es poco soluble en agua de mar y se hidroliza lentamente a óxido fenarsazínico, que no puede desintoxicarse mediante hidrólisis posterior (Glasby, 1997).

Además, el resto de derivados de CWA tienen tasas de descomposición más bajas y pueden considerarse contaminantes persistentes. Casi un tercio de las muestras recogidas en el proyecto CHEMSEA contenían al menos un rastro de municiones químicas. En comparación, solo en una muestra se detectó mostaza azufrada intacta (Beldowski, y otros, 2014).

La contaminación con CWA es claramente visible en Bornholm. En esta zona, casi todas las muestras analizadas contenían derivados de CWA. Se encontró arsénico con CWA en 14 de las 21 muestras totales recogidas en la zona. Las concentraciones totales de arsénico también eran elevadas en esa región en comparación con los niveles de fondo (Beldowski, y otros, 2014). Las concentraciones de arsénico solo disminuyeron en las muestras tomadas en el transecto¹ a distancia creciente del vertedero primario o secundario de Bornholm, y no se encontró arsénico en los sedimentos.

Por tanto, se puede sugerir que la contaminación de los sedimentos con CWA es local y depende en gran medida de las características medioambientales del lugar. Esto también demuestra que la eliminación de armas químicas se extendía dentro del vertedero de Gotland (Beldowski, y otros, 2014).

En todas las zonas de interés existe una relación visible entre concentración total de arsénico y su presencia, aunque en muy pocos casos el contenido de arsénico superó el fondo biogeoquímico estimado para todo el Mar Báltico. La concentración de arsénico en los sedimentos se encuentra en un rango de 11 a 18 mg/kg con un incremento de 30 mg/kg en capas que datan de 1940 a 1960 (Zalewska, y otros, 2023). Ver figura 4.

¹ Transecto es el muestreo caracterizado por la toma de datos en determinados recorridos prefijados (Real Academia Española, 2024).

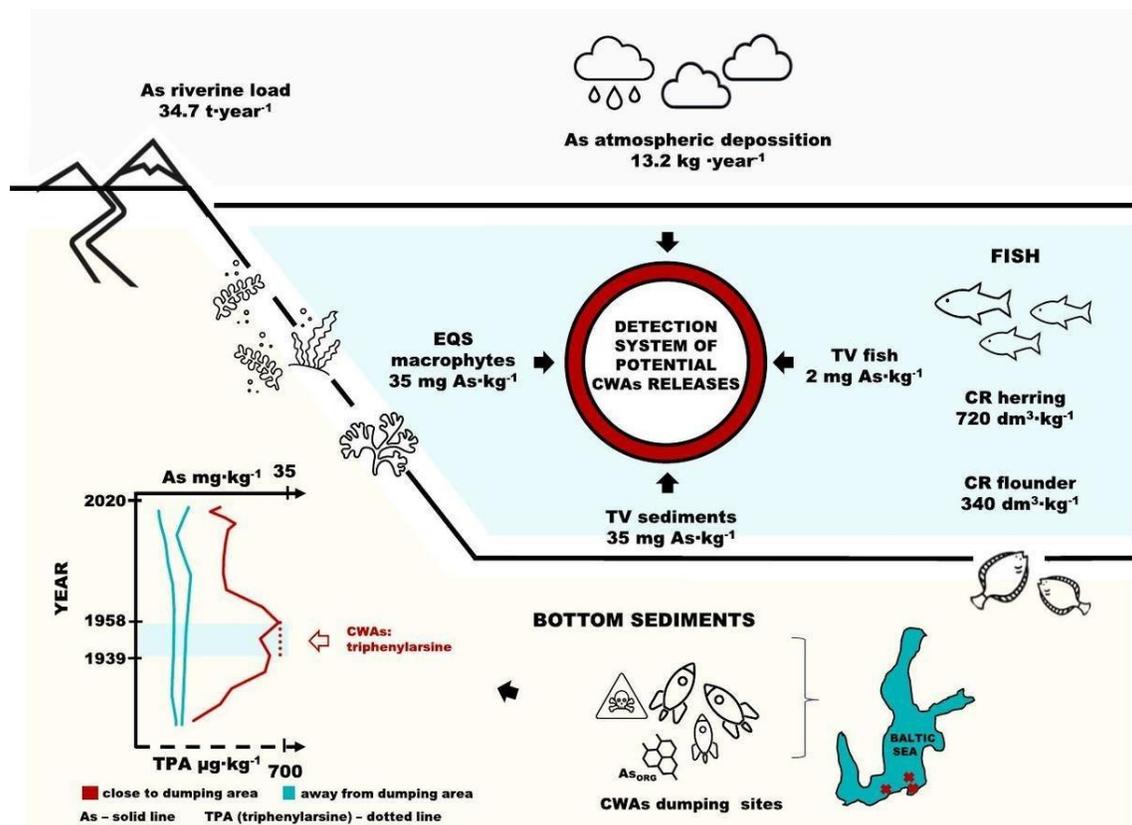


Figura 5. The scale of the potential contamination of the southern Baltic by substances from dumped chemical weapons, in the context of applying a strategy for detecting the potential releases of toxic materials (Zalewska, y otros, 2023).

Zalewska y otros (2023) destacan los siguientes puntos:

- El arsénico resultó ser un indicador adecuado de la liberación de compuestos arseno orgánicos.
- Se detectó trifenilarsina en la capa de sedimentos del periodo 1939-1958.
- Se establecieron valores umbral para el arsénico total en plantas y peces.

Según las estimaciones de corrosión y lixiviación y los procesos naturales que afectan a las transformaciones y las condiciones ambientales existe la posibilidad que la transición de sustancias químicas tóxicas al medio ambiente circundante aumente constantemente con el tiempo. Chemsea (2014) sugiere continuar vigilando en las zonas de vertido. Es importante tanto para estimar el estado de las

municiones químicas y municiones y contenedores químicos como para seguir estudiando el medio ambiente.

IV. Armas químicas desechadas

4.1 Distribución geográfica de los sitios de desecho

4.1.1 Europa y Asia

Para comenzar con los sitios de desecho, se debe de tomar en cuenta la combinación de temas relacionados con la política, militares y otros relacionados a fondos administrativos que han orillado a dejar los sitios de desecho sin monitoreo por décadas (Knobloch, 2014) en Europa.

Cada zona de vertido se caracteriza por tener un conjunto distinto de parámetros ambientales y diversos tipos o cantidades de material bélico eliminado. Es por ello que las evaluaciones de riesgos específicas de cada lugar deben realizarse caso por caso (Czub, y otros, 2018).

Con una superficie de 415,000 km², el Mar Báltico cuenta con una profundidad promedio de 52 m, relativamente baja. Se formó durante la última glaciación y el nivel actual de salinidad se estabilizó hace 2,000 años, convirtiéndose en uno de los mayores ecosistemas salobres del mundo. Los valores de salinidad en el Mar Báltico oscilan entre 1 y 20 PSU², con una media de 7 PSU. Este ecosistema brinda múltiples servicios naturales a una gran población que vive en la zona (como la pesca), al tiempo que es muy sensible a muchas formas de impacto humano (Elmgren, 2001).

Little Belt, Bornholm y Gotland Deep son reconocidas como las zonas de vertido de CWA más importantes y oficialmente designadas del Mar Báltico. La zona de vertido de CW, comúnmente denominada "vertedero primario", se encuentra en los fondos de Bornholm, en un punto cuyas coordenadas en superficie son 55°20'N, 15°37'E. La región norte está actualmente marcada en las cartas marinas como "vertedero de explosivos mayor".

² Unidades prácticas de salinidad, en inglés, practical salinity units.

Entre mayo y septiembre de 1947 se llevaron a cabo operaciones de vertido en el Gotland Deep, en las que se vertieron alrededor de 2,000 toneladas de material CW, de las que 1,000 eran CWA (Czub, y otros, 2018). Por el otro lado, los estudios realizados en el proyecto CHEMSEA confirmaron la existencia de sitios no oficiales de vertedero en Gdansk Deep (Beldowski, y otros, 2016).

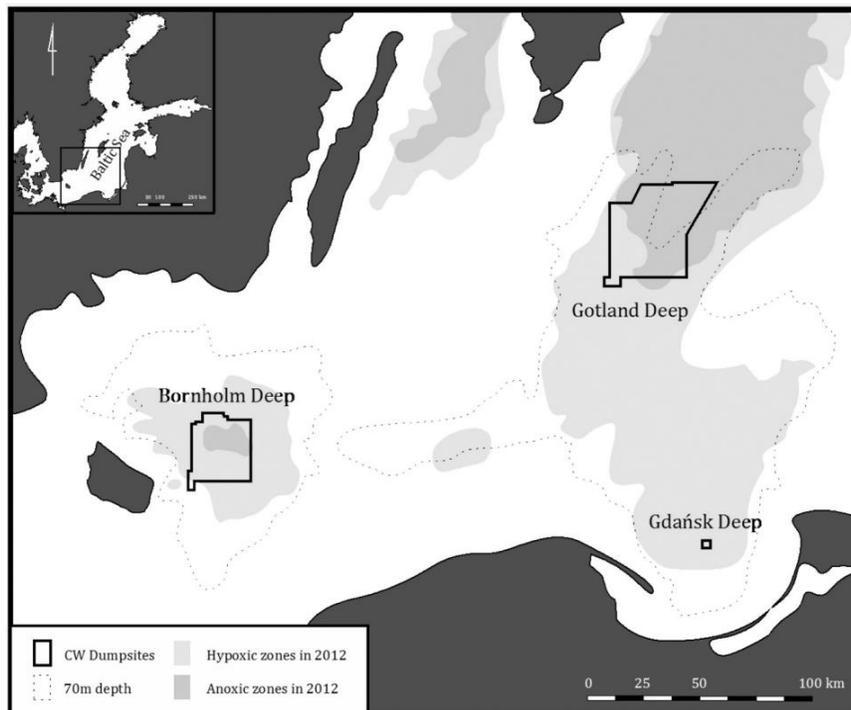


Figura 6. Locations of deep-sea Chemical Warfare (CW) dumpsites in Baltic Sea area. Las zonas anóxicas e hipóxicas son retomadas a partir de (Carstensen, Andersen, Gustafsson, & Conley, 2014).

En **Asia**, debido a conflictos políticos y la limitada transparencia de algunos países, se dificulta la localización precisa de los sitios de desecho de armas químicas japonesas abandonadas en China tras la Segunda Guerra Mundial. Esta situación plantea un riesgo para la población y el medio ambiente (United Nations, 2000).

Si bien el texto citado “Beijing defends refusal of British politician visit to Hong Kong; comments on chemical weapon destruction” (*Beijing defiende la negativa a que un político británico visita a Hong Kong; comentarios sobre la destrucción de armas químicas*, por su título en español) se centra en un desacuerdo diplomático entre

China y Reino Unido, mencionando brevemente la problemática de las armas químicas japonesas. Según la agencia estatal china Xinhua, Japón abandonó al menos dos millones de toneladas de armamento químico en alrededor de 40 emplazamientos distribuidos en 15 provincias chinas. La mayoría de estos sitios se ubican en las provincias nororientales de Heilongjiang, Jilin y Liaoning (Chunying, 2014).

Durante la Segunda Guerra Mundial, el ejército japonés produjo en secreto grandes cantidades de armas químicas y las utilizaron en su guerra de agresión contra China. El uso documentado de armas químicas llegó a 1,241, causando más de 200 mil bajas militares y civiles chinas (Embajada de la República Popular de China en el Reino de los Países Bajos, 2023).

En vísperas de su derrota en 1945, el ejército japonés enterró bajo tierra o vertió grandes cantidades de armas químicas en ríos y lagos de China para encubrirse. Hasta ahora, se han encontrado armas químicas abandonadas (ACW) por Japón en más de 120 lugares de 18 provincias, regiones autónomas y municipios de China (Embajada de la República Popular de China en el Reino de los Países Bajos, 2023).

Hasta 2023, la Embajada de la República Popular de China en los Países Bajos, ha declarado que se han hecho algunos progresos en la destrucción de las ACW japonesas, y que todavía se enfrenta a graves desafíos.

En primer lugar, el proceso de destrucción se ha retrasado mucho. Según las disposiciones de la Convención, Japón debe completar la destrucción de las armas químicas abandonadas antes de 2007 y establece un período de gracia de cinco años. Debido a una atención y aportaciones insuficientes, la parte japonesa no ha completado la destrucción en cuatro ocasiones: 2007, 2012, 2016 y 2022 (Embajada de la República Popular de China en el Reino de los Países Bajos, 2023).

En segundo lugar, hasta ahora, la parte japonesa no ha proporcionado pistas e información completas, detalladas y precisas sobre los lugares de sepultura de las

ACW japonesas. Por lo tanto, las ACW japonesas solo pueden encontrarse de forma pasiva y tratarse con urgencia, lo que aumenta enormemente el riesgo de víctimas y retrasa el proceso de eliminación (Embajada de la República Popular de China en el Reino de los Países Bajos, 2023).

4.1.2 Estados Unidos

Para comprender los sitios de desecho y de destrucción en Estados Unidos, se presenta el siguiente contexto.

En 1986, la Ley de Autorización del Departamento de Defensa (Ley Pública 99-145) ordenó al Secretario de Defensa que llevara a cabo la destrucción del arsenal nacional de armas químicas. La Actividad de Materiales Químicos del Ejército de los EE.UU. (CMA por sus siglas en inglés) (anteriormente Agencia de Materiales Químicos del Ejército de los EE.UU.) eliminó aproximadamente el 90% del arsenal original de los EE.UU., que estaba almacenado de forma segura en siete emplazamientos: Atolón Johnston en el Océano Pacífico; Aberdeen Proving Ground, Maryland; Depósito Químico de Newport, Indiana; Arsenal de Pine Bluff, Arkansas; Depósito del Ejército de Anniston, Alabama; Depósito Químico de Umatilla, Oregón; y Depósito Químico de Deseret, Utah (Program Executive office, Assembled Chemical Weapons Alternatives Public Affairs, 2023).



Figura 7. Former CMA and PEO ACWA destruction sites, retomado de (Program Executive office, Assembled Chemical Weapons Alternatives Public Affairs, 2023).

El CMA es responsable del almacenamiento seguro y protegido del arsenal de armas químicas en dos emplazamientos, el Army Pueblo Chemical Depot (PCD por sus siglas en inglés) del Ejército de EE.UU., en Colorado, y el Depósito del Ejército Blue Grass (BGAD), en Kentucky, así como de las misiones de preparación para emergencias, cumplimiento de tratados y recuperación de material de guerra química (Program Executive office, Assembled Chemical Weapons Alternatives Public Affairs, 2023).

La Oficina Ejecutiva del Programa, Alternativas a las Armas Químicas Ensambladas (ACWA por sus siglas en inglés) es responsable de la supervisión de la destrucción segura con el medio ambiente del otro 10 por ciento del arsenal de armas químicas de EE.UU., almacenado en Colorado y Kentucky, utilizando alternativas a la incineración (Program Executive office, Assembled Chemical Weapons Alternatives Public Affairs, 2023).

El texto “U.S. Chemical Weapons Stockpile Destruction Completion and Program Overview” detalla los siete sitios principales de almacenamiento y destrucción de armas químicas del Ejército de EE. UU; entre paréntesis la fecha de la última munición destruida. A continuación, un resumen:

1. **Johnston Atoll Chemical Agent Disposal System** (Atolón Johnston): 6% del arsenal original (agentes nerviosos GB y VX, y agente mostaza) - neutralizados mediante incineración a altas temperaturas (noviembre 2000).
2. **Aberdeen Proving Ground (Edgewood Area)**, Maryland: 5% del arsenal original (agente mostaza) - neutralizados (febrero 2006).
3. **Newport Chemical Depot**, Indiana: 4% del arsenal original (agente nervioso) - neutralizados (agosto 2008).
4. **Pine Bluff Arsenal**, Arkansas: 12% del arsenal original (agentes nerviosos GB y VX, y agente mostaza) - neutralizados mediante incineración a altas temperaturas (noviembre 2010).

5. **Anniston Army Depot**, Alabama: 7% del arsenal original (agentes nerviosos GB y VX, y agentes mostaza HD y HT) - neutralizados mediante incineración a altas temperaturas (septiembre 2011).
6. **Umatilla Chemical Depot**, Oregon: 12% del arsenal original (agentes nerviosos GB y VX, y agente mostaza) - neutralizados mediante incineración a altas temperaturas (octubre 2011).
7. **Deseret Chemical Depot**, Utah: 44% del arsenal original (diversos agentes nerviosos y mostaza) - neutralizados mediante incineración a altas temperaturas (enero 2012).
- **Blue Grass Army Depot**, Kentucky: 2% del arsenal original (agentes nerviosos GB y VX, y agente mostaza HD) – fueron neutralizados y seguidos por una oxidación por agua supercrítica. Los residuos secundarios se trataron en una instalación autorizada para desechos peligrosos (julio 2023).

El texto finaliza mencionando la destrucción del restante 8% del arsenal en el **Pueblo Chemical Depot**, Colorado, en junio de 2023. Es una de las dos instalaciones del Ejército que quedaban en Estados Unidos dedicadas al almacenamiento de armas químicas, especializándose en el agente mostaza. Con una superficie aproximada de 9,308 hectáreas (23,000 acres), el depósito garantizó el almacenamiento seguro y protegido del arsenal de armas químicas hasta su destrucción, y se está preparando para su cierre (Program Executive Office, Assembled Chemical Weapons Alternatives Public Affairs, s/f).

4.2 Riesgos asociados

Comenzando en el Mar Báltico, la sospecha sobre la presencia de CWA en Gdańsk Deep surgió tras dos incidentes, el primero con una bomba de gas mostaza recuperada por un pesquero de arrastre y un segundo con una bomba similar que fue arrastrada en la península de Hel en 1954 (Szarejko & Namieśnik, 2009).

Aunque se cree que las cargas de CWA vertidas al mar suponen una posible amenaza para el ecosistema del Mar Báltico, ya existe una degradación ambiental

vinculada a la sobrecarga de nutrientes que causó la reducción de las concentraciones de oxígeno disuelto (DO) (Diaz & Rosenberg, 2008).

El estancamiento del agua tiene impactos negativos en los ecosistemas marinos, especialmente en las cuencas de acumulación, ya que los estados de hipoxia y anoxia no solo influyen negativamente en los organismos (Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008), sino también en sus hábitats (Conley, Carstensen, Vaquer-Sunyer, & Duarte, 2009).

Se cree que las mejoras temporales de las condiciones de oxígeno en las aguas del fondo aumentan el riesgo de exposición de los peces a posibles efectos negativos derivados de la presencia de CWA en los sedimentos. Debido a las numerosas alteraciones ambientales que ya existen en el Mar Báltico, es necesario verificar in situ si existe una amenaza significativa para la biota a causa de los CW es difícil (Czub, y otros, 2018).

En cuanto a China, la falta de acceso a las coordenadas exactas de estos depósitos se debe, en parte, a las tensiones políticas históricas y la actual postura de ciertos gobiernos asiáticos respecto a la apertura de información sensible. Esta limitación dificulta la implementación de planes de limpieza y contención, poniendo en riesgo a la población civil y el entorno.

En Jiamusi, Shangzhi, Hunchun, entre otras ubicaciones, los progresos de excavación y recuperación son muy lentos, y en Liaoyuan no se han determinado la técnica y el equipo de destrucción de armamento químico. Japón no ha mostrado suficiente determinación política para superar dificultades técnicas como la exploración y recuperación submarinas y la detección subterránea.

Hasta 2023, permanecía sin resolverse el problema de la eliminación del suelo contaminado por agentes químicos. Los ACW japoneses llevan décadas enterrados bajo tierra. La fuga de agentes tóxicos y la rotura y fragmentación de las bombonas de gas contaminaron gravemente el suelo y el agua. Japón debe asumir la responsabilidad de resolver los problemas pertinentes (Embajada de la República Popular de China en el Reino de los Países Bajos, 2023).

En cuanto a Estados Unidos, el Ejército ha rodeado el llamado bloque G donde se almacena con sensores electrónicos y una doble valla en el Pueblo Chemical Depot, sitio de destrucción del arsenal. Vehículos de seguridad interceptan los coches que se acercan a ese rincón aislado del depósito (Brooke, 1996).

La precaución se debe a que, se detectaron 12 fugas entre los 780,087 proyectiles que contienen gas. Trabajadores con trajes especiales envuelven los cartuchos con contenedores de acero herméticos. "Hacemos un seguimiento rutinario de todos los iglús del bloque G", explica Mary Binder, portavoz del programa de eliminación de armas químicas (Brooke, 1996).

Se abordarán con mayor detalle los riesgos ambientales en el capítulo VI. Impactos ambientales y riesgos asociados.

V. Tecnologías de detección y eliminación de armas químicas

5.1 Tecnologías de detección y eliminación

Además de la ubicación de los puntos y excavación de ACW, las principales actividades necesarias para la eliminación y destrucción de armas químicas incluyen la identificación, la preparación para desintegrarlas, la destrucción de CWA, entre otras.

Debido a que fueron destruidos o erosionados, los símbolos de las armas químicas son difíciles de identificar y clasificar, además de que se requiere la detección óptica por rayos X para ayudar a identificarlas.

La detección por rayos X es un método que muestra la estructura interna de la munición química en una computadora o una película negativa y puede determinar qué tipo de munición química desconocida pertenece mediante la comparación de dibujos de perspectiva con dibujos de diseño. La forma y características externas de un arma química pueden determinarse directamente en pocas ocasiones. El sistema de detección de rayos X está compuesto por un generador de rayos X, un *booster* de imágenes, una estación fija, un sistema de procesamiento de imágenes, una máquina eléctrica y un indicador de dosificación de rayos X (Yao, Wang, Guan, & Cui, 2012).

Además, el método de reflejo de pulso ultrasónico se utiliza para distinguir entre una munición química y una munición ordinaria, que se basa en el hecho de que la señal reflejada procede de la pared frontal, de la pared trasera y del tubo de refuerzo. Es decir, si la señal reflejada solo procede de la pared frontal, se determina que pertenece a una munición ordinaria (Yao, Wang, Guan, & Cui, 2012).

Una vez confirmada el arma química, hay que distinguir qué tipo de agente de guerra química se encuentra en su interior. Un análisis químico se prefiere como último método para conocer el material al que pertenece. Sin embargo, el examen no destructivo (NDE por sus siglas en inglés, *nondestructive examination*) es un método más eficaz para determinar el CWA dentro del arma química. Es relevante mencionar que no es necesario destruir la estructura de las armas químicas (Yao, Wang, Guan, & Cui, 2012).

El análisis activo de neutrones es uno de los NDE, que se utiliza para identificar elementos químicos, principalmente para identificar arsénico, bromo, cloro que se incluyen en los compuestos de arsénico o los agentes vesicantes (*blister agents* en inglés). El análisis activo de neutrones consta de dos pasos:

1. El arma química puede ser irradiada por el neutrón térmico o neutrón rápido de la fuente de neutrones CF-252, los elementos químicos en el agente químico serán materiales activados, diferentes isótopos activados liberan rayos γ que poseen una cierta energía característica.
2. Se miden los rayos X mediante un detector de alta resolución. El diagrama esquemático del análisis de neutrones activos se ilustra en la Fig. 8. La interceptación de neutrones térmicos selectivos y la energía de radiación γ generada por el isótopo activado se ilustran en la tabla 1.

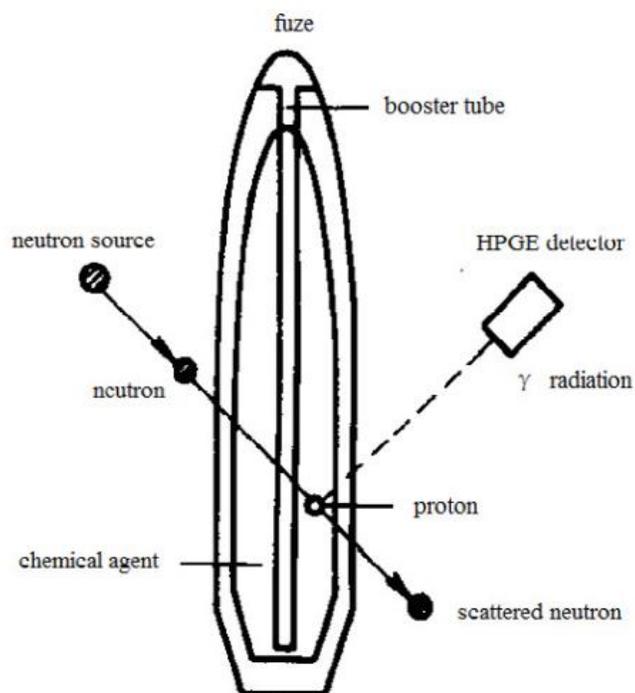


Figura 8. Neutron active analysis schematic diagram recuperada de (Yao, Wang, Guan, & Cui, 2012).

Tabla 1. Elective thermal neutron intercept and γ radiation energy generated activated isotope (intercepción de neutrones térmicos electivos y energía de radiación generada por isótopo activado, en español) recuperado de (Yao, Wang, Guan, & Cui, 2012).

Elemento químico	Reacción nuclear	Periodo de vida media	Energía radioactiva (KeV)	Densidad relativa (%)
Arsénico	$As^{75} (n) As^{76}$	26.4 h	559	44.6
			657	6.4
Bromo	$Br^{79} (n) Br^{80}$	17.6 min	617	7.2
			666	1.1
Cloro	$Cl^{37} (n) Cl^{38}$	37.2 min	1642	32.8
			2167	44.0

Conforme la OPCW (2024) señala que “se debe mantener el más alto grado de seguridad para el público y de protección del medio ambiente durante el transporte, el muestreo y el almacenamiento de armas químicas, así como durante las operaciones de destrucción” (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2024).

Hay que recordar que los métodos de eliminación de armas químicas que han sido prohibidos por la OPCW, son: el vertido al mar, enterrar bajo la superficie e incineración a cielo abierto. Es decir, los métodos de destrucción que generan un elevado impacto ecológico.

La tecnología elegida para la destrucción debe reducir al mínimo el riesgo de que se liberen agentes químicos durante las operaciones de almacenamiento, transporte y eliminación, así como reducir al mínimo el impacto de los efluentes del proceso en el medio ambiente y la salud pública (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2024).

El método de destrucción debe cumplir con los requisitos ambientales y de seguridad de cada país.

Acerca de la tecnología de destrucción de armas químicas, aterrizando a armas químicas unitarias montadas (como por ejemplo, proyectiles de artillería, morteros, bombas aéreas, cohetes) y las municiones de armas químicas recuperadas, se pueden dividir en dos grupos principales (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2024):

- Tecnología de destrucción de alta temperatura. Que incluye la pirólisis por arco de plasma, las cámaras de incineración y detonación, con su correspondiente sistema de tratamiento de gases residuales. La detonación consiste en la desactivación de los componentes explosivos mediante iniciación energética (detonación y deflagración³).
- Tecnología de destrucción a baja temperatura. Como lo puede ser la neutralización y la hidrólisis. Es decir, mediante agentes neutralizantes o una

³ La deflagración consiste en la combustión súbita con llama a baja velocidad de propagación.

solución de descontaminación (como monoetanolamina, RD-4M o NaOH (ac)) y la hidrólisis seguida de tratamientos secundarios de los subproductos derivados.

A continuación, se detallan dos métodos de destrucción de armas químicas: la hidrólisis, como método de baja temperatura, y la fracturación criogénica.

5.1.1 Hidrólisis

El sistema de hidrólisis básicamente mezcla los productos químicos con agua y lejía de hipoclorito sódico y produce un residuo de bajo nivel que se tratará para reducir la acidez y luego se almacenará en contenedores, en algunos casos buques, hasta que se entregue a instalaciones comerciales de tratamiento de residuos (Pellerin, 2014).

El gas mostaza es una de las sustancias que se puede destruir por hidrólisis y después neutralizar el ácido clorhídrico resultante con una disolución de hidróxido sódico caliente. El residuo es tiodiglicol o sulfuro de bis (2-hidroxietyl) que es un producto industrial y, por otra parte, los microbios lo convierten en dióxido de carbón, agua y sales. Este ha sido el método empleado por Estados Unidos (Martín, Pinto, Hernández, & Martín, 2015).

Para efectuar la hidrólisis de los agentes nerviosos VX, Manuela Martín (2014) describe que es necesario utilizar una disolución de hidróxido de sodio caliente, sin embargo, los residuos generados siguen siendo peligrosos, motivo por el cual se ha optado por utilizar un proceso de oxidación con agua supercrítica.

La tecnología de oxidación en agua supercrítica (u oxidación supercrítica) se basa en las propiedades del agua en condiciones de alta temperatura y presión (alrededor de una Temperatura > 374°C y Presión > 221 atm) mezclada con aire para oxidar por completo compuestos orgánicos a moléculas simples de agua, dióxido de carbono y nitrógeno (Martín, Pinto, Hernández, & Martín, 2015).

Mientras el agua líquida a temperatura ambiente disuelve bien sustancias iónicas pero no disuelve gases, hidrocarburos o polímeros no polares, el agua supercrítica es capaz de disolver sin problemas compuestos orgánicos, facilitando que se pueda

llevar a cabo la reacción de oxidación en fase homogénea (Martín, Pinto, Hernández, & Martín, 2015). En otras palabras, en la fase supercrítica, las propiedades disolventes del agua cambian y los materiales orgánicos se vuelven solubles, mientras que las sales inorgánicas se vuelven insolubles y tienden a precipitar (Princeton University, 1992).

5.1.2 Fracturación criogénica

La fracturación criogénica es una técnica que se desarrolló especialmente para la desmilitarización de municiones química, como explosivos cerrados de pequeño tamaño.

El proceso consiste en enfriar la munición en el interior de un contenedor lleno de nitrógeno líquido. El acero de los proyectiles se vuelve quebradizo a causa de las bajas temperaturas. En seguida, se transportan los proyectiles a una prensa hidráulica donde son fracturados a fin de recuperar el material explosivo o el agente químico, mientras que las vainas son divididas en fragmentos metálicos de menor tamaño. La baja temperatura impedía que se evaporara el agente químico de los proyectiles, con lo que a continuación se procedía al tratamiento de los fragmentos metálicos y del agente químico en hornos especiales dotados de instalaciones de tratamiento de gases de escape (Organización para la Seguridad y la Cooperación en Europa, 2008).

La congelación del dispositivo neutraliza los explosivos y posibilita su aplastamiento a fin de poder procesarlos posteriormente en un horno. Gracias a esta técnica se han destruido decenas de miles de submuniciones procedentes de bombas de racimo (Organización para la Seguridad y la Cooperación en Europa, 2008).

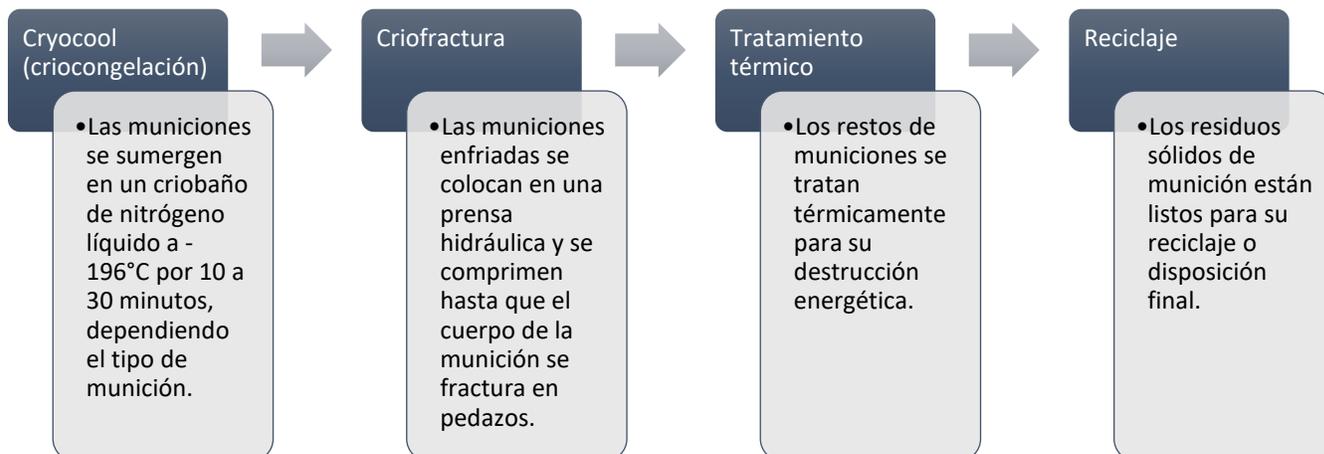


Figura 9. Cryofracture - how it works. Recuperado de (General Atomic's Electromagnetics, 2024).

Algo a destacar de la fracturación criogénica, según el Departamento de Defensa (1994), es que “el proceso se adapta a las irregularidades de las municiones, como los proyectiles estándar. Además, la criofractura no se ve afectada por el estado en el que se encuentra el agente químico de la munición” (p. 9).

La criofractura se presenta como una técnica altamente beneficiosa para la desmilitarización de una amplia gama de municiones. Algunas soluciones que resultan ventajosas, seguras y rentables son (Follin, 2007):

- **Municiones difíciles de desarmar:** La criofractura es ideal para aquellas municiones cuyo desarmado convencional es complejo o peligroso. Si el desmontaje es sencillo, existen otros métodos más adecuados.
- **Ausencia de tecnología de desmilitarización establecida:** Si no existe una tecnología demostrada y segura para desmilitarizar cierto tipo de munición, la criofractura se convierte en una opción viable.
- **Alto riesgo de detonación:** La criofractura es fundamental para municiones con alta probabilidad de detonar durante otros procesos de desmilitarización.

- **Desmilitarización y reciclaje completo:** La criofractura garantiza la fragmentación completa de la munición desactivada, facilitando así su posterior reciclaje.
- **Rentabilidad:** Conforme ha avanzado la tecnología y de acuerdo a las fuentes consultadas de 1992, la criofractura ha evolucionado a ser costeable. Al utilizar el mismo equipo base y solo requerir ajustes en herramientas y fijaciones, se adapta a la desmilitarización de diversas municiones sin grandes inversiones adicionales.

VI. Impactos ambientales y riesgos asociados

6.1 Efectos ambientales de las municiones no detonadas

Dado que las antiguas armas químicas permanecen en todo el mundo, generalmente en lugares identificados, algunas de ellas enterradas o vertidas en aguas poco profundas podrían ser fácilmente accesibles (Anelli, 2020).

Hay que recordar el programa financiado por la Unión Europea: CHEMSEA, donde se ha investigado el impacto medioambiental de las municiones químicas vertidas en el Mar Báltico, detectando al menos un agente químico en un tercio de las muestras de sedimentos y vida marina recogidas. En resumen, las muestras incluían agentes químicos en bacalao y mejillones que podrían llegar a las cocinas de todo el mundo (Anelli, 2020).

A pesar que las aguas del océano cambian constantemente, CHEMSEA realizó investigaciones de los impactos de las fugas de los CWA en la biota y los sedimentos de los vertederos. Se seleccionaron tres lugares de muestreo para investigar la macrofauna: Bornholm Deep, Gotland Deep y Gdansk Deep. La fauna muestreada se comparó con la de una zona de referencia entre las regiones de estudio en un área de profundidad similar.

El estrés ambiental causado por la CWA en los sedimentos y se evaluó mediante varios métodos. Entre una de las investigaciones de la fauna, se evaluó el impacto del bacalao y los mejillones en la salud. Se recogieron miles de muestras de sedimentos, agua y tejidos, que posteriormente se examinaron en el laboratorio.

El bacalao es una de las especies más abundantes en el Mar Báltico, con un desembarque de 70,000 toneladas anuales, dando a relucir una gran importancia económica. Dado su valor como recurso pesquero, la ecología y la estructura de sus poblaciones se han estudiado a fondo (Bełdowski, y otros, 2014).

El proyecto CHEMSEA seleccionó al bacalao como especie objetivo principalmente porque es una especie demersal⁴ y bentopelágica⁵ y, por lo tanto, corre el riesgo de estar en contacto directo con los CWA vertidos (Bełdowski, y otros, 2014), al estar distribuida en el Mar Báltico y habitar en las zonas estudiadas.

Resumiendo los resultados de los análisis para el bacalao, **los datos no revelan efectos significativos sobre la salud del bacalao** que habita en los vertederos de los CW en comparación con las zonas de referencia (Bełdowski, y otros, 2014).

Sin embargo, hay que mencionar que al examinar los parámetros individuales se observaron algunas diferencias que posiblemente reflejen respuestas a la exposición a CWA. Por ejemplo, las muestras de tejido de los riñones de la cabeza generadora de sangre del bacalao mostraron alteraciones y una arquitectura tisular menos compacta a comparación del bacalao del sitio de referencia. Este hallazgo influye en el riesgo de que el bacalao entre en contacto con CWA (Bełdowski, y otros, 2014).

En el caso del bacalao, Beldowski y otros (2014) consideran la aplicación de un seguimiento y una evaluación periódica de los riesgos de los CWA (p. 44).

Además del bacalao, las pulgas de agua también son una especie que puede comprobar los efectos de las toxinas en un ecosistema. Las pulgas de agua son útiles para los fines del proyecto debido a su corta vida y capacidad reproductiva.

Para el proyecto CHEMSEA, las pulgas de agua fueron expuestas en la Agencia de Suecia de Investigación para la Defensa (FOI por sus siglas en sueco) a todos y

⁴ Demersal se refiere a aquellas especies que viven constantemente sobre el fondo del lecho marino.

⁵ Bentopelágicos se refiere a aquellas especies que nadan por encima del fondo.

extractos de agua procedentes de muestras de sedimentos del vertedero Gotland Deep.

Los resultados de los experimentos de laboratorio mostraron que los lodos de los sedimentos **no eran tóxicos** para las pulgas. En el experimento con extractos de sedimentos, dos de los extractos afectaron tanto a la supervivencia como a su actividad. Sin embargo, el análisis de las muestras de sedimentos indica que ninguna de las tres muestras tóxicas presentaba rastros de compuestos relacionados con la presencia de CWA. Aún se desconoce qué compuesto de las tres muestras de sedimentos afectó realmente a las pulgas de agua (Beldowski, y otros, 2014).

Los procesos químicos en el medio marino están influidos por diversos parámetros ambientales, como: la temperatura, la salinidad, la presencia o disminución de oxígeno, el tipo y la química de los sedimentos, la presencia de bacterias y sus combinaciones específicas (Beldowski, y otros, 2014).

Las sustancias químicas cambian constantemente, tanto en su estructura como en sus propiedades. Por ello, la búsqueda de CWA en muestras ambientales se centra principalmente en sus numerosos productos de degradación.

Los sedimentos contenían derivados o productos de oxidación de lewisita I y II, Adamsita, mostaza azufrada y Clark I y II. La mayoría de los subproductos de la descomposición del CWA comparten características peligrosas comparables con los compuestos originales, a pesar de las diferencias entre ellos. Igualmente, los derivados residuales de las CWA pueden considerarse contaminantes persistentes debido a su menor velocidad de descomposición (Beldowski, y otros, 2014).

Se encontró al menos un rastro de armas químicas en casi un tercio de las muestras recogidas para el proyecto CHEMSEA. En comparación, solo se encontró mostaza azufrada intacta en una muestra.

La evidencia indica una mayor presencia de CWA en la profundidad de Bornholm. En esta área, casi la totalidad de las muestras analizadas contenían derivados de CWA, particularmente CWA que contienen arsénico (14 de 21 muestras) (Beldowski,

y otros, 2014). Las concentraciones de arsénico también estuvieron elevadas en Bornholm en comparación con los niveles del fondo. Únicamente a medida que aumentaba la distancia del sitio de vertido primario o secundario en Bornholm, las concentraciones de arsénico disminuían y no se detectaron CWA con arsénico en el sedimento (Bełdowski, y otros, 2014).

Varias muestras de sedimentos en Gotland no presentaron contaminación por CWA y las concentraciones de arsénico no mostraron una distribución espacial contigua, a pesar de una media elevada. También respalda la idea de un vertido más disperso de las armas químicas en el sitio de Gotland (Bełdowski, y otros, 2014).

Según las estimaciones de la duración de la corrosión y la lixiviación y los procesos naturales que afectan a las transformaciones de los CWA y las condiciones ambientales, existe la posibilidad de que la transición de sustancias químicas tóxicas de armas restantes al medio ambiente circundante aumente constantemente con el tiempo (Bełdowski, y otros, 2014).

Beldowski y otros (2014) mencionan que es necesario seguir vigilando la contaminación química en las zonas de vertido, tanto para estimar el estado de las municiones y contenedores químicos, como para seguir estudiando las amenazas de contaminación para el medio ambiente.

6.2 Riesgos para la seguridad humana

El principal riesgo para la salud humana surge a partir de la exposición aguda a un CWA ya sea por la recuperación indeseada de un arma química pesqueros o por municiones arrastradas a las playas, especialmente las del Mar Báltico. A pesar de que los pescadores evitan los vertederos conocidos, entran en contacto con las municiones.

El beneficio económico de pescar en el Mar Báltico puede hacer que algunos pescadores ignoren la prohibición. El número de encuentros en la zona es mejor reportado en informes de Dinamarca, ya que este país compensa económicamente a los pescadores por las municiones que recuperan. Entre 1976 y el año 2000, se registraron alrededor de 450 encuentros en Dinamarca (Knobloch, y otros, 2013).

Entre 1993 y 2012, se notificaron a HELCOM 115 incidentes de pescadores que recuperaron municiones químicas (Beldowski, J y otros, 2014). Desde la década de 1950 se han comunicado en Polonia varios episodios de municiones químicas arrastradas a la costa o recuperadas accidentalmente por pescadores lesionados (Assennato, Ambrosi, & Sivo, 1997).

La Comisión OSPAR (por sus siglas en inglés, Oslo and Paris Conventions) informó de 1,879 encuentros con armas químicas y convencionales ocurridos entre 2004 y 2010 en su zona. En el 58 % de los casos, los pescadores las recuperaron accidentalmente y en el 29 %, las municiones llegaron a la costa (OSPAR Commission, 2010).

Desde 1946 hasta 1996, se han documentado 236 casos de pacientes hospitalizados por exposición a mostaza azufrada mientras se encontraban en el mar frente a las costas de la región italiana de Apulia. Todos los casos eran pescadores que capturaron conchas corroídas en sus redes (Assennato, Ambrosi, & Sivo, 1997).

En 2001, concejal de Irlanda del Norte declaró en un programa de la BBC sobre bombas que llegan a las costas cada invierno y que “cientos y cientos de ellas son arrastradas por la corriente en cuestión de días”. Agregó a la entrevista que un par de niños se **quemaron** con ellas (Morton, 2013).

Trasladándose a Estados Unidos, en 2004, un policía estatal de Delaware vio un proyectil de artillería incrustado en una calzada de bivalvos. Según Leslie S. Carroll (2005) las calzadas de bivalvos se construyen con conchas extraídas del fondo marino frente a la costa (p.1).

El artefacto fue eliminado mediante una detonación llevada a cabo por un equipo de las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos, uno de sus miembros tuvo que ser hospitalizado por **lesiones químicas** al manipular los restos del proyectil tras la explosión (Carroll, 2005).

El Centro Técnico para la Seguridad de los Explosivos del Ejército de los Estados Unidos afirma que los marinos deben ser alertados de la posibilidad de un encuentro

con un agente químico por un "olor inusual, sensación de escozor en los ojos, ardor o irritación de la piel, presencia de un líquido aceitoso, o contenedores corroídos o grumos arcillosos sospechosos" (Greenberg, Sexton, & Vearrier, 2016).

La guía también instruye a la tripulación del buque a moverse contra el viento, vaporizar contra el viento, enjuagar la zona con agua, ponerse en contacto con la Guardia Costera de los Estados Unidos para obtener ayuda inmediata, y permanecer en el mar a menos que se indique lo contrario. Se ordena a los miembros de la tripulación que se laven abundantemente con agua o, idealmente, con agua jabonosa tibia en caso de sospecha de contacto con un agente químico. Se aconseja devolver las municiones al mar a menos que las municiones puedan ser aseguradas de forma segura (DoD Environment, Safety & Occupational Health Network and Information Exchange (DENIX), 2022).

VII. Aspectos políticos en la destrucción de armas químicas

7.1 Resoluciones y acuerdos relevantes de la CWC

Sobre aspectos políticos en la destrucción de armas químicas, se hablará principalmente sobre la Convención sobre Armas Químicas – CAQ – (*Chemical Weapons Convention*, CWC, por sus siglas en inglés) ya que es el primer marco multilateral que pretende eliminar las armas químicas como categoría de armas de destrucción masiva.

La Organización para la Prohibición de las Armas Químicas – OPAQ – (*Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons*, OPCW por sus siglas en inglés) se creó en 1997 con la entrada en vigor de la CAQ para establecer procedimientos operativos estándar y aplicar el régimen de la CAQ. En términos generales, las disposiciones de la CAQ crean un régimen transparente que puede verificar la destrucción de las armas químicas, prevenir su reaparición en cualquier sitio y proporcionar protección contra las armas químicas. Al mismo tiempo, fomenta una contribución en los usos pacíficos de la química (Arms Control Association, s/f).

La CAQ es un tratado multilateral que prohíbe las armas químicas y exige su destrucción en un plazo determinado. El tratado tiene una duración ilimitada y es

mucho más exhaustivo que el Protocolo de Ginebra de 1925⁶, que prohíbe el uso, pero no la posesión de armas químicas (G. Kimball, s/f).

Las negociaciones de la CAQ comenzaron en 1980 en la Conferencia de Desarme de la ONU. La Convención se abrió a la firma el 13 de enero de 1993 y entró en vigor el 29 de abril de 1997.

La OPAQ recibe las declaraciones de los Estados Partes (países que han firmado el tratado) en las que se detallan las actividades o materiales relacionados con las armas químicas y las actividades industriales asociadas. Tras recibir las declaraciones, la OPAQ inspecciona y supervisa las instalaciones y actividades de los Estados Partes que guardan relación con la Convención, para garantizar su cumplimiento.

La CAQ está abierta a todos los países y actualmente cuenta con 193 Estados Partes. Hasta agosto de 2022, 193 Estados habían ratificado la Convención o se habían adherido a ella (el último, Palestina, el 17 de mayo de 2018) y otro Estado (Israel) la había firmado, pero no ratificado (United Nations Treaty Collection, 2020). México firmó en enero de 1993 y ratificó su adhesión en agosto de 1994 como Estado Parte (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2024).

La OPCW (2020) señala las obligaciones generales de los Estados Partes, sin importar las circunstancias, acordados en la Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción a (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020):

⁶ La aflicción pública ante la guerra química impulsó las negociaciones posteriores a la Primera Guerra Mundial sobre una serie de instrumentos destinados a evitar que se repitiera, entre los que destaca el Protocolo de 1925 relativo a la prohibición del empleo de gases asfixiantes, tóxicos o similares y de medios bacteriológicos, conocido comúnmente como el Protocolo de Ginebra de 1925. Sin embargo, el Protocolo de Ginebra no prohíbe el desarrollo, la producción o la posesión de armas químicas. Sólo prohíbe el uso de armas químicas y bacteriológicas (biológicas) en la guerra. Además, muchos países firmaron el Protocolo con reservas que les permitían utilizar armas químicas contra países que no se habían adherido al Protocolo o responder de la misma manera si eran atacados con armas químicas. En los años transcurridos desde la entrada en vigor del Protocolo de Ginebra, algunos de estos Estados Partes retiraron sus reservas y aceptaron la prohibición absoluta del uso de armas químicas y biológicas (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2024).

1. Cada Estado Parte se compromete, cualesquiera que sean las circunstancias a:
 - a) No desarrollar, producir, adquirir de otro modo, almacenar o conservar armas químicas ni a transferir esas armas a nadie, directa o indirectamente;
 - b) No emplear armas químicas;
 - c) No iniciar preparativos militares para el empleo de armas químicas;
 - d) No ayudar, alentar o inducir de cualquier manera a nadie a que realice cualquier actividad prohibida a los Estados Partes por la presente Convención.
2. Cada Estado Parte se compromete a destruir las armas químicas de que tenga propiedad o posesión o que se encuentren en cualquier lugar bajo su jurisdicción o control, de conformidad con las disposiciones de la presente Convención.
3. Cada Estado Parte se compromete a destruir todas las armas químicas que haya abandonado en el territorio de otro Estado Parte, de conformidad con las disposiciones de la presente Convención.
4. Cada Estado Parte se compromete a destruir toda instalación de producción de armas químicas de que tenga propiedad o posesión o que se encuentre en cualquier lugar bajo su jurisdicción o control, de conformidad con las disposiciones de la presente Convención.
5. Cada Estado Parte se compromete a no emplear agentes de represión de disturbios como método de guerra (p.15).

En resumen, la Convención prohíbe:

- Desarrollar, producir, adquirir, almacenar o conservar armas químicas.
- La transferencia directa o indirecta de armas químicas.
- Uso de armas químicas o preparación militar para su uso.
- Ayudar, alentar o inducir a otros Estados a participar en actividades prohibidas por la CAQ.
- El uso de agentes en huelgas o disturbios como método de guerra.

La Convención establece que los Estados Parte deben declarar todos los arsenales de armas químicas, que se dividen en 3 categorías (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020):

Tabla 2. Categorías de los arsenales de armas químicas.

Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Armas químicas basadas en las sustancias químicas de la Lista 1 ⁷ , incluidas sustancias como las VX y gases tóxicos.	Armas químicas basadas en todas las demás sustancias químicas y sus componentes; como lo puede ser el fosgeno.	Municiones y dispositivos no cargados y equipo concebido específicamente para utilizarse directamente con el uso de armas químicas.

Acerca de los requisitos de destrucción (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020):

Tabla 3. Destrucción de armas químicas dependiendo su categoría.

Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
<p>Debe comenzar en un plazo de 2 años tras la entrada en vigor de la CAQ para un Estado Parte.</p> <p>Los Estados parte deben destruir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El 1% en un plazo de tres años desde la entrada en vigor de la CAQ; • El 20% en un plazo de cinco años; • El 45% en un plazo de siete años; • El 100% en un plazo de diez años. 	<p>Debe comenzar en el plazo de un 1 año tras la entrada en vigor de la CAQ.</p>	<p>debe comenzar en el plazo de 1 año tras la entrada en vigor de la CAQ.</p>

⁷ La Lista 1 se explicará y detallará más adelante.

Los Estados Parte que firmaron el tratado cuando entró en vigor en 1997 debían completar la destrucción de las sustancias químicas de categoría 1 antes del 29 de abril de 2007. Los Estados Parte que firmaron el tratado cuando éste entró en vigor debían destruir la totalidad de sus arsenales antes del 29 de abril de 2012.

La OPAQ puede ampliar estos plazos debido a "circunstancias excepcionales", y en diciembre de 2006, el Consejo Ejecutivo de la OPAQ concedió a casi todos los poseedores prórrogas de distinta duración. La única excepción fue Albania, que en ese momento era el único Estado que estaba a punto de destruir por completo sus arsenales (G. Kimball, s/f).

Otras declaraciones relacionadas con las armas que deben hacer los Estados Partes son (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020):

- Instalaciones de producción de armas químicas en sus territorios desde el 1 de enero de 1946.
- Instalaciones (como laboratorios y lugares de pruebas) diseñadas, construidas o utilizadas principalmente para el desarrollo de armas químicas desde el 1 de enero de 1946.
- Armas químicas "antiguas" en sus territorios (armas químicas fabricadas antes de 1925 o las producidas entre 1925 y 1946 que se hayan deteriorado hasta tal punto que ya no puedan utilizarse).
- **Armas químicas "abandonadas" (abandonadas por otro Estado sin consentimiento a partir del 1 de enero de 1925).**
- Planes de destrucción de armas e instalaciones.
- Todas las transferencias o admisiones de armas químicas o mecanismos de producción de armas químicas desde el 1 de enero de 1946.
- Todos los agentes utilizados en huelgas o antidisturbios que posean.

La CAQ exige a los Estados Partes que declaren las instalaciones de su industria química que producen o utilizan sustancias químicas que son motivo de preocupación para la Convención. Estas sustancias químicas se agrupan en "listas" en función del riesgo que suponen para la Convención (Organisation for the

Prohibition of Chemical Weapons, 2020). Una instalación que produzca una sustancia química de la Lista 1, se considera de interés.

Las sustancias químicas y precursores de la Lista 1 suponen un "alto riesgo" para la Convención. Los Estados parte no pueden retener estas sustancias químicas salvo en pequeñas cantidades para investigación, uso médico, farmacéutico o defensivo. Muchas sustancias químicas de la Lista 1 se han almacenado como armas químicas (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020).

Las sustancias químicas de la Lista 2 son sustancias químicas tóxicas que plantean un "riesgo significativo" para la Convención y son precursoras de la producción de sustancias químicas de la Lista 1 o de la Lista 2. No se producen en grandes cantidades. Estas sustancias químicas no se producen en grandes cantidades con fines comerciales u otros fines pacíficos (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020).

Las sustancias químicas de la Lista 3 suelen producirse en grandes cantidades para fines no prohibidos por la CAQ, pero siguen suponiendo un riesgo para la Convención. Algunas de estas sustancias químicas se han almacenado como armas químicas (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020).

La OPCW (2020) también exige la declaración de las instalaciones que producen determinadas sustancias químicas no incluidas en la lista.

La Convención establece 3 tipos de actividades in situ destinadas a generar seguridad en el cumplimiento de la CAQ por parte de los Estados Parte (G. Kimball, s/f). Entre ellas:

- **Inspecciones de rutina:** En las instalaciones relacionadas con las armas químicas y las instalaciones de la industria química para verificar el contenido de las declaraciones y confirmar que las actividades son coherentes con las obligaciones de la CAQ.
- **Inspecciones de comprobación:** que pueden realizarse en cualquier instalación o emplazamiento de los Estados Parte para aclarar posibles incumplimientos. Para evitar el abuso de esta medida, el órgano ejecutivo de

la OPAQ puede votar por mayoría de tres cuartos para impedir que una inspección por denuncia siga adelante.

- **Investigaciones** sobre el presunto uso de armas químicas.

En el caso del presunto empleo de armas químicas en que haya intervenido un Estado no Parte en la Convención o que haya ocurrido en un territorio no controlado por un Estado Parte, la OPCW colaborará estrechamente con el Secretario General de las Naciones Unidas. Previa solicitud, la Organización pondrá sus recursos a disposición del Secretario General de las Naciones Unidas (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020).

VIII. Caso de Siria

8.1 Antecedentes del conflicto en Siria

Entre 1970 y 2017, Egipto, Irán, Irak, Israel, Libia, Arabia Saudita y Siria habían sido sospechosos de desarrollar armas no convencionales (Mauroni, 2017).

Las evaluaciones oficiales de Estados Unidos sobre la capacidad de Siria en materia de armas químicas en 2013 sugerían un arsenal de más de 1,000 toneladas métricas de CWA (agentes de guerra química por sus siglas en inglés) y sus precursores, incluido el agente mostaza y los agentes nerviosos sarín (Mauroni, 2017).

Cuando las fuerzas de seguridad sirias mataron a decenas de personas en la ciudad de Daraa en marzo de 2011 en un intento de reprimir manifestaciones públicas, provocó una oleada de continuas protestas masivas en todo el país. Los intentos de Assad (presidente hasta la fecha de la República Árabe Siria) de aplacar las protestas con la fuerza provocaron sanciones económicas de Estados Unidos y Europa contra Siria y el auge de los grupos de oposición sirios. En un año, el conflicto interno se había cobrado la vida entre ocho y diez mil personas (Mauroni, 2017).

En la madrugada del 21 de agosto de 2013, las fuerzas militares sirias atacaron con agentes nerviosos el suburbio de Ghouta (también llamado Guta), en Damasco,

Siria, apuntando a 11 barrios que estaban controlados por las fuerzas de la oposición de Siria (Mauroni, 2017).

Este ataque fue el punto de inflexión por la gran cantidad de víctimas civiles causadas por las municiones químicas: se calcula que murieron más de 1,420 personas (The White House, 2013), entre ellas más de 400 niños y al menos 3,600 personas mostraron síntomas de exposición a agentes nerviosos (Medecins sans frontieres, 2013).

En el momento del ataque, Siria no era Estado Miembro de la Convención sobre Armas Químicas, aunque había firmado el Protocolo de Ginebra de 1925 en 1968.

Siria no violó necesariamente el Protocolo de Ginebra de 1925 al llevar a cabo este ataque, ya que muchos interpretan que el tratado solo prohíbe el primer uso de un arma química contra otro Estado Miembro (Graham Jr. & LaVera, 2002). Lo que sí violó fueron las normas internacionales que consideraban el uso de armas químicas como una cuestión tabú en el contexto de los conflictos militares contemporáneos (Mauroni, 2017).

Dado que el gobierno sirio carecía de los recursos para diseñar, operar y completar un programa de eliminación de compuestos químicos, correspondió a la comunidad internacional, liderada por Estados Unidos, idear un plan de acción.

La **resolución final fue desarrollar un sistema de eliminación que funcionaría en un barco en medio del Mar Mediterráneo**, mientras se enviaban otros precursores y productos de desecho a varias naciones para su eliminación. La forma en que este programa se desarrolló y ejecutó un año después del ataque de Ghouta, representa un logro notable de muchas organizaciones (Mauroni, 2017).

8.2 Desarrollo y ejecución del programa de destrucción

La Convención sobre Armas Químicas prohíbe sacar de un país los arsenales de armas químicas declarados, pero en el caso de Siria se hizo una excepción, dado el alto riesgo que involucraba el establecer una instalación de destrucción segura en el contexto sociopolítico del país.

La OPAQ, la ONU y Estados Unidos se acercaron a preguntar si algún país europeo podría estar dispuesto a recibir las sustancias químicas y destruirlas en su territorio. Ningún país respondió positivamente a esta petición. La mayoría de los países alegaron requisitos medioambientales y normativos que impedirían cumplir el apretado calendario establecido por la OPAQ (Walker, 2014).

La decisión de Siria de adherirse a la CAQ fue un avance político y sumando la falta de progresos con los países europeos para convencerles de que aceptaran los compuestos químicos, Estados Unidos envió un equipo a Baltimore y a Virginia en septiembre de 2013 para estudiar la posibilidad de que buques estadounidenses desplegaran en el mar una instalación para neutralizar las armas, algo que nunca se había hecho antes de 2013.

Finalmente, Finlandia, Alemania y el Reino Unido se declararon dispuestos a aceptar cantidades limitadas de precursores químicos y el mayor volumen de efluentes tóxicos procedentes de la neutralización (Walker, 2014). Rusia y China apoyaron a la Fuerza Operativa Danesa-Noruega (Danish Norwegian Task Force, en inglés) con medios de seguridad naval adicionales (OPCW-UN Joint Mission, s/f).

Walker (2014) menciona que los compuestos químicos almacenadas en Siria eran el agente mostaza azufrado (HD), el agente nervioso sarín (GB) y precursores químicos como el difloruro de metilfosfonilo (DF), los cuales formaban parte de objetivos específicos de un desarrollo tecnológico estadounidense.

El MV Cape Ray, un carguero de carga antiguo, fue elegido en noviembre de 2013 como plataforma adecuada para utilizar el nuevo Sistema de Hidrólisis Desplegable en Campo⁸ (FDHS por sus siglas en inglés *Field Deployable Hydrolysis System*) una unidad de neutralización desarrollada en las instalaciones de Edgewood.

⁸ El FDHS, por sus siglas en inglés, es un sistema modular de desmilitarización transportable y de alto rendimiento diseñado para convertir material de guerra química en compuestos no utilizables como armas. El sistema utiliza tecnología de neutralización para destruir agentes de guerra química y sus precursores calentándolos y mezclándolos con reactivos, tales como agua, hidróxido sódico e hipoclorito sódico para facilitar la degradación química, lo que tiene una eficiencia de destrucción del 99.9%. El proceso de neutralización genera residuos peligrosos en volúmenes de 5 a 14 veces el volumen de material de guerra química tratado (Joint Program Executive Office & Chemical and Biological Defense, s/f).



Figura 10. The Cape Ray. Adaptado de (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2014).

Dando inicio al sistema de eliminación que funcionaría en un barco en medio del Mar Mediterráneo, se comenzaron a retirar las municiones químicas en enero de 2014, en su mayoría eran precursores químicos en barriles de almacenamiento, además de 20 toneladas métricas de agente mostaza (Friedrich, Hoffmann, Renn, Schmaltz, & Wolf, 2017).

Los compuestos químicos se cargaron a bordo de dos cargueros, el *Ark Futura* de Dinamarca y el *Taiko* de Noruega. El *Ark Futura* partió hacia el puerto suroccidental italiano de Gioia Tauro, donde transfirió unas 600 toneladas métricas de productos químicos a un buque de la marina estadounidense, el *Cape Ray*, que había sido equipado con dos unidades de neutralización semimóviles, los FDHS (Joint Program Executive Office & Chemical and Biological Defense, s/f).

La razón de esta transferencia de barco a barco en Italia fue que **el presidente Assad se negó a la entrada de cualquier barco estadounidense en aguas sirias** (Friedrich, Hoffmann, Renn, Schmaltz, & Wolf, 2017). Ver la ilustración 2 para la ruta de destrucción de armas químicas.

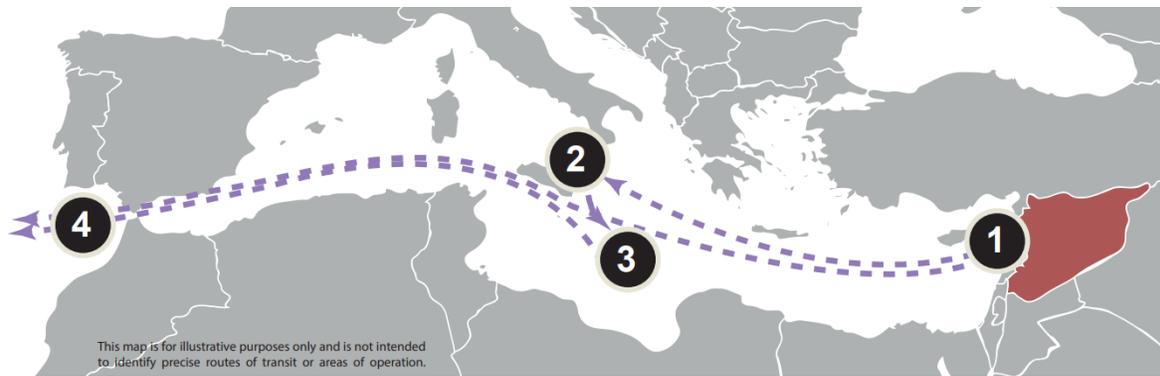
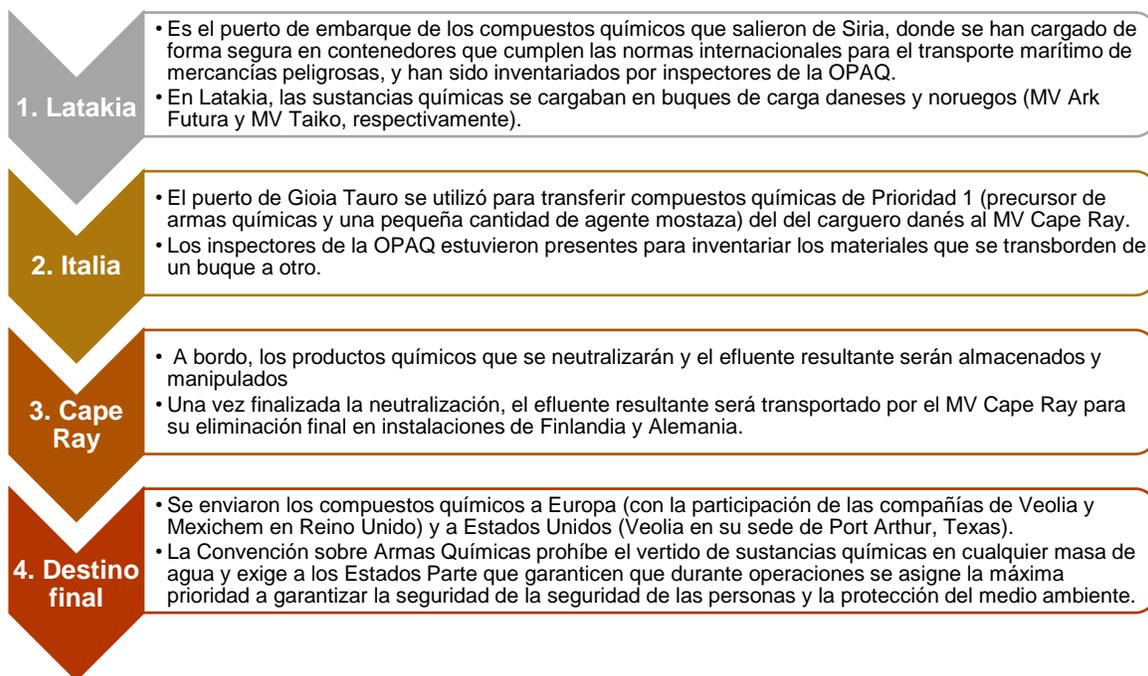


Figura 11. Removal and destruction of syrian chemical weapons. Retomado de (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, s/f).



El Cape Ray comenzó a neutralizar 19.8 toneladas métricas de mostaza azufrada y 581 toneladas métricas de DF en las dos unidades de hidrólisis, operando eventualmente 24 horas al día, seis días a la semana en el mar, con un séptimo día reservado para mantenimiento y reparación (Horner, 2014).

Las proyecciones originales del calendario indicaban que el trabajo requeriría entre 60 y 90 días. Estas proyecciones suponían que las unidades estarían paradas el 40% del tiempo debido a la marea alta y al mal tiempo. Esto supondría un

rendimiento de 11 a 17 toneladas métricas de productos químicos sirios al día (Walker, 2014).

Afortunadamente, el tiempo fue bueno y la marea se mantuvo muy baja, lo que permitió terminar el proceso de hidrólisis el 17 de agosto, tras sólo 42 días de operaciones. Esto indica una tasa media de producción de más de **14 toneladas métricas al día**, justo en el promedio del rango de las estimaciones originales, pero sin ningún tiempo de inactividad no planificado (Walker, 2014).

De las 1,308 toneladas métricas de agentes y precursores químicos retirados de Siria, alrededor de 600 toneladas métricas fueron neutralizadas a bordo del Cape Ray en el Mar Mediterráneo, sin incidentes graves, y el líquido hidrolizado resultante fue entregado por el *Cape Ray* a Alemania y Finlandia para su incineración en segunda fase (Walker, 2014).

El *Ark Futura* entregó alrededor de 150 toneladas métricas, al Reino Unido, donde fue incinerado en dos lugares. El *Taiko* envió su carga química a Finlandia y a Port Arthur Texas, en Estados Unidos, donde se incineró su tonelaje (Walker, 2014).

Acerca de las unidades de neutralización en el Cape Ray, cada uno de estos sistemas de hidrólisis química se diseñó para caber en dos grandes camiones de plataforma para facilitar su transporte y despliegue. Todos estos sistemas reutilizaban los tanques de mezcla revestidos de titanio que habían formado parte del proceso de neutralización de las más de 1,400 toneladas métricas de agente mostaza del arsenal químico estadounidense de Aberdeen entre 2003 y 2005 (Walker, 2014).

A mediados de octubre de 2014, alrededor del 98% de las municiones químicas sirias habían sido totalmente destruidas; el 2% restante demoró otros 14 meses en los Estados Unidos debido a problemas técnicos con la corrosión de los tanques y se completó en enero de 2016 (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2016).

Al final, la operación de destrucción de sustancias químicas sirias fue juzgada como un gran éxito, gracias a los países que participaron en el convoy naval. A la OPAQ

y a las Naciones Unidas, que gestionaron conjuntamente la logística. Además, a los países que aportaron recursos financieros a la OPAQ por un total de más de 50 millones de euros para financiar las inspecciones y las operaciones (Friedrich, Hoffmann, Renn, Schmaltz, & Wolf, 2017).

Conforme Friedrich (2017), la operación en Siria no estuvo, exenta de retos importantes. Uno de ellos fue la falta de transparencia de la operación, que contribuyó a catalizar grandes protestas ciudadanas en todo el Mediterráneo, incluyendo políticos, activistas medioambientales, la industria pesquera y el sector turístico, todos ellos preocupados por la posibilidad de que una operación de neutralización en el mar repercutiera en la salud de la población (p. 391).

Al final, las operaciones de desmilitarización fueron bien, pero se aprendió la lección de que cualquier operación de este tipo que se lleve a cabo en el futuro debe incluir una labor proactiva de divulgación y diálogo y el intercambio de información como elemento central y práctica recomendada para conseguir un apoyo más amplio y evitar la oposición pública (Friedrich, Hoffmann, Renn, Schmaltz, & Wolf, 2017).

IX. Conclusiones

La eliminación segura del desecho de las armas químicas de la Segunda Guerra Mundial se erige como un desafío crucial para la comunidad internacional, abarcando dimensiones que van desde la seguridad global hasta la salud pública y la protección ambiental.

Este proyecto de actualización monográfica ha profundizado en la complejidad del tema, posicionando una importancia de un enfoque multifacético y colaborativo para abordarlo de manera efectiva, que va desde qué es un arma química, hasta casos de éxito muy específicos, como lo es el de Siria.

La eliminación segura de armas químicas exige un manejo meticuloso y especializado, siguiendo protocolos internacionales rigurosos para prevenir y minimizar el impacto ambiental. La capacitación exhaustiva del personal, la supervisión de agentes externos y autorizados por la OPCW, la implementación de

medidas de seguridad estrictas y la utilización de tecnologías apropiadas son aspectos esenciales para garantizar el éxito de operaciones seguras.

La comunidad internacional ha reconocido la necesidad de sumar esfuerzos para enfrentar este desafío común. Iniciativas como el Proyecto Chemsea y los esfuerzos conjuntos de países bálticos en el Mar Báltico ejemplifican el poder de la colaboración para identificar las armas químicas y tener una buena disposición final, de manera segura y eficiente. La colaboración de varios países, la asistencia técnica y la financiación conjunta, como lo fueron los más de 50 millones de euros financiados a la OPAQ para las operaciones, son elementos claves para el éxito de estas iniciativas.

Los avances tecnológicos ofrecen nuevas oportunidades para abordar la eliminación de armas químicas de manera más segura y eficaz. La hidrólisis y la fracturación criogénica son ejemplos de tecnologías emergentes que prometen un procesamiento más seguro y eficiente de estos materiales peligrosos; especialmente la criofractura al ser una técnica para la desmilitarización de una amplia gama de municiones difíciles de tratar.

Las armas químicas representan una grave amenaza para el medio ambiente y la salud humana. Su presencia puede causar daños a largo plazo en ecosistemas frágiles, contaminar fuentes de agua y provocar graves problemas de salud en las poblaciones expuestas. La identificación de los CWA ayudó a las actividades pesqueras del Mar Báltico, alertando las implicaciones de consumir peces de los sitios identificados con mayor desecho de armas químicas.

La existencia de un marco legal y político sólido es fundamental para garantizar la eliminación segura de las armas químicas. La Convención de Armas Químicas constituye un instrumento vital en este sentido, y su estricta implementación por parte de todos los 193 Estados firmantes es crucial para alcanzar el objetivo de un mundo libre de armas químicas.

Este proyecto de actualización monográfica contribuye y transmite una comprensión de las dimensiones técnicas, ambientales, políticas y sociales de este problema,

proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y acciones. El compromiso continuo de la comunidad internacional con la colaboración, la innovación y la responsabilidad compartida es fundamental para alcanzar el objetivo de un mundo libre de la amenaza de las armas químicas, garantizando así la seguridad global, la salud pública y la protección del medio ambiente para las generaciones presentes y futuras.

X. Bibliografía

Referencias capítulo II: Municiones no detonadas y armas químicas de la Segunda Guerra Mundial

OPCW. (2024). *Eliminating Chemical Weapons*. Retrieved febrero 18, 2024, from <https://www.opcw.org/our-work/eliminating-chemical-weapons>

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (2014, septiembre 12). *Origins of the Chemical Weapons Convention and the OPCW*. Retrieved febrero 18, 2024, from <https://studylib.net/doc/18891478/chemical-weapons-history>

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (2020, junio). *Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on their Destruction*. Retrieved febrero 18, 2024, from Chemical Weapons Destruction: https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/CWC/CWC_en.pdf

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (2020, octubre 11). What is a chemical weapon? Países Bajos. Retrieved febrero 18, 2024, from <https://www.opcw.org/about-us/opcw-basics>

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (2024). *Article II: Definitions and Criteria*. Retrieved febrero 18, 2024, from Chemical Weapons: <https://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/articles/article-ii-definitions-and-criteria>

Organización para la Prohibición de las Armas Químicas. (2016, Marzo). *OPAQ: ¿Qué es un arma química? Ficha Descriptiva 4*. Retrieved febrero 18, 2024, from <https://www.refworld.org/es/ref/legalpolicy/005/2016/es/127490>

Referencias capítulo III: Chemsea Project

Andrulewicz, E. (1996). War gases and ammunition in the Polish Economic Zone of the Baltic Sea. En *Sea-Dumped Chemical Weapons: Aspects, Problems and Solutions. NATO ASI Series*. (Vol. 7, págs. 9-15). Gdynia, Polonia: In: Kaffka A.V. doi:10.1007/978-94-015-8713-6_2

Beldowski, J., Klusek, Z., Szubska, M., Turja, R., I. Bulczak, A., Rak, D., . . . Schmidt, B. (2016). Chemical Munitions Search & Assessment – An evaluation of the dumped munitions problem in the Baltic Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 128, 85-95. doi:10.1016/j.dsr2.2015.01.017

Beldowski, J., Potrykus, J., Szubska, M., Klusek, Z., Fabisiak, J., Michalak, J., . . . Fidler, J. (2014). *CHEMSEA Findings - Results from the CHEMSEA project (chemical munitions search and assessment)*. Unión Europea.

Glasby, G. P. (1997). Disposal of chemical weapons in the Baltic Sea. *Science of The Total Environment*, 206(2-3), 267-273. doi:10.1016/S0048-9697(97)80015-0

HELCOM. (20 de marzo de 2018). HELCOM Assessment on maritime activities in the Baltic Sea. (H. Comission, Ed.) *Baltic Sea Environment Proceedings*(152), 253. Recuperado el 26 de Febrero de 2024

Missiaen, T., Söderström, M., Popescu, I., & Vanninen, P. (2010). Evaluation of a chemical munition dumpsite in the Baltic Sea based on geophysical and chemical investigations. *Science of The Total Environment*, 408(17), 3536-3553. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.04.056

Real Academia Española. (18 de marzo de 2024). *Transecto*. Obtenido de Diccionario de la lengua española: <https://dle.rae.es/transecto>

Zalewska, T., Grajewska, A., Danowska, B., Rybka-Murat, M., Saniewski, M., & Iwaniak, M. (2023). Warning system for potential releases of chemical warfare agents from dumped munition in the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 191(114930), 82-342. doi:10.1016/j.marpolbul.2023.114930

Referencias capítulo IV: Armas químicas desechadas

Beldowski, J., Klusek, Z., Szubska, M., Turja, R., Bulczak, A., Rak, D., . . . Schimdt, B. (2016). Chemical Munitions Search & Assessment—An evaluation of the dumped munitions problem in the Baltic Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 128, 85-95. doi:10.1016/j.dsr2.2015.01.017.

Brooke, J. (24 de noviembre de 1996). At Chemical Weapons Depot, the Target Is Tenants. *The New York Times*, pág. 24. Recuperado el 31 de marzo de 2024, de <https://www.nytimes.com/1996/11/24/us/at-chemical-weapons-depot-the-target-is-tenants.html>

Carstensen, J., Andersen, J., Gustafsson, B., & Conley, D. (31 de marzo de 2014). Deoxygenation of the Baltic Sea during the last century. (D. Karl, Ed.) *PNAS*, 111(15), 5628-5633. doi:10.1073/pnas.132315611

Chunying, H. (1 de diciembre de 2014). Beijing defends refusal of British politician visit to Hong; comments on chemical weapon destruction. (A. P. Video, Entrevistador) Beijing. Recuperado el 31 de marzo de 2024, de <https://video-ebshost-com.pbidi.unam.mx:2443/c/df24kt/deDate=&auth-callid=bc662aa7-586e-48c5-9f40-4a81b97ab0ef>

Conley, D. J., Carstensen, J., Vaquer-Sunyer, R., & Duarte, C. M. (2009). Ecosystem thresholds with hypoxia. En J. Andersen, & D. Conley, *Eutrophication in Coastal Ecosystems. Developments in Hydrobiology* (Vol. 207, págs. 21-29). Dordrecht: Springer. doi:10.1007/978-90-481-3385-7_3

Czub, M., Kotwicki, L., Lang, T., Sanderson, H., Klusek, Z., Grabowski, M., . . . Beldowski, J. (marzo de 2018). Deep sea habitats in the chemical warfare

dumping areas of the Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 616-617, 1485-1497. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.10.165

Diaz, R., & Rosenberg, R. (2008). Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*, 321, 926-929. doi:10.1126/science.1156401

Elmgren, R. (2001). Understanding Human Impact on the Baltic Ecosystem: Changing Views in Recent Decades. *Ambio*, 30(4-5), 222-231. Recuperado el 31 de marzo de 2024, de <https://www.jstor.org/stable/4315140>

Embajada de la República Popular de China en el Reino de los Países Bajos. (27 de marzo de 2023). Position Paper on the Chemical Weapons Abandoned by Japan in China. Recuperado el 31 de marzo de 2024, de http://nl.china-embassy.gov.cn/eng/OPCW/202303/t20230327_11049870.htm

Knobloch, T. (2014). Chemical Munitions Dumped in the Baltic Sea: Report of the Ad Hoc Expert Group to Update and Review the Existing Information on Dumped Chemical Munitions in the Baltic Sea (HELCOM MUNI).

Program Executive office, Assembled Chemical Weapons Alternatives Public Affairs. (7 de julio de 2023). U.S. Chemical Weapons Stockpile Destruction Completion and Program Overview. Recuperado el 31 de marzo de 2024, de U. S. Army Chemical Materials Activity: https://www.peoacwa.army.mil/wp-content/uploads/US_Chemical_Weapons_Stockpile_Destruction_Program_Overview.pdf

Program Executive Office, Assembled Chemical Weapons Alternatives Public Affairs. (s/f). U.S. Army Pueblo Chemical Depot. Recuperado el 31 de marzo de 2024, de <https://www.cma.army.mil/pcd/>

Szarejko, A., & Namieśnik, J. (2009). The Baltic Sea as a dumping site of chemical munitions and chemical warfare agents. *Chemistry and Ecology*, 25, 13-26. doi:10.1080/02757540802657177

Vaquer-Sunyer, R., & Duarte, C. (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(40), 15452-15457. doi:10.1073/pnas.0803833105

United Nations. (2000). A/C.1/55/PV.4: Official Records of the First Committee, 4th meeting, 55th Session. United Nations.
<https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n00/671/03/pdf/n0067103.pdf>

Referencias capítulo V: Tecnologías de detección y eliminación de armas químicas

Follin, J. (2007). *The Cryofracture Demilitarization Process: An evolving technology*. General Atomics. Nevada: Global Demilitarization Symposium & Exhibition. Retrieved abril 07, 2024, from
https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2007/global_demil/SessionIVB/0915Follin.pdf

General Atomics Electromagnetics. (2024). *Demilitarization medium size munitions*. Retrieved abril 07, 2024, from
https://www.ga.com/images/products/defense/demil2/Cryofracture_DS_0821E.pdf

Martín, M., Pinto, G., Hernández, J., & Martín, M. (2015). Cien años de armas químicas. *Anales de Química*, 111(4), 224-229. Retrieved abril 07, 2024, from
https://www.researchgate.net/publication/287640749_Cien_anos_de_armas_quimicas

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (2024). *Eliminating Chemical Weapons*. Retrieved marzo 31, 2024, from OPCW work:
<https://www.opcw.org/our-work/eliminating-chemical-weapons>

Organización para la Seguridad y la Cooperación en Europa. (2008). Manual de la OSCE de mejores prácticas sobre munición convencional. In O. p. Europa. Austria. Retrieved abril 07, 2024, from
<https://www.osce.org/files/f/documents/7/d/33412.pdf>

- Pellerin, C. (2014, agosto 11). *75 Percent of Syria Chemical Materials Reported Destroyed*. Retrieved abril 07, 2024, from U.S. Department of Defense: <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/603046/75-percent-of-syria-chemical-materials-reported-destroyed/>
- Princeton University. (1992). Selected Chemical Weapon Destruction Techniques. In A. A.-S. Techniques. Retrieved abril 07, 2024, from <https://www.princeton.edu/~ota/disk1/1992/9210/921006.PDF>
- United States General Accounting Office. (1996). Testimony: Chemical Weapons - Issues Involving Destruction Technologies. *Statement of David R. Warren, Associate Director, Defense Management and NASA Issues, National Security and International Affairs Division, GAO/T-NSIAD-94-159*. U. S. Recuperado el 07 de abril de 2024, de <https://www.gao.gov/assets/t-nsiad-94-159.pdf>
- Yao, Z., Wang, X., Guan, Y., & Cui, X. (2012). Study on disposal and destruction of Abandoned Chemical Weapons by the Japanese Army in China. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 176-182. doi:10.1016/j.proenv.2012.10.024
- Referencias capítulo VI: Impactos ambientales y riesgos asociados**
- Anelli, D. (junio de 2020). *Old Chemical Weapons: Moving the OPCW to an Active Role*. Recuperado el 08 de abril de 2024, de Arms Control Association: <https://www.armscontrol.org/act/2020-06/features/old-chemical-weapons-moving-opcw-active-role>
- Assennato, G., Ambrosi, F., & Sivo, D. (1997). Possibili effetti a lungo termine sull'apparato respiratorio della esposizione ad iprite tra pescatori [Possible long-term effects on the respiratory system of exposure to yperite of fishermen]. *La Medicina del lavoro*, 88(2), 148-154. Recuperado el 21 de abril de 2024, de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9312665/>
- Beldowski, J., Potrykus, J., Szubska, M., Klusek, Z., Fabisiak, J., Michalak, J., . . . Fidler, J. (2014). *CHEMSEA Findings - Results from the CHEMSEA project (chemical munitions search and assessment)*. Unión Europea.

- Carroll, L. S. (2005). Sulfur Mustard: Cutaneous Exposure. *Clinical Toxicology*, 43(1), 55-55. doi:10.1081/CLT-200048602
- DoD Environment, Safety & Occupational Health Network and Information Exchange (DENIX). (noviembre de 2022). *3Rs Training Explosives Safety Guide: Construction Industry*. Recuperado el 21 de abril de 2024, de https://media.defense.gov/2023/Sep/19/2003303899/-1/-1/1/3RS_GUIDE_CONSTRUCTION-2022.11.10.PDF
- Greenberg, M., Sexton, K., & Vearrier, D. (2016). Sea-dumped chemical weapons: environmental risk, occupational hazard. *Clinical Toxicology*, 54(2), 79-91. doi:10.3109/15563650.2015.1121272
- Knobloch, T., Beldowski, J., Böttcher, C., Söderström, M., Rühl, N.-P., & Sternheim, J. (2013). *Chemical Munitions Dumped in the Baltic Sea. Report of the ad hoc Expert Group to Update and Review the Existing Information on Dumped Chemical Munitions in the Baltic Sea (HELCOM UNI)*. HELCOM. Helsinki: Baltic Marine Environment Protection Commission -Helsinki Commission-. Recuperado el 21 de abril de 2024, de <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/Dumped-chemical-munitions-in-the-Baltic-Sea.pdf>
- Missiaen, T., & Henriët, J.-P. (2002). *Chemical munition dump sites in coastal environments*. Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs (OSTC); Federal Ministry of Social Affairs, Public Health and the Environment, Renard Centre of Marine Geology, University of Gent, Bélgica. Recuperado el 21 de abril de 2024
- Morton, B. (2013). Bombs away! *Marine Pollution Bulletin*, 73(1), 1-2. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.04.014
- OSPAR Commission. (2010). *Overview of Past Dumping at Sea of Chemical Weapons and Munitions in the OSPAR Maritime Area 2010 update*. Londres. Recuperado el 21 de abril de 2024, de <https://www.ospar.org/documents?v=7258>

Referencias capítulo VII: Aspectos políticos en la destrucción de armas químicas

Arms Control Association. (s/f). *Chemical Weapons Convention (CWC)*. Retrieved mayo 05, 2024, from Treaties & Agreements:

<https://www.armscontrol.org/treaties/chemical-weapons-convention>

G. Kimball, D. (s/f). *The Chemical Weapons Convention (CWC) at a Glance*.

Retrieved mayo 05, 2024, from Arms Control Association:

<https://www.armscontrol.org/factsheets/cwcglance>

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (2020). Convención sobre las armas químicas: Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción. *Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción*, (pág. 15). Recuperado el 05 de mayo de 2024, de

https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/CWC/CWC_es.pdf

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (2024). *History: Looking back helps us look forward*. Recuperado el 05 de mayo de 2024, de Past Chemical Disarmament Efforts:

https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/CWC/CWC_es.pdf

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (2024). *Member States: United Mexican States*. Recuperado el 05 de mayo de 2024, de

<https://www.opcw.org/es/la-organizacion/estados-miembros/mexico>

United Nations Treaty Collection. (23 de abril de 2020). *Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on their Destruction*. Recuperado el 05 de mayo de 2024, de

<https://treaties.un.org/doc/Publication/MTDSG/Volume%20II/Chapter%20XXVI/XXVI-3.en.pdf>

Referencias capítulo VIII: Caso de Siria

- Friedrich, B., Hoffmann, D., Renn, J., Schmaltz, F., & Wolf, M. (2017). *One Hundred Years of Chemical Warfare: Research, Deployment, Consequences* (Primera ed.). Cham, Suiza: Springer. doi:10.1007/978-3-319-51664-6
- Graham Jr., T., & LaVera, D. (2002). *Cornerstones of Security: Arms Control Treaties in the Nuclear Era*. Seattle, WA: University of Washington Press.
- Horner, D. (septiembre de 2014). *Syrian Chemicals Destroyed on U.S. Ship*. Recuperado el 12 de mayo de 2024, de Arms Control Association: Arms Control Today: <https://www.armscontrol.org/act/2014-09/news/syrian-chemicals-destroyed-us-ship>
- Joint Program Executive Office & Chemical and Biological Defense. (s/f). *Field Deployable Hydrolysis System (FDHS)*. Retrieved mayo 12, 2024, from <https://api.army.mil/e2/c/downloads/326585.pdf>
- Mauroni, A. (2017). *Eliminating Syria's Chemical Weapons*. Future Warfare Series, Air University, Maxwell Air Force Base, US Air Force Center for Unconventional Weapons Studies, Alabama. Recuperado el 12 de mayo de 2024, de <https://media.defense.gov/2019/Apr/11/2002115522/-1/-1/0/58ELIMINATINGSYRIACW.PDF>
- Medecins sans frontieres. (2013). Syria: Thousands Suffering Neurotoxic Symptoms Treated in Hospitals Supported by MSF. Ginebra, Suiza. Recuperado el 12 de mayo de 2024, de <https://www.msf.org/syria-thousands-suffering-neurotoxic-symptoms-treated-hospitals-supported-msf>
- OPCW-UN Joint Mission. (s/f). *OPCW-UN Joint Mission in Syria*. Retrieved mayo 12, 2024, from Fact sheet: https://opcw.unmissions.org/sites/default/files/old_dnn/General%20FAQs%20for%20PDF.pdf
- Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (13 de agosto de 2014). *U.S. Completes Destruction of Sarin Precursors from Syria on the Cape*

Ray. Recuperado el 12 de mayo de 2024, de News:
<https://www.opcw.org/media-centre/news/2014/08/us-completes-destruction-sarin-precursors-syria-cape-ray>

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (4 de enero de 2016). *Destruction of declared Syrian chemical weapons completed*. Recuperado el 12 de mayo de 2024, de News: <https://www.opcw.org/media-centre/news/2016/01/destruction-declared-syrian-chemical-weapons-completed>

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons. (s/f). *Removal and destruction of syrian chemical weapons*. Retrieved mayo 12, 2024, from Syria and the OPCW:
https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/files/Syra_Infographic.pdf

The White House. (2013). *Government Assessment of the Syrian Government's Use of Chemical Weapons on August 21, 2013*. Estados Unidos. Recuperado el 12 de mayo de 2024, de <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2013/08/30/government-assessment-syrian-government-s-use-chemical-weapons-august-21>

Walker, P. F. (Diciembre de 2014). *Syrian Chemical Weapons Destruction: Taking Stock and Looking Ahead*. Recuperado el 12 de mayo de 2024, de Arms Control Association: <https://www.armscontrol.org/act/2014-12/features/syrian-chemical-weapons-destruction-taking-stock-looking-ahead>

Anexo 1 – Lista 1

En la siguiente lista se enumeran las sustancias químicas tóxicas y sus precursores, sin embargo, no constituyen una definición de armas químicas.

Siempre que se hace referencia a grupos de sustancias químicas dialquiladas, seguidos de una lista de grupos alquílicos entre paréntesis, se entienden incluidas en la respectiva Lista todas las sustancias químicas posibles por todas las combinaciones posibles de los grupos alquílicos indicados entre paréntesis, en tanto no estén expresamente excluidas (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2020).

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8)
5.	Lewisitas	

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter Lewisita 1: 2-clorovinildicloroarsina	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8) (541-25-3)

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter Lewisita 2: bis(2-clorovinil) cloroarsina	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8) (40334-69-8)

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter Lewisita 3: tris(2-clorovinil) arsina	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8) (40334-70-1)

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8)
6.	Mostazas de nitrógeno:	

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter HN1: bis(2-cloroetil) etilamina	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8) (538-07-8)

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter HN2: bis(2-cloroetil) metilamina	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8) (51-75-2)

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter HN3: tris(2-cloroetil) amina	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8) (555-77-1)

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8)
7.	Saxitoxina	(35523-89-8)

Lista 1		No. Del CAS
A.	Sustancias químicas tóxicas	
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Sarín: Metilfosfonofluoridato de 0-isopropilo Somán: Metilfosfonofluoridato de 0-pinacolilo	(107-44-8) (96-64-0)
2.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidocianidatos de 0-alquilo (<C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) ej.: Tabún: N,N-dimetilfosforamidocianidato de 0-etilo	(77-81-6)
3.	S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfotiolatos de 0-alquilo (H o < C ₁₀ , incluido el cicloalquilo) y sales alquiladas o protonadas correspondientes ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfotiolato de 0-etilo	(50782-69-9)
4.	Mostazas de azufre: Clorometilsulfuro de 2-cloroetil Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) Bis(2-cloroetiltio)metano Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal Bis(2-cloroetiltio)éter Mostaza O: bis(2-cloroetiltio)éter	(2625-76-5) (505-60-2) (63869-13-6) (3563-36-8) (63905-10-2) (142868-93-7) (142868-94-8) (63918-90-1) (63918-89-8)
8.	Ricina	(9009-86-3)

13.	Fluoruros de P-alkil (H o $\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo) N-(1-(dialquil($\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo)amino))alkiliden(H o $\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo) fosfonamídicos y sales alkilatadas o protonadas correspondientes	
	ej.: fluoruro de N-(1-(di-n-decilamino)-n-deciliden)-P-decilmfosfonamídico	(2387495-99-8)
	Metil-(1-(dietilamino)etiliden)fosfonamidofluoridato	(2387496-12-8)
14.	O-alkil (H o $\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo) N-(1-(dialquil($\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo)amino))alkiliden(H o $\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo) fosforamidofluoridatos y sales alkilatadas o protonadas correspondientes	
	ej.: O-n-decil N-(1-(di-n-decilamino)-n-deciliden) fosforamidofluoridato	(2387496-00-4)
	Metil (1-(dietilamino)etiliden)fosforamidofluoridato	(2387496-04-8)
	Etil (1-(dietilamino)etiliden)fosforamidofluoridato	(2387496-06-0)
15.	Metil-(bis(dietilamino)metilen)fosfonamidofluoridato	(2387496-14-0)
16.	Carbamatos (cuaternarios y bicuaternarios de dimetilcarbamoiloxipiridinas)	
	Cuaternarios de dimetilcarbamoiloxipiridinas:	
	Dibromuro de 1-[N,N-dialquil($\leq C_{10}$)-N-(n-(hidroxil, ciano, acetoxi)alkil($\leq C_{10}$)) amonio]-n-[N-(3-dimetilcarbamoxi- α -picolinil)-N,N-dialquil($\leq C_{10}$) amonio]decano (n=1-8)	
	ej.: Dibromuro de 1-[N,N-dimetil-N-(2-hidroxietilamonio)-10-[N-(3-dimetilcarbamoxi- α -picolinil)-N,N-dimetilamonio]decano	(77104-62-2)
	Bicuaternarios de dimetilcarbamoiloxipiridinas:	

	Dibromuro de 1,n-bis[N-(3-dimetilcarbamoxy- α -picolil)-N,Ndialquil($\leq C_{10}$) amonio]-alcano-(2,(n-1)-diona) (n=2-12)	
	ej.: Dibromuro de 1,10-bis[N-(3-dimetilcarbamoxy- α -picolil)-Netil-N-metilamonio]decano-2,9-diona)	(77104-00-8)
B.	Precursores	
9.	Fosfonildifluoruros de alquilo (metilo, etilo, propilo (normal o isopropilo))	
	ej.: DF: metilfosfonildifluoruro	(676-99-3)
10.	0-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonitos de 0-alquilo (H o $<C_{10}$, incluido el cicloalquilo) y sales alquilatadas o protonadas correspondientes.	
	ej.: QL: 0-2-diisopropilaminoetilmetilfosfonito de 0-etilo	(57856-11-8)
11.	Cloro Sarín: metilfosfonocloridato de 0-isopropilo	(1445-76-7)
12.	Cloro Somán: metilfosfonocloridato de O-pinacolilo	(7040-57-5)

Glosario

- ACW – armas químicas abandonadas, por sus siglas en inglés *abandoned chemical weapons, que se considera a todas* aquellas dejadas por un Estado.
- ACWA - Alternativas a las Armas Químicas Ensambladas o por sus siglas en inglés *Assembled Chemical Weapons Alternatives*.
- BGAD - Depósito del Ejército Blue Grass o por sus siglas en inglés *Blue Grass Army Depot*.
- BWC - La Convención sobre Armas Biológicas, o por sus siglas en inglés *Biological Weapons Convention*.
- CAQ/CWC - Convención sobre Armas Químicas o por sus siglas en inglés *Chemical Weapons Convention*.
- CHEMSEA – El acrónimo en inglés de *Chemical Munitions Search & Assessment* o lo que se traduciría el proyecto en español como Búsqueda y Evaluación de Municiones Químicas.
- CMA - La Actividad de Materiales Químicos del Ejército de los EE.UU., *chemical material activity* por sus siglas en inglés. Anteriormente se conocía como la Agencia de Materiales Químicos del Ejército de los EE.UU.
- CW – Por el acrónimo en inglés *Chemical Warfare*, o su traducción en español Guerra Química.
- CWA – Agentes químicos de guerra o por sus siglas en inglés *Chemical Warfare Agent*. Son sustancias químicas cuyas propiedades tóxicas se utilizan para matar, herir o incapacitar. En el siglo XX se han utilizado o han sido almacenados como agentes de guerra química. Los CWA pueden presentarse en forma líquida, gaseosa o sólida. Generalmente se organizan en categorías según la forma fisiológica en que afectan al cuerpo humano.
- DO – Oxígeno disuelto, que se llega a medir en unidades de solución estándar tales como mililitros de O₂ por litro.
- FDHS - Sistema de Hidrólisis Desplegable en Campo o por sus siglas en inglés *Field Deployable Hydrolysis System*.
- FOI - Agencia Sueca de Investigación para la Defensa, por sus siglas en sueco.

- HELCOM – Es la Comisión para la Protección del Medio Marino del Báltico (Comisión de Helsinki). Es una organización intergubernamental que rige el Convenio sobre la Protección del Medio Marino de la Mar Báltico (Convenio de Helsinki). HELCOM trabaja para proteger el medio marino del Mar Báltico frente a todas las fuentes de contaminación.
- NDE - Examen no destructivo o por sus siglas en inglés *nondestructive examination*.
- ONU/UN – Organización de las Naciones Unidas o por sus siglas en inglés, *United Nations*.
- OPAQ/OPCW - Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ) o por sus siglas en inglés *Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons* (OPCW).
- OSPAR - La Comisión OSPAR, *Oslo and Paris Conventions*.
- PCD - Es Army Pueblo Chemical Depot, Pueblo Chemical Depot (PCD) en inglés.
- PNA – *Polish Naval Academy* o en español, la Academia Naval Polaca.
- SMA - *Swedish Maritime Administration* o en español, la Administración Marítima Sueca.