

Cien años de armas químicas

Manuela Martín, Gabriel Pinto, José María Hernández, María Teresa Martín

Resumen: Teniendo en cuenta que el año 2015 se conmemora el centenario de la utilización de las armas químicas nos ha parecido interesante que en *Anales de Química* apareciera un resumen de lo que han supuesto estos cien años de empleo de dichas armas. Explicamos cómo se fueron utilizando los distintos gases en la Primera Guerra Mundial y cómo durante el espacio entre las dos guerras mundiales se descubrieron gases más mortíferos que se han seguido utilizando hasta nuestros días. En 1997 se constituyó la OPCW, "Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons", que ha permitido llegar a acuerdos de la destrucción de las armas químicas almacenadas por distintos países. Dichos acuerdos, sin respetar la fecha límite de 2012, se están cumpliendo en un alto porcentaje. No obstante, la destrucción en la mayoría de los casos no es fácil, pues se debe evitar la formación de residuos también tóxicos.

Palabras clave: Gases de Guerra, Historia de la Química, Enseñanza de la Química, Insecticidas organofosforados, Desastres con productos químicos, OPCW.

Abstract: Taking into account the fact that the year 2015 marks the anniversary of the use of chemical weapons, we have considered interesting that *Anales de Química* would include a summary addressing the implications of the use of this type of chemical weapons throughout these hundred years. We explain how the various gases were used in the First World War, and how other more lethal gases were discovered, over the space of time between the two World Wars, which have continued being used up to today. We point out how the "Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons", OPCW, was established in 1997 and how it has allowed to reach agreements for destruction of chemical weapons stored by different countries. Such agreements, without respecting the deadline of 2012, are being achieved in a high percentage. However, the destruction in most cases is not easy, therefore should also prevent the formation of toxic waste.

Keywords: Gases for War, History of Chemistry, Chemical Education, Organophosphate insecticides, Disasters by chemicals, OPCW.

INTRODUCCIÓN

En el año 2015 se ha cumplido el centenario de la utilización de las armas químicas a gran escala. Fue en 1915, durante la segunda batalla de Ypres (Bélgica) en la Primera Guerra Mundial, cuando se usó cloro en un enfrentamiento entre fuerzas del Imperio Alemán contra tropas francesas coloniales e inglesas.

Las armas químicas han producido en estos cien años millares de muertos y heridos.

Revisando en la bibliografía el alcance que ha tenido la conmemoración del centenario hemos encontrado un amplio reportaje en el número de *Chemical and Engineering News* del 23 de febrero de 2015^[1] y dos vídeos: uno de la

American Chemical Society, de la serie Historia^[2] y otro de *Periodic Videos* del famoso Sir Martyn Poliakoff.^[3] También cabe destacar la conmemoración en Argentina de un acto (22 de abril de 2015) y de varios talleres titulados "Química para la paz" en distintos centros.^[4] En internet aparece un documento titulado *Haber Teacher's resources* dirigido a estudiantes de los grados 9-12 y publicado como complemento a los vídeos de Chrétien Schouteten.^[5]

Nuestro trabajo es un resumen de los hechos más significativos de estos cien años.

LAS ARMAS QUÍMICAS EN LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL (1914-1918)

Alemania en 1914, según A. Gibson,^[6] estaba planteándose si era lógico que siguiera en la contienda, porque los británicos le habían cortado la posibilidad de importar nitratos desde Chile para obtener explosivos, sus reservas eran limitadas, aunque la situación era ligeramente mejor gracias a que pocos años antes, Fritz Haber (1868-1934) (véase Figura 1), que sería Premio Nobel de Química en 1918, había conseguido fijar el nitrógeno de la atmósfera para obtener nitratos. El propio Haber, en una conferencia que impartió a oficiales en 1920 y que recogió traducida al inglés, unos años después, el *Journal of Chemical Education*, hace todo un alegato de cómo era la situación sobre las reservas de nitratos, por lo que era necesario buscar otra solución para tener una superioridad en las batallas.^[7]

En 1915 los alemanes, ante la falta de reservas de productos básicos como los nitratos, pensaron que los químicos podían ser la solución y recurrieron a Haber, que les recomendó utilizar bromo-m-xileno, en enero de 1915, cerca de



M. Martín¹

G. Pinto^{1,2}

J. M. Hernández^{1,3}

M. T. Martín¹

¹ Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, Reales Sociedades Españolas de Química y de Física, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.

² E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, 28006 Madrid.

³ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca. C-e: : mmartins@edu.ucm.es

Recibido: 10/09/2015. Aceptado: 10/12/2015.



Figura 1. Fritz Haber

Bolimów (Polonia) que no tuvo éxito porque, en esa fecha y en esa zona, las temperaturas eran muy bajas y no llegó a evaporarse. La siguiente recomendación fue utilizar cloro. Así se procedió a las cuatro de la tarde el 22 de abril de 1915, en Ypres. De esta forma murieron miles de soldados de distintas nacionalidades (véase Figura 2). No tuvieron en cuenta que habían firmado la Convención de la Haya el 4 de septiembre de 1889^[8] en la que se comprometían a no utilizar este tipo de recursos porque eran inhumanos y contrarios a las leyes de la civilización y lo único que hicieron como prohibía el uso de proyectiles de gas fue utilizar bombonas de gas.

Aunque la utilización supuso una victoria de los alemanes, como los militares no creían que aquello llegara a ser efectivo, no habían movilizad tropas suficientes para mantener la supremacía y cuando quisieron reaccionar el enemigo ya se había provisto de este tipo de armas y habían recuperado su posición.

A partir de ese momento, Haber se implicó en todo lo referente a la guerra química y también participó en el desarrollo de las máscaras antigás con filtros apropiados. Reclutó a otros físicos y químicos, que pertenecieron a las llamadas “Tropas de gas” entre 1914 y 1915, como James Franck (1882-1964) y Gustav Hertz (1887-1975), galardonados con el Nobel de Física en 1925; y Otto Hahn (1907-1968), que sería Premio Nobel de Química en 1944.

F. Haber estaba orgulloso de su colaboración en la guerra aunque le trajo muchos problemas familiares. Entre otros, el suicidio de su mujer (Clara Immerwahr) cuando se dio cuenta de la horrible tragedia que estaba suponiendo la guerra. Él mismo, de ascendencia judía (aunque estaba exento de las leyes antisemitas por haber colaborado en la Primera Guerra Mundial), abandonó Alemania, cuando Hitler llegó al poder, y falleció en Suiza. Por otra parte, Hitler, que se había opuesto a la utilización de los gases de guerra en la Segunda Guerra Mundial porque los había sufrido en



Figura 2. La segunda batalla de Ypres pintada por Richard Jacks y vista actual del cementerio donde yacen muchos de los soldados caídos allí

sus propias carnes en la Primera, no tuvo ningún problema en utilizarlos en los campos de concentración.

F. Haber en una discusión con Victor Grignard sobre la paz y la guerra, le dijo: “Durante la paz un científico pertenece al mundo pero durante la guerra pertenece a su país”.

Después de Ypres los ingleses no tardaron en provisionarse de este tipo de armas y el 25 de septiembre las utilizaron en Loos (Artois, norte de Francia) aunque parece que con dudoso éxito.

En 1916 la armada británica abrió en Porton Down una estación experimental para estudiar y buscar armas químicas, fundamentalmente cloro, fosgeno (dicloruro de carbonilo) y gas mostaza [bis (2-cloroetil) sulfano]. Allí también se fabricó un casco antigás.

La utilización de gases como el fosgeno supuso una nueva complicación porque sus efectos no se notaban de forma inmediata y tenían que pasar varias horas desde que se sufría el ataque, lo que hacía que fuera después muy difícil localizar dónde estaba situado el foco.

Francia e Inglaterra buscaron nuevos gases que impidieran la absorción de oxígeno en la sangre que no tuvieron demasiado efecto en la batalla.

El gas mostaza, mucho más devastador, fue obtenido en 1822 por César-Mansuète Despretz (1798-1863), y utilizado por los alemanes el 12 y 13 de julio de 1917 en Ypres, que produjo muchas bajas en las tropas británicas. Aunque no es correcto llamarlo gas, pues se trata de un líquido que en contacto con la piel produce ampollas, des-

pués de un período de latencia de 24 horas o más, que aparecen, sobre todo, en las zonas donde se acumula el sudor: pliegues de la piel, axilas, genitales, etc. Es muy destructivo, ataca todo el organismo y no existe un antídoto. Como el período de latencia es muy grande, pasa mucho tiempo hasta que la persona atacada es consciente de ello para poner remedio.

Las tropas de Estados Unidos tardaron en producir armas químicas y las utilizaron por primera vez, en apoyo de la Armada Británica, el 13 de octubre de 1918. Uno de los heridos en esa batalla fue Hitler que como ya hemos indicado durante toda su vida odió el uso de las armas químicas en el campo de batalla.

LAS ARMAS QUÍMICAS A PARTIR DE 1919

Varios tratados se firmaron después de la Primera Guerra Mundial para impedir el desarrollo y uso de armas químicas: en 1919 en Versalles, en 1921 y 1922 en Washington, en 1925 en Ginebra, etc. Sin embargo, sobre todo los alemanes siguieron trabajando en la busca de nuevos productos.

Entre 1919 y 1923 Haber continuó trabajando en el desarrollo de armas químicas (véase Figura 3) junto con el químico alemán Hugo Gustav Adolf Stoltzenberg (1883-1974). Este último firmó un convenio con el Gobierno de España para montar una planta de armas químicas en La Marañosa (localidad próxima a Madrid, junto al Jarama) con la participación de Alemania y la Unión Soviética que, entre otros, incluía fosgeno y gas mostaza. Estos gases se utilizaron entre 1923 y 1927 en Marruecos, en la Guerra del Rif, también llamada la Segunda Guerra de Marruecos o, simplemente, la Guerra de África. Stoltzenberg se hizo ciudadano español y pasó a ser el ingeniero jefe de la planta.

A este tipo de gases se conocen como armas de destrucción masiva, normalmente denotados por las siglas WMD (*Weapons of Mass Destruction*), nombre propuesto por Cosmo Gordon Lang, Arzobispo de Canterbury, en un artículo que apareció en la revista *Times* el 28 de diciembre de 1937.^[9]



Figura 3. Haber junto a las bombonas con los gases

Entre los años 1920 y 1930 el desarrollo de nuevos productos químicos altamente tóxicos como insecticidas supuso una nueva fuente de armas de guerra de todo tipo. A esto contribuyó de una manera importante Gerhard Schrader (1903-1990), químico alemán, que tenía la esperanza de luchar con el hambre en el mundo mediante el descubrimiento de nuevos insecticidas más "tóxicos" y de forma completamente accidental descubrió agentes nerviosos como el sarín y tabún (Agente GA) que son derivados organofosforados mucho más potentes. De esta forma obtuvo en la ciudad de Leverkusen (Alemania) lo que se llamó Le-100 que era tan tóxico que no se podía utilizar como insecticida. Él mismo se intoxicó con estos compuestos y siguiendo una orden que tenía del Gobierno lo pasó al Departamento de Guerra, donde comprobaron que era adecuado como gas de guerra, lo denominaron tabún (etil N,N- dimetilfosforamidocianato), y comenzaron su producción a nivel industrial.

Schrader volvió a Leverkusen y buscó nuevos productos utilizando flúor, llegando al conocido sarín (agente GB) $[(CH_3)_2CHO] CH_2P(O)F$. Nombre que procede de los científicos más relacionados en la obtención: Schrader, Ambros, Rüdiger y van der Linde.

Richard Kuhn (químico austriaco, 1900-1967, Premio Nobel de Química 1938), también de forma completamente inesperada y lo que como en el caso anterior conoceríamos como serendipia, descubrió en 1944 el somán o agente GD (metilfosfonofluoridato de o- pinacolilo), mientras trabajaba para el ejército alemán sobre la farmacología del tabún y del sarín (véase Figura 4).^[11-12]

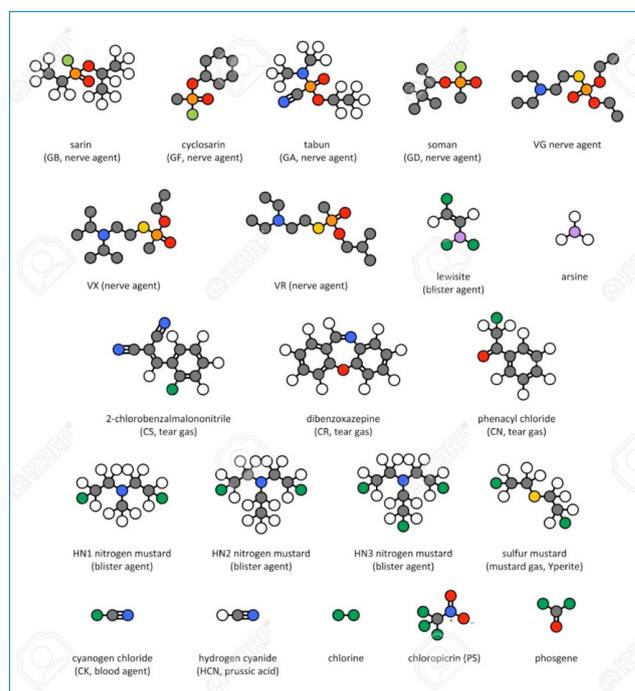


Figura 4. Estructuras de algunas sustancias empleadas como armas químicas. <http://es.123rf.com/clipart-vectorizado/cloro.html?mediapopup=19374801> http://es.123rf.com/profile_molekuul

En Alemania se siguió trabajando en este tipo de sustancias durante la Segunda Guerra Mundial para intentar mantener la supremacía sobre los aliados. Aunque estos también buscaron nuevos gases nunca llegaron a la potencia del sarín y el tabún hasta que en 1944 los británicos localizaron en los terrenos conquistados almacenes con municiones fabricadas en Alemania.

De hecho, la utilización de estos gases en la Segunda Guerra en el campo de batalla se produjo solo en casos puntuales y casi siempre fuera de Europa, como la utilización del gas mostaza en 1937 por los japoneses en la invasión de Manchuria. El único caso de utilización en Europa fue en 1942 en Alemania, que reconoció que en 1939 había lanzado algunas bombas de gas mostaza sobre Varsovia por error.

Los nazis utilizaron este tipo de armas para matar a los judíos en los campos de concentración. Especialmente el zyklon-B derivado de cianuro que se utilizó en Auschwitz, en verano de 1941 contra miembros de la familia de Haber.

Cuando los rusos ocuparon Alemania Oriental se encontraron enormes almacenes de armas químicas así como dos plantas dedicadas a la producción de tabún que desmontaron y se llevaron a Rusia. Estados Unidos y Gran Bretaña ocuparon las fábricas de sarín descubiertas en Leipzig y Hamburgo.

En 1949 Estados Unidos y Gran Bretaña obtuvieron el ciclosarín o agente GF (metilfosfonofluoridato de ciclohexilo) que es posible que lo descubrieran los alemanes durante la Segunda Guerra y que no siguieron fabricando porque resultaba muy caro.

A partir de 1950 se descubrieron toda la serie de compuestos que se conoce como agentes V (veneno) por su toxicidad, de las cuales el más estudiado es el VX (o- etildiisopropilaminoetilmetilfosfonotioato).

Varias compañías y científicos ingleses buscando insecticidas descubrieron al principio de los años cincuenta ésteres de 2- aminoetanotioles, organofosforados similares a los anteriores que aunque se llegaron a usar como insecticidas cuando se comprobó su alta toxicidad se pasaron al departamento militar de Porton Down que los incluyó entre los gases de guerra. Entre estos está el que se conoce como amitón.

A pesar de que con frecuencia se han firmado acuerdos de no utilización, por desgracia, este tipo de armas se han seguido utilizando. Como ejemplos podríamos citar la utilización en Egipto en su guerra contra el Yemen, en 1980 y aún mucho más reciente en la Guerra de Iraq (algunas bombas lanzadas por este país contenían gas mostaza y tabún). En agosto de 2013 en Siria se utilizó sarín.^[9-14]

En las tablas que incluimos en la Figura 5, tomadas de la referencia^[15] se recoge un resumen de la composición, los efectos y la utilización de armas químicas.

Robert Jonhston también ha resumido en una tabla la utilización de las armas químicas y biológicas, fechas, lugares, etc.^[16]

S. Jiménez^[17] en su trabajo hace una interesante clasificación de los agresivos químicos utilizados en terrorismo como fumígenos, incapacitantes, vesicantes, lacrimógenos, estornudógenos y eméticos, y afirma que “organismos internacionales cualificados estiman que, en la actualidad, se comercializan muchísimas especies químicas distintas, de

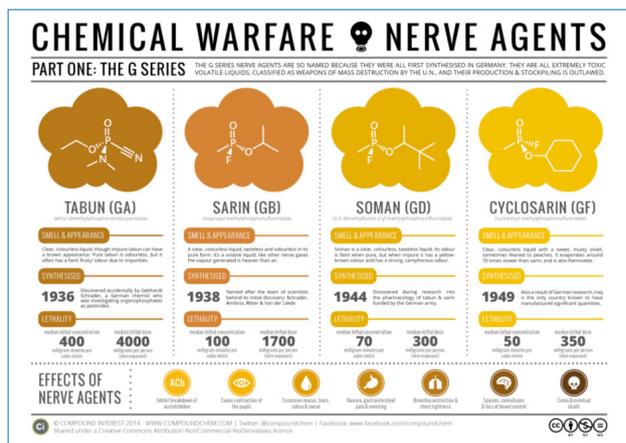
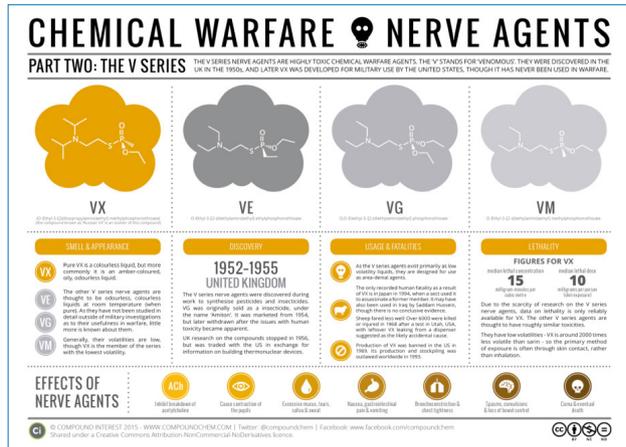


Figura 5. Tablas donde se resumen datos químicos e históricos de algunas de las armas químicas más relevantes ^[15] <http://www.compoundchem.com/content-usage-guidelines/> Copyright 2015 Andy Brunning/Compound Interest

las cuales un considerable número se producen en cantidades superiores a una tonelada”.

Evidentemente se trata de una situación preocupante a la que habrá que buscar una solución por la utilización que se puede hacer de ellos en casos de conflictos.

Según Villalonga^[10] los más peligrosos serían los neurotóxicos: tabún, sarín, somán, GF y VX, porque son los más dañinos para el hombre y los que tienen mayores efectos psicológicos. Además tienen otro inconveniente que es más fácil disponer de ellos.

DESTRUCCIÓN DE LAS ARMAS QUÍMICAS

Como ya hemos indicado, a lo largo de la historia y, sobre todo después de las guerras mundiales, se han realizado distintas reuniones con objeto de llegar a un acuerdo de la prohibición del uso de estas armas, creándose organismos que han ido cambiando de nombre y aumentando el número de sus miembros.^[18] En la reunión de 1980 se decidió que la presidencia fuera rotatoria y se llamó Conferencia para el Desarme. En 1992, en el seno de esa conferencia, comenzó a funcionar un comité dedicado a las armas químicas. El 13 de enero de 1993 se firmó en París la Convención, firmando ciento treinta países durante los dos primeros días, poste-

riormente se depositó en la ONU en Nueva York. La primera sesión tuvo lugar en la Haya del 8 al 12 de febrero de 1993. El 29 de abril de 1997, entró en vigencia como OPCW y ciento ochenta días más tarde se estableció la CWC (*Chemical Weapons Convention*) ratificada por sesenta y cinco países.

La CWC es un tratado multilateral que prohíbe las armas químicas y exige su destrucción en un plazo determinado de tiempo. Se decidió que la destrucción de este tipo de armas, que muchos países tenían almacenadas, la mayoría desde el Segunda Guerra Mundial, debía de ser efectiva para 2007 y se acordó que cada cinco años se haría una reunión para vigilar el cumplimiento de estos acuerdos. Posteriormente y dadas las dificultades se prorrogó la fecha límite hasta el 29 de abril de 2012.

Para destruirlas se prohibía quemarlas o lanzarlas al mar. Estados Unidos, Rusia, Libia e Iraq eran incapaces de cumplir este acuerdo por razones de tipo técnico, financiero y político. Estados Unidos declaró 311.000 toneladas y en 2012 ya había destruido el 90%. Rusia declaró 40.000 toneladas y en 2012 había destruido el 60% y se comprometía a terminar en diciembre de 2015.

La destrucción se debe hacer en espacios habilitados con construcciones y contenedores especiales para poderla llevar a cabo: eso ha hecho que en países con posibilidades económicas como Estados Unidos hayan centrado la destrucción en dos lugares concretos Blue Grass (Kentucky) y Pueblo (Colorado). Todas las armas químicas que tenían las han desplazado a uno de esos dos puntos.

También se ha utilizado con este fin un navío colocado en aguas internacionales conocido con el nombre de “Cape Ray” (Figura 6) y posteriormente los efluentes se han destruido en plantas de descontaminación situadas en Alemania, Finlandia y USA.

Rusia ha habilitado espacios en Chapayevsk (región de Samara), Gorny (región de Saratov), Kambarka (Udmurtia), Arys (Kazajstán) y Leonidvka (Penza).

Un nuevo problema surgió cuando en Siria, el 21 de agosto de 2013, se utilizaron armas químicas muriendo más de mil quinientas personas, la mayoría civiles y muchos de ellos niños. La OPCW consiguió con gran esfuerzo y después de múltiples reuniones que Siria se adhiriera a la CWC. La situación de esta nación por seguridad no permitía la destrucción en su territorio y por otra parte no podía pagar los gastos. El acuerdo internacional fue que se realizaría antes del 30 de junio de 2014, en los espacios adecuados de Estados Unidos, Finlandia y Reino Unido, lo que suponía que primero las tenían que llevar al puerto sirio de Lakatia y después debían viajar a lo largo de todo el mar Mediterráneo. Estados Unidos afirmó, en agosto de 2014, que había terminado la destrucción del DF (difloruro del ácido metilfosfónico) procedente de Siria en el buque Cape Ray y los residuos se enviarían a Finlandia y Alemania para que completaran la destrucción^[21] (Figura 6).

Una gran complicación se añade para destruirlas cuando las armas químicas están almacenadas junto con otro tipo de armamento explosivo, en estos casos es necesario el auxilio de “robots” o brazos mecanizados para desactivar los detonadores y retirar los explosivos.

El gas mostaza se puede destruir por hidrólisis y después neutralizar el ácido clorhídrico resultante con una



Figura 6. Navío Cape Ray para la destrucción de armas químicas. https://images.vessel-tracker.com/images/foto_popup.html?ship_photo_id=Cape-Ray-1292359

disolución de hidróxido sódico caliente. El residuo es tioglicol o sulfuro de bis (2-hidroxietil) 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.

En el Reino Unido se comenzó oxidando con Ag^{2+} , que se obtenía por electrólisis del nitrato de plata en medio de ácido nítrico. El catión Ag^{2+} es un potente oxidante que puede destruir toda la materia orgánica. Es una técnica eficaz pero muy compleja y cara. Se optó por introducir los compuestos en bidones de acero y sumergirlo en ácido nítrico concentrado con lo que se destruiría todo incluido el bidón. Este método también fue necesario abandonarlo porque a veces se producían explosiones y además era necesario reciclar el ácido.

De todas formas, el Reino Unido había destruido la mayor parte de las armas químicas cuando terminó la Segunda Guerra Mundial echándolas al mar, en aquel momento no estaba prohibido, y algunas las enterraron. Con estas han hecho análisis mediante rayos X o con neutrones para comprobar su composición y así poder proceder a la destrucción. El cianuro de bromobencilo lo han destruido por incineración en cámaras especiales y el fosgeno por hidrólisis.

Para efectuar la hidrólisis del VX y del sarín, 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 ($T > 374\text{ }^\circ\text{C}$ y $p > 221\text{ atm}$) mezclada con aire para oxidar por completo compuestos orgánicos a moléculas simples de agua, dióxido de carbono y nitrógeno.

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.^[19]

Las armas más complicadas de destruir son las que tiene arsénico porque es necesario convertirlo en un compuesto



Figura 7. Un equipo de la ONU recoge muestras en el terreno de un supuesto ataque con armas químicas en Damasco / Foto: Reuters

que se pueda recoger y que no vaya a parar al medio ambiente produciendo otros problemas. La técnica más usada es hacer una hidrólisis en medio básico y de esta forma convertirlo en arsenito que con peróxido de hidrógeno se pasa a arseniato tratándolo posteriormente con cloruro de hierro (III) que lo convierte en arseniato de hierro (III), compuesto insoluble lo mismo en agua fría que en agua caliente, que se introducen en bloques de hormigón.

Rusia ha optado por eliminar los componentes tóxicos mediante un “cóctel” de compuestos y los restos se mezclan con asfalto en bidones sellados y se queman. Los franceses, por su parte, lo han hecho forma automática en una ^[20-25] cámara de detonación.

CONCLUSIONES

El mal uso de la ciencia química ha dado lugar a estos tristes acontecimientos (la preparación y uso de armas químicas). Pero sería necesario contraponer otros muchos aspectos como los medicamentos, insecticidas, herbicidas, conservantes, desinfectantes, y otros, en los cuales la química ha sido la solución a complejos problemas que garantizan una importante mejora de las condiciones de vida.

Como siempre no es la química la culpable realmente; son dilemas éticos y sociológicos, mezclados con los dirigentes políticos, los que hacen que una ciencia sea utilizada de una forma responsable para bien de la humanidad o todo lo contrario que se utilicen los conocimientos como arma destructiva. Confiemos que la sociedad del futuro sea capaz de utilizar los conocimientos para mejorar el nivel de vida y no los utilice para la opresión y la destrucción.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo recibido de la Universidad Politécnica de Madrid a través del proyecto PT14_15-03002. También se agradecen las sugerencias de los evaluadores del trabajo.

REFERENCIAS

- [1] S. Everts, *C&E News*, 23 February, **2015**, 93, 9-21.
- [2] *American Chemical Society*, <http://www.acs.org/content/acs/en/education.html> Serie Historia.
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=YVrmvIDfOac>, Visitada 5/6/15.
- [4] <https://www.mrecic.gov.ar/formacion-de-formadores>, Visitada 5/6/15.
- [5] <http://www.haberfilm.com/PDFs/HABER-TeacherResources.pdf>, Visitada 1/6/15.
- [6] A. Gibson, *J. Chem. Educ.* **1943**, 20(6), 265-270. DOI: 10.1021/ed020p265.
- [7] F. Haber *J. Chem. Educ.*, **1945**, 22(11), 526- 529 y 553. DOI: 10.1021/ed022.
- [8] C. F. Wells, *J. Chem. Educ.* **1928**, 5(8), 929 DOI: 10.1021/ed005
- [9] G. de Salazar Serantes, *Cuadernos de Estrategia*, **2011**, n° 153, 207-242.
- [10] L. Villalonga. *Historia de la Guerra Química. Características y Mecanismos de Aplicación en la Guerra y en el Terrorismo*. En M. Domínguez Carmona, Editor, *Agresivos Químicos y Microbiológicos en la Guerra y el Terrorismo*, Monografía XVI. Real Academia Nacional de Farmacia, **2005**. <http://dx.doi.org/ES/monoranf.v0i0.543>.
- [11] J. A Romano, B. J. Lukey, H. Salmen, *Chemical Welfare Agents: Chemistry, Pharmacology, Toxicology and Therapeutics*, CRC Press, Taylor and Francis Group, **2008**.
- [12] M. Domínguez Carmona, M. Domínguez de la Calle. *Los organofosforados*. En M. Domínguez Carmona, Editor, *Agresivos Químicos y Microbiológicos en la Guerra y el Terrorismo*, Monografía XVI. Real Academia Nacional de Farmacia, **2005**. <http://dx.doi.org/ES/monoranf.v0i0.543>.
- [13] R. J. Duchovic, J. A. Vilensky, *J. Chem. Educ.* **2007**, 84(6), 944-948. DOI: 10.1021/ed084p944.
- [14] M. Freemantle, *Chemistry World*, **2015**, 12(9), 56-59.
- [15] Compound Interest www.compoundchem.com Visitada 1/4/15.
- [16] <http://www.johnstonsarchive.net/terrorism/chembioattacks.html>. Visitada 1/4/15.
- [17] S. Jiménez, *Agresivos químicos: fumígenos, incapacitantes, vesicantes, lacrimógenos, estornudógenos y eméticos, gases asfixiantes, en terrorismo* en M. Domínguez Carmona, Editor, *Agresivos químicos y microbiológicos en la guerra y el terrorismo*, Monografía XVI. Real Academia Nacional de Farmacia, **2005**. <http://dx.doi.org/ES/monoranf.v0i0.543>.
- [18] <https://www.opcw.org/documents-reports/>. <https://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/genesis-and-historical-development/>. Visitada 28/8/15.
- [19] https://aca-eb.gencat.cat/aca/documents/ca/jornadatecnica003/10_neila.pdf. Visitada 28/8/15.
- [20] National Research Council (U.S.) Committee on Review and Evaluation of the Army Non-Stockpile Chemical Disposal Program, *Evaluation of alternative technologies for disposal of liquid wastes from the explosive destruction system*, National Academy Press, Washington, **2001**.
- [21] N. Notman *Chemistry World*, **2014**, 11 (6), 46-50.
- [22] R. Pita, J. Domingo, *El Mundo*, 22 de abril de 2012.
- [23] <http://www.elmundo.es/internacional/2014/07/03/53b4ae95e2704ec5458b458e.html>. Visitada 19/8/2014.
- [24] T. Westgate, *Chemistry World*, **2006**, 3(9), 43-44.
- [25] N. Notman *Chemistry World*, **2012**, 9 (7), 42-45.