

39/2014

14 abril de 2014

*Rafael Juárez Martín**

LA DESTRUCCIÓN DE ARMAS
QUÍMICAS SIRIAS. ¿UN PELIGRO PARA
LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE?

[Visitar la WEB](#)

[Recibir BOLETÍN ELECTRÓNICO](#)

LA DESTRUCCIÓN DE ARMAS QUÍMICAS SIRIAS. ¿UN PELIGRO PARA LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE?

**Trabajo realizado durante la estancia en prácticas en el IEEE correspondientes al Máster de Analista de Inteligencia*

Resumen:

Actualmente la comunidad internacional, bajo los auspicios de la Organización para la Prohibición de Armas Químicas y la Organización de las Naciones Unidas, se encuentra inmersa en la tarea de destruir el armamento químico sirio. En el pasado muchas naciones se deshicieron de su arsenal químico mediante técnicas poco respetuosas con el medio ambiente y la salud de las personas de tal forma que aún hoy siguen suponiendo un peligro. Este artículo pretende analizar cómo se llevará a cabo la destrucción del arsenal químico sirio y sus posibles impactos sobre la salud y el medio ambiente. Para este propósito se analizarán informaciones publicadas en diversos medios y se describirá como se realizará la gestión de este armamento desde su salida de Siria, desde el puerto de Latakia, hasta su total neutralización por parte de diversas empresas internacionales especialistas en la gestión de residuos químicos.

Abstract:

Nowadays the international community, headed by the Organization for the Prohibition of Chemical Weapons and the United Nations, is involved in the task of destroying the Syria's chemical arsenal. In the past, several nations disposed their chemical arsenal using techniques that, even nowadays, endanger the health of people and the environment. This article aims to analyse the process of the destruction of Syria's chemical weapons and the risk generated for human health and the environment. In this way, information published in several media will be analysed and the process of how the chemical weapons are going to be destroyed will be described from the exit of Syrian territory to the last phase of its destruction by international companies with expertise managing chemical waste.

***NOTA:** Las ideas contenidas en los **Documentos de Opinión** son de responsabilidad de sus autores, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.

Palabras clave:

Siria, Armas Químicas, MV Cape Ray, Salud y Medio Ambiente, Tratamiento de Residuos Químicos.

Keywords:

Syria, Chemical Weapons, MV Cape Ray, Health and Environment, Chemical Waste Disposal.

INTRODUCCIÓN:

La adhesión de Siria a la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ), en octubre de 2013,¹ implica el compromiso por parte del régimen sirio de proceder a la completa destrucción de las armas químicas y de todos los materiales e instalaciones relacionados con su fabricación, llenado de munición y sus sistemas de dispersión. Debido a la precaria situación que vive el país, inmerso en una guerra civil, el régimen de Bashar al-Assad ha solicitado ayuda internacional para cumplir con los objetivos impuestos por la OPAQ. En respuesta a esta solicitud, la comunidad internacional se ha movilizado y diversos países se encargarán de la gestión y destrucción de los tóxicos químicos, así como de sus precursores.

Hasta la entrada en vigor de la Convención para las Armas Químicas (CAQ) los distintos países que han poseído armas químicas se han deshecho de ellas de diferentes formas no muy seguras ni para la salud ni para el medio ambiente. Tras el fin de la II Guerra Mundial países como la Unión Soviética, Estados Unidos, Alemania y Japón se deshicieron de parte de sus arsenales vertiéndolos directamente al mar². A día de hoy los residuos procedentes de los contenedores llenos de armas químicas suponen un serio riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente. Por poner algún ejemplo todos los años pescadores del Mar Báltico atrapan con sus redes bidones con sustancias tóxicas tirados al mar por parte de la Unión Soviética y Alemania.³ Tras el paso de los años y al haber estado en contacto con el agua del mar, en un ambiente bastante corrosivo, los contenedores se encuentran en muy mal estado y su manipulación provoca grandes riesgos para estos trabajadores.

Otro ejemplo del riesgo para la salud y el medio ambiente relacionado con las armas químicas son las municiones abandonadas o perdidas tras conflictos bélicos que hoy en día siguen apareciendo. Actualmente en los campos belgas y franceses continúan encontrándose municiones en muy mal estado de la I guerra mundial, época en la que el armamento químico se usó en grandes cantidades. Estas municiones suponen un serio peligro tanto para las personas que los descubren como para el personal encargado de neutralizar esas municiones.⁴

¹ <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2013/CN.592.2013-Eng.pdf> Fecha de consulta 15.01.2014

² Pita, René. *Armas Químicas, la ciencia en manos del mal*, Madrid, Ed. Plaza y Valdés, 2008. pp 272-274

³ HELCOM, Response Manual, volumen 2, capítulo 6. Disponible en <http://helcom.fi/action-areas/response-to-spills/manuals-and-guidelines> Fecha de consulta 24.02.2014

⁴ A. Hall, "Mustard gas blisters and a daily risk of death", Daily Mail, disponible en <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2497732/The-iron-harvest-Meet-soldiers-tasked-clearing-hundreds-tonnes-deadly-World-War-I-shells-mines-beneath-fields-Flanders.html#ixzz2pUgxnQkl> Fecha de consulta 24.02.2014

En la actualidad, el vertido directo al mar está prohibido expresamente por la CAQ (anexo sobre verificación, artículo IV-A):⁵ *“Cada Estado Parte determinará el procedimiento que seguirá para la destrucción de las armas químicas, con exclusión de los procedimientos siguientes: vertido en una masa de agua, enterramiento o incineración a cielo abierto. Cada Estado Parte solamente destruirá las armas químicas en instalaciones expresamente designadas y debidamente equipadas.”*

La CAQ es un acuerdo de proliferación y de desarme y por ello los países poseedores de armamento químico y que han ratificado este acuerdo están obligados a deshacerse de todos sus arsenales mediante procedimientos que garanticen la seguridad de las personas y



Foto del buque MV Cape Ray. Fuente diario ABC (referencia 8)

sean respetuosos con el medio ambiente. Para cumplir con estos requisitos, se han desarrollado numerosas investigaciones que han conducido a la elaboración de protocolos y tecnologías muy precisas capaces de destruir el armamento químico sin que esto suponga una amenaza para la salud y el medio ambiente.⁶ El proceso de destrucción de las armas químicas de Siria se realizará siguiendo estos modernos protocolos y métodos.

Ante la imposibilidad de realizar el proceso en territorio sirio por motivos de seguridad, la destrucción de los agentes químicos fundamentalmente se realizará en dos fases. La primera en el buque norteamericano MV Cape Ray en aguas internacionales del Mediterráneo donde se neutralizarán los materiales más peligrosos (salvo una pequeña cantidad que será hidrolizada en instalaciones del puerto de Ellesmere, Reino Unido)⁷. El

⁵ CAQ, Verification Annex. Disponible en <http://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/verification-annex/part-iva/> Fecha de consulta 9.04.2014

⁶ G. S. Pearson, R. S. Magee, “Critical Evaluation Of Proven Chemical Weapon Destruction Technologies”, *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 74, nº 2, 2002, 187–316

⁷ OPAQ, “More Movement of Chemicals Out of Syria Boosts Removals to Half of Stockpile” Disponible en

buque se encuentra fondeado desde febrero de 2014 en la base de Rota⁸ y zarpará posiblemente a mediados de abril.⁹ En una segunda fase, los residuos generados en el proceso de hidrólisis y el resto de compuestos químicos se procesarán en plantas comerciales de diferentes países conforme a las condiciones de un concurso público realizado por la OPAQ al que se presentaron catorce empresas de las que una, opera en España.¹⁰

El objetivo de este artículo es analizar cómo se realizará el proceso de destrucción desde que las armas hayan salido de Siria hasta que sean tratados en las plantas comerciales y analizar el potencial impacto en la salud y en el medio ambiente.

¿QUÉ ARMAMENTO VA A DESTRUIRSE?

Siria como miembro de la OPAQ, y obligado por las normas de la CAQ,¹¹ ha presentado un inventario de todo su stock de armamento químico, incluyendo centros de investigación y producción, cantidades de agentes químicos tóxicos y precursores, instalaciones de llenado de armas (proyectiles, granadas, misiles, bombas...), número de armas cargadas con agentes químicos, etc. Dicha declaración no se ha hecho pública y continua siendo confidencial y por tanto es complicado decir con seguridad que tipo de armamento químico posee Siria y en qué cantidades.

Sin embargo, podemos hacernos una idea bastante aproximada de su arsenal analizando las diversas informaciones que ha publicado la OPAQ (concretamente los comunicados del 15 de noviembre de 2013 donde aparece la hoja de ruta para destrucción del arsenal químico,¹² la “expresión de interés” publicada el 20 de noviembre de 2013 con el

<http://www.opcw.org/news/article/more-movement-of-chemicals-out-of-syria-boosts-removals-to-half-of-stockpile/> Fecha de consulta 21.03.2014

⁸ E. Villarejo, “Un buque de EE.UU. aguarda en Rota para recibir en Italia armas químicas de Siria”, diario ABC, disponible en <http://www.abc.es/espana/20140213/abci-buque-aguarda-rota-para-201402131328.html> Fecha de consulta 13.02.2014

⁹ E. Villarejo, “Rota: la OPAQ solo exhibe a medios extranjeros el buque que destruirá el arsenal químico sirio”, diario ABC, disponible en <http://abcblogs.abc.es/tierra-mar-aire/public/post/rota-la-opaq-solo-exhibe-a-medios-extranjeros-el-buque-que-destruira-el-arsenal-quimico-sirio-17119.asp/> Fecha de consulta 11.04.2014.

¹⁰ Se trata de la empresa SITA Ibérica (<http://www.sitaspe.es/inicio>), OPAQ, lista de empresas solicitantes para la destrucción de las armas químicas sirias. Disponible en http://www.opcw.org/fileadmin/OPCW/ADM/PSB/Tender/Tenders_from_Private_Firms_for_Destroying_Syria_Chemicals.pdf Fecha de consulta 24.02.2014

¹¹ Artículo III de la Convención para las Armas Químicas, <http://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/articles/article-iii-declarations/> Fecha de consulta 24.02.2014

¹² OPAQ “Detailed requirements for the destruction of syrian chemical weapons and syrian chemical weapons production facilities” disponible en http://www.opcw.org/index.php?eID=dam_frontend_push&docID=16875

fin de proporcionar información a las posibles empresas interesadas en la gestión de los residuos generados¹³ y finalmente los documentos publicados entre diciembre de 2013 y enero de 2014 que detallan más profundamente las sustancias químicas a tratar¹⁴) así como a los trágicos hechos acontecidos en agosto de 2013 en las afueras de Damasco.¹⁵

Teniendo en cuenta los documentos anteriores, parece que Siria posee diversas cantidades de compuestos químicos de uso común en la industria (necesarios para síntesis de armas químicas, pero también de otras muchas sustancias de uso común), iperita o gas mostaza (perteneciente a la familia de las mostazas sulfuradas¹⁶) lista para usar y diversos componentes para la síntesis de sarín y VX almacenados en forma binaria. Conviene explicar que almacenar un arma química en forma binaria es una forma de hacer mucho más sencilla y segura su manipulación. Un arma binaria consiste en almacenar dentro del vector de dispersión (por ejemplo un misil) dos compuestos que por separado no son necesariamente tóxicos ni peligrosos. Cuando el arma es disparada los dos compuestos se mezclan, reaccionando para formar el arma química durante la fase de vuelo que se dispersa al impactar contra el objetivo. También puede entenderse como arma binaria el almacenamiento de los precursores del arma química por separado que serán mezclarlos en una fase anterior al llenado de la munición, que a su vez será usada no mucho tiempo después de su llenado.

¿CÓMO SE LLEVARÁ A CABO EL PROCESO DE DESTRUCCIÓN?

Como se ha mencionado anteriormente el proceso de destrucción de todos los compuestos químicos declarados por Siria será realizado fuera de su territorio, con excepción del isopropanol, componente fundamental en la síntesis de sarín. Las armas tendrán que ser trasladadas desde Siria por vía marítima hasta las plantas de destrucción y procesado. La OPAQ ha establecido un calendario para la extracción y destrucción de las

Fecha de consulta 24.02.2014

¹³ OPAQ "Expression of Interest", disponible en

http://www.opcw.org/fileadmin/OPCW/ADM/PSB/Tender/Request_for_EOI_OPCWCDB_EOI012013.pdf Fecha de consulta 20.12.2013

¹⁴ OPAQ "Call for Proposals", disponible en <http://www.opcw.org/about-opcw/information-for-vendors/tenders/> Fecha de consulta 21.02.2014

¹⁵ Informe de la ONU sobre el ataque con sarín en las afueras de Damasco, disponible en

http://www.un.org/disarmament/content/slideshow/Secretary_General_Report_of_CW_Investigation.pdf Fecha de consulta 20.01.2014

¹⁶ Las mostazas sulfuradas son una familia de armas químicas (con estructuras moleculares similares) entre las cuales se encuentra la iperita, declarada por Siria. La iperita también es conocida como gas mostaza (aunque no es un gas sino un líquido) o HD (cuando su pureza es muy elevada, este parece ser el caso de Siria).

sustancias químicas declaradas por Siria¹⁷ (tabla 1). La situación de guerra en Siria está haciendo que los trabajos de retirada se ralenticen y es posible que en el futuro el calendario sufra modificaciones. De todos los compuestos que se destruirán, los más peligrosas serán tratadas en una primera fase en el buque norteamericano MV Cape Ray¹⁸, en algún punto de las aguas internacionales del Mediterráneo, y en una planta de Reino unido, con el fin de neutralizarlos y generar unos residuos menos peligrosos que serán tratados por plantas comerciales especializadas en diferentes países.

Materiales	Fecha límite para:	
	Retirada del territorio sirio	Destrucción
Municiones vacías		En territorio sirio 31.01.2014
Iperita y componentes binarios de otras armas químicas	31.12.2013	31.03.2014
Otros compuestos químicos	5.02.2014	30.06.2014
Contenedores vacíos donde se almacenó iperita	No se especifica	1.03.2014

Tabla 1: Calendario establecido por la OPAQ para la extracción y destrucción de las armas químicas sirias. (Ver referencia 10)

Las armas químicas sirias deberán recorrer, por tanto, un largo camino hasta su total destrucción. El camino se inicia con el transporte desde los centros de producción y almacenamiento hasta el puerto del Latakia donde serán cargados en buques que efectuarán su transporte hasta el puerto italiano de Gioia Tauro en la región de Calabria.¹⁹ Una vez allí el cargamento se transferirá a las plantas de destrucción de armas químicas incluida la instalada en el Cape Ray que navegará hasta aguas internacionales en el Mediterráneo donde procederá a neutralizar parte de los compuestos químicos. Finalmente,

¹⁷ OPAQ, "Detailed Requeriments..." op. cit. 12

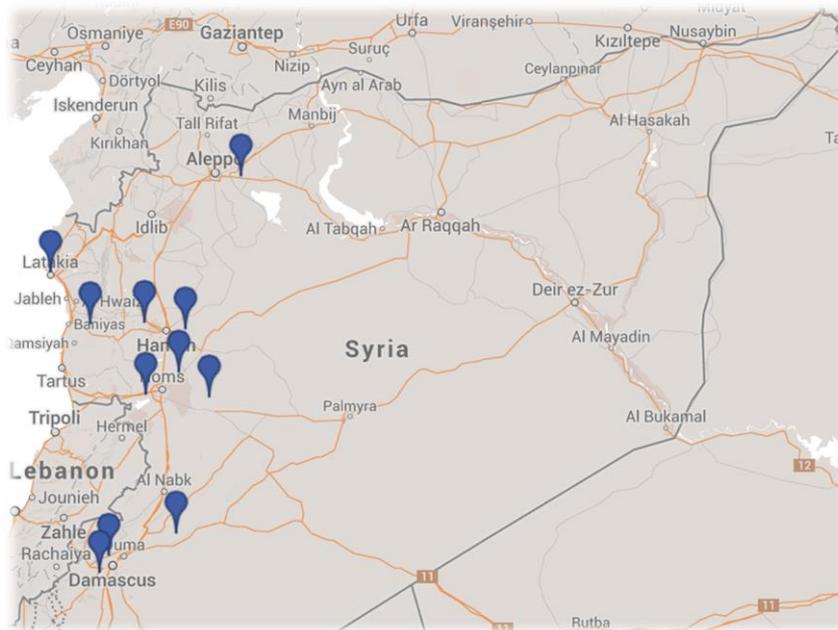
¹⁸ El MV Cape Ray es un buque dependiente de la Administración Marítima de EEUU (<http://www.marad.dot.gov>). No se trata de un buque de guerra sino de un buque de transporte de material, normalmente militar, hasta zonas en conflicto. Concretamente se trata de un carguero de carga y descarga frontal mediante rampa, similar a los buques utilizados para el transporte de coches.

¹⁹ OPAQ "Trans-loading of Syrian Chemicals to be Undertaken at Port of Gioia Tauro in Italy", Disponible en <http://www.opcw.org/news/article/trans-loading-of-syrian-chemicals-to-be-undertaken-at-port-of-gioia-tuaro-in-italy/> Fecha de consulta 17.01.2014

será este mismo buque el que distribuirá los residuos generados a bordo a las correspondientes plantas industriales para su total destrucción.

El transporte hasta Latakia:

Se trata posiblemente de la etapa más delicada y peligrosa que habrá que superar en el proceso de destrucción de las armas químicas. La guerra civil en Siria hace extremadamente complicado el transporte de las armas químicas hasta el puerto de Latakia.



Localización (aproximada, debido a que la situación exacta de las plantas es información confidencial) de sitios de producción y almacenamiento de armamento químico según la BBC (<http://www.bbc.com/news/world-middle-east-22307705> Fecha de consulta 2.02.2014)

De hecho existen informaciones que apuntan a que algunos transportes de armas químicas ya han sido atacados.²⁰ Actualmente existen numerosas facciones luchando en territorio sirio contra las fuerzas gubernamentales de Bashar al-Assad. Los territorios que controla cada uno de los bandos cambian de manos con frecuencia por lo que es complicado para el régimen garantizar la seguridad de los transportes sobre todo cuando pasan a través de zonas controladas por facciones rebeldes. Para realizar el transporte de las armas químicas de forma segura desde los centros de producción y almacenamiento hasta el puerto de Latakia, la comunidad internacional ha aportado numerosos equipos especializados para la

²⁰ Nick cumming-bruce, Rick gladstone, "Syria Reports 2 Attacks on Chemical Arms Sites", The New York Times, disponible en <http://www.nytimes.com/2014/01/09/world/middleeast/syria-chemical-arms.html> Fecha de consulta 9.01.2014.

manipulación de este tipo de compuestos de forma segura. Por ejemplo, EEUU ha facilitado equipos GPS para el seguimiento de transportes, Rusia camiones blindados y otros equipos logísticos y China equipos de vigilancia y diez ambulancias.²¹

Transporte hasta Italia:

Una vez en el puerto de Latakia los materiales están siendo cargados en buques de diversos países. Actualmente han salido del puerto de Latakia varios cargamentos con diversos compuestos químicos a bordo de barcos noruegos y daneses con destino al puerto de Gioa Tauro. Estos cargamentos suponen un 49% del material químico que debe ser retirado de Siria²². En este porcentaje, se incluye ya todo el stock sirio de iverita²³.

Los barcos de transporte están siendo escoltados por buques de otras marinas de la comunidad internacional con el fin de proporcionarles la seguridad necesaria ante algún tipo de ataque o piratería²⁴.

Neutralización en aguas internacionales y Reino Unido:

El buque norteamericano Cape Ray cargará en su interior parte de las armas químicas más peligrosas (concretamente la iverita y el DF, precursor de sarín) y navegará hasta un punto del Mediterráneo situado en aguas internacionales. La posición exacta donde se producirá la destrucción se desconoce, pero deberá ser en alguna de las regiones que aparecen en el mapa a continuación marcadas en color azul. Por otro lado, el resto de las sustancias más peligrosas (en este caso el precursor de VX denominado EMPTA) serán trasladadas hasta Ellesmere, Reino Unido. En ambos casos el proceso de neutralización de los agentes químicos más peligrosos se realizará utilizando un proceso de hidrólisis, que permitirá destruir los materiales más tóxicos generando un residuo menos nocivo, de características similares a otros tipos de residuos generados habitualmente por la industria. Para este propósito se ha equipado al buque con dos plantas portátiles autónomas de hidrólisis capaces de llevar a cabo la tarea de forma segura, esto significa que el barco cuenta con instalaciones que garantizan que ningún tipo de sustancia tóxica entrará en contacto con el medio ambiente, ya sea en forma de gas, líquido o sólido. Además ninguno de los residuos generados será vertido ni al mar ni a la atmósfera, por el contrario serán

²¹ OPAQ, "Executive Council Receives Destruction Plan for Syrian Chemicals", disponible en <http://www.opcw.org/news/articles/executive-council-receives-destruction-plan-for-syrian-chemicals/> Fecha de consulta 21.12.2013

²² OPAQ, "More Movement ..." op. cit. 7

²³ ibid.

²⁴ Por ejemplo, OPCW, "OPCW-UN Joint Mission: Removal and Elimination of Chemical Weapons Material", disponible en <http://opcw.org/news/article/opcw-un-joint-mission-statement-removal-and-elimination-of-chemical-weapons-material/> Fecha de consulta 12.02.2014

Rafael Juárez Martín

empaquetados en contenedores seguros (estandarizados por la normativa internacional ISO)²⁵ para su transporte a tierra y su posterior destrucción en plantas especializadas.



Mapa del mar Mediterráneo, en azul las zonas consideradas como aguas internacionales (aproximadamente). Elaboración propia con datos del informe “Aguas Jurisdiccionales en el Mediterráneo y el Mar Negro” del 2010 (Dirección General de Políticas Interiores del Parlamento Europeo, <http://www.europarl.europa.eu/studies>)

Transporte de residuos a los países asignados:

Cuando todas las sustancias extraídas de Siria se encuentren en Italia se procederá a su distribución para su completa destrucción. Las sustancias menos tóxicas serán llevadas, en varios cargamentos, a las respectivas plantas de tratamiento. Por su parte, el Cape Ray, hará lo mismo una vez que haya finalizado el proceso de hidrólisis. Actualmente la OPAQ ha asignado a una empresa estadounidense (Veolia Environmental Services Technical Solutions), a una finlandesa (Ekokem OY AB) y a una alemana (la OPAQ no ha hecho público el nombre)^{26,27} la destrucción de parte de las sustancias declaradas por Siria (ver tabla 2).

²⁵ OPAQ, listado de contenedores que serán transportados, disponible en http://www.opcw.org/index.php?eID=dam_frontend_push&docID=17052 Fecha de consulta 24.02.2014

²⁶ OPAQ, “OPCW Awards Contracts to Two Companies for Destruction of Syrian Chemicals and Effluents” Disponible en <http://www.opcw.org/news/article/opcw-awards-contracts-to-two-companies-for-destruction-of-syrian-chemicals-and-effluents/> Fecha de consulta 14.02.2014

²⁷ OPAQ “Germany to Destroy Effluent from Syrian Chemicals”, disponible en <http://opcw.org/news/article/germany-to-destroy-effluent-from-syrian-chemicals/> Fecha de consulta 15.01.2014

EL PROCESO DE DESTRUCCIÓN:

Como se ha mencionado anteriormente en el texto, el proceso de neutralización se realizará mediante el sistema de hidrólisis. La etimología de la palabra hidrólisis nos indica que se trata de un proceso de ruptura de enlaces químicos (*lisis*) mediante la actuación de agua (*hidro*), aunque es habitual en las operaciones químicas de este tipo usar otros compuestos añadidos que mejoran el rendimiento de la reacción.



Foto de una planta de hidrólisis portátil similar a las que se han instalado en el barco MV Cape Ray. Tomada de la referencia 28.

El buque estadounidense Cape Ray con sus dos plantas de hidrólisis portátiles será capaz de procesar gran parte del armamento químico proveniente de Siria. Los equipos de hidrólisis han sido utilizados por los EEUU durante muchos años para destruir parte de su propio arsenal químico desde que accedió a la OPAQ y por lo tanto tienen gran experiencia en su uso.²⁸ Este tipo de equipos están diseñados para asegurar un 99.9% de destrucción de las armas químicas²⁹ y para que ningún residuo generado en el proceso de hidrólisis (ya sea sólido, líquido o gas) sea vertido (a la atmósfera, al mar, ríos o tierra) sin tratamiento previo. En el caso de los líquidos y sólidos generados, la planta es capaz de almacenarlos en contenedores seguros para su tratamiento en plantas especializadas mientras que los gases generados se depurarán pasando por diferentes filtros capaces de destruir tanto las cantidades de armas químicas que se hayan podido evaporar así como otros gases

²⁸ US. Army Chemical Materials Agency (<http://www.cma.army.mil>)

²⁹ Ficha técnica disponible en <http://usarmy.vo.llnwd.net/e2/c/downloads/326585.pdf> y http://dtirp.dtra.mil/PDFS/cbw_news_FDHS_130923.pdf Fecha de consulta 15.02.2014

potencialmente peligrosos. Posteriormente estos filtros se empaquetan, al igual que los líquidos y sólidos, para un posterior tratamiento, de nuevo, en plantas especializadas en la gestión de residuos.

Sustancias químicas a destruir sin hidrólisis previa			
Sustancias Orgánicas	Cantidad (toneladas métricas)	Sustancias Inorgánicas	Cantidad (toneladas métricas)
Trietilamina	30	Fluoruro de hidrógeno	60
Trimetilfosfito	60	Pentasulfuro de fósforo	11
Dimetilfosfito	6	Tricloruro de fósforo	16
Monoisopropilamina	36	Oxicloruro de fósforo	14
Diisopropilaminoetanol	8	Cloruro de hidrógeno	45
2-cloroetanol	4		
1-butanol	4		
Metanol	3		
Hexamina	80		
O-etil metilfosfonotionato de sodio, disolución acuosa 30-42%	130		
Sustancias químicas a destruir con hidrólisis previa			
Sustancia	Residuos (en litros, aprox.)	Cantidad de sustancia pura (toneladas métricas, aprox.) ³⁰	
Iperita (HD)	300.000 – 370.000	22-28	
Difluoruro de metilfosfonilo (DF)	4.500.000	457.6	
Metilfosfotioato de O-etilo (EMPTA)	1.200.000	157	

Tabla 2: Inventario de sustancias químicas a destruir declaradas por Siria. Azul: Ekokem OY AB (Finlandia). Verde: Veolia Environmental Services Technical Solutions, LLC (USA). Amarillo: Empresa alemana.

³⁰ Estimaciones del autor basadas en cálculos químicos teniendo en cuenta los datos publicados por la OPAQ en las referencias 12, 33, 34 y 35. Se ha tenido en cuenta el volumen de agua generado en el proceso de hidrólisis y se ha supuesto que los volúmenes de dos o más líquidos son aditivos.

De todos los compuestos químicos que serán destruidos no todos pasarán por el proceso de hidrólisis ya que algunos de ellos son productos químicos habituales en la industria, así como en laboratorios de investigación de cualquier tipo, que pueden ser tratados sin ningún proceso intermedio (tabla 2). De hecho algunos de los productos que serán destruidos podrían ser reutilizados en laboratorios de investigación o industrias pero las normas de la OPAQ establecen que aún así deben ser destruidos por provenir de procesos de síntesis de armas químicas.³¹ Según lo publicado por la OPAQ las sustancias que serán hidrolizadas serán el bis(2-cloroetil)tióeter (iperita o HD), difluoruro de metilfosfonilo (también conocido como DF, precursor de sarín) y metilfosfotioato de O-etilo (denominado EMPTA, precursor de VX). Los compuestos que serán hidrolizados a bordo del MV Cape Ray serán la iperita y el DF, mientras que el EMPTA será hidrolizado por la empresa Veolia Environmental Services Technical Solutions en sus instalaciones del puerto de Ellesmere en Reino Unido.³²

Hidrólisis de la iperita, HD:³³

Para el proceso de neutralización de este compuesto se realizará una reacción de hidrólisis clásica, es decir, se mezclará iperita con agua caliente (a unos 70-90 °C) en una proporción 1:13.5 (Iperita:Agua) y la mezcla se agitará hasta que la mostaza se haya hidrolizado completamente. Los productos de la reacción son tiodiglicol y ácido clorhídrico que hace que la disolución resultante sea ácida. Para evitar tener que manipular posteriormente un residuo ácido se tratará finalmente la mezcla con hidróxido de sodio (conocido como sosa ó sosa cáustica) hasta alcanzar pH neutro.

Una vez realizados estos dos procesos el residuo generado contendrá tiodiglicol (menos tóxico que la iperita) y cloruro sódico (sal común o sal de mesa) ambos muy diluidos, en los aproximadamente 300.000 ó 370.000 litros que se esperan obtener como volumen final del proceso, convirtiéndolo en un material que manipulado apropiadamente no es más peligroso que otros residuos industriales o de investigación.

³¹ Artículo IV de la Convención para las Armas Químicas, <http://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/articles/article-iv-chemical-weapons/> Fecha de consulta 24.02.2014

³² Departamento de Defensa de Estados Unidos, disponible en http://www.defense.gov/home/features/2014/0114_caperay/Neutralization_Operations_Overview_Info_Paper_20140313.pdf Fecha de consulta 31.03.2014.

³³ OPAQ, caracterización del residuo de HD, disponible en http://www.opcw.org/index.php?eID=dam_frontend_push&docID=16975 fecha de consulta 24.02.2014

Hidrólisis del difluoruro de metilfosfonilo, DF:³⁴

Para la neutralización de este compuesto se procederá a hidrolizarlo siguiendo un proceso análogo al de la mostaza. Se mezclará y agitará el DF con agua en una proporción 1:5 (DF:Agua) de nuevo hasta la completa hidrólisis del DF. Los residuos que se generarán serán el ácido metil fosfónico y el ácido fluorhídrico. Como en el caso de la mostaza este residuo es ácido y en un segundo paso será neutralizado con sosa hasta pH neutro.

El residuo final se compondrá de unos 4.500.000 litros de agua que contendrán metil fosfonato de sodio (compuesto menos tóxico que el DF) y fluoruro de sodio (una sal habitual en cualquier laboratorio de investigación) muy diluidos.

Hidrólisis del metilfosfotioato de O-etilo, EMPTA:³⁵

A diferencia de los casos anteriores para la hidrólisis de este compuesto se llevará a cabo una reacción con una disolución acuosa de hipoclorito de sodio al 12% (componente activo de la lejía) con una proporción 1:8 (EMPTA:Hipoclorito de sodio acuoso). El residuo de esta reacción es algo más complejo que las anteriores y se esperan obtener unos 1.200.000 litros de agua que contendrán diferentes cantidades muy diluidas de ácido metil fosfónico (menos tóxico que el EMPTA), ácido O-Etil metil fosfónico (menos tóxico que el EMPTA), ácido acético (compuesto que da el sabor ácido al vinagre), 2-cloroetanol (reactivo habitual en laboratorios de investigación científica), azufre y restos de hipoclorito sódico. En cualquier caso la toxicidad del residuo generado es menor que la del EMPTA.

EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN PLANTAS ESPECIALIZADAS

Aunque los residuos generados por la hidrólisis son menos tóxicos que sus compuestos sin hidrolizar, y por tanto menos perjudiciales para la salud y el medio ambiente, es cierto que no dejan de ser residuos tóxicos que deben ser tratados apropiadamente para neutralizarlos completamente. Como se ha mencionado

³⁴ OPAQ, caracterización del residuo de DF, disponible en http://www.opcw.org/index.php?eID=dam_frontend_push&docID=16983 Fecha de consulta 24.02.2014

³⁵ OPAQ, caracterización del residuo de EMPTA, disponible en http://www.opcw.org/index.php?eID=dam_frontend_push&docID=16974 Fecha de consulta 24.02.2014

anteriormente, la OPAQ ha asignado a una empresa estadounidense, a una finlandesa y a una alemana la gestión de las sustancias químicas necesarias en al proceso de síntesis de armamento químico. Independientemente de a quien corresponda el tratamiento de todos los compuestos químicos extraídos de Siria y los residuos generados por la hidrólisis las empresas asignadas deberán tratar los productos asegurando una destrucción de, al menos, el 99.99% de las sustancias orgánicas así como que las sustancias inorgánicas en disolución tengan un pH neutro.³⁶

En el caso de la materia orgánica el procedimiento más probable de tratamiento será la incineración a muy altas temperaturas. La materia orgánica a tratar, ya sea pura o disuelta en agua (como es el caso de los productos de hidrólisis), está compuesta fundamentalmente de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O), fósforo (P), azufre (S) y en menor medida, de cloro (Cl). Los productos de incineración (reacción con oxígeno) principales que se producirán en las plantas de tratamiento serán dióxido de carbono (CO₂, gas), agua (H₂O, gas), óxidos de nitrógeno (NO_x, gas), pentóxido de fósforo (P₂O₅, sólido), óxidos de azufre (SO₂ ó SO₃, gases) y cloro (Cl₂ o HCl, gases).

Estos gases no serán expulsados directamente a la atmósfera sino que recibirán un tratamiento previo que transformará los más tóxicos en productos menos peligrosos para la salud y el medio ambiente. Los gases más peligrosos a ser tratados serán los óxidos de azufre y los derivados de cloro que por tratamiento en medio básico (por ejemplo haciendo pasar el gas a través de una disolución acuosa de hidróxido sódico) formarán compuestos mucho menos tóxicos como por ejemplo sulfato de sodio y cloruro de sodio.

La incineración no es el único procedimiento que podría utilizarse ya que existen otras tecnologías capaces de degradar esos residuos. Una de ellas es la biodegradación, donde bacterias, hongos u otro tipo de forma de vida sencilla es capaz de introducir la materia orgánica en su metabolismo consiguiendo descomponerla en sustancias más sencillas y poco nocivas para la salud y el medio ambiente. Otra posibilidad sería la oxidación (al igual que la incineración) de la materia orgánica mediante agua en fase supercrítica.³⁷ En este proceso la disolución acuosa con la materia a tratar se hace reaccionar con oxígeno formándose como productos gases como oxígeno, dióxido de carbono, óxidos de azufre... que serían tratados convenientemente antes de ser expulsados a la atmósfera. De todos los procedimientos posibles serán las empresas las que elijan cual es el más correcto para destruir los residuos dependiendo de la composición del material a tratar.

³⁶ OPAQ "Call for Proposals" op. cit. 14

³⁷ Pearson, op. cit.

Por su parte la materia inorgánica al ser tratada hasta que alcance pH igual a siete formará diversas sales comunes (cloruro de sodio, fluoruro de sodio, óxidos de fósforo, sales de azufre...) que son sustancias con un bajo peligro para la salud y el medio ambiente siempre y cuando se almacenen de forma correcta.

CONCLUSIONES:

El proceso de destrucción de armas químicas de Siria supone un reto para la comunidad internacional. Aunque de forma lenta, las armas químicas van saliendo de Siria para ser destruidas fuera de su territorio. El tratamiento y destrucción de éstas se realizará mediante técnicas modernas que aseguran que el peligro para la salud de las personas y el medio ambiente sea bajo y controlado. A diferencia de prácticas como arrojar las armas químicas al mar que se produjeron tras la II Guerra Mundial las nuevas técnicas de tratamiento permiten que las armas químicas o los residuos generados ya sean gases, líquidos o sólidos, sean tratados de tal forma que no se produzcan emisiones descontroladas de ningún compuesto tóxico ya sea a la atmósfera, al agua o a la tierra. Por tanto nos encontramos en una situación donde la destrucción de las armas químicas, si todo se desarrolla según lo previsto, no supondrán un mayor riesgo para la salud y el medio ambiente del entorno del Mediterráneo.

i
*Rafael Juárez Martín**
Doctor en Química, URJC

*NOTA: Las ideas contenidas en los *Documentos de Opinión* son de responsabilidad de sus autores, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.