

DESTRUCCION DE LAS ARMAS QUIMICAS:
VISION DESDE EL FIN DE LA GUERRA FRIA

Miguel Chong C.*

INTRODUCCION

La utilización de compuestos químicos como herramientas de guerra no ha sido reciente. Sin embargo, es posible afirmar que una verdadera guerra química se inició el 22 de abril de 1915 durante la Primera Guerra Mundial. En dicha oportunidad, los alemanes utilizaron cilindros de cloro para lograr sacar de sus trincheras a sus adversarios franceses. Con ayuda del viento, el ataque tuvo éxito pero no hubo una continuidad en el uso de este método.

Los franceses, sorprendidos en un principio con este ataque, buscaron desarrollar este tipo de armas. Fue así que en 1916, utilizando cañones de 75 mm dispararon los primeros proyectiles químicos, los cuales estaban llenos de fosgeno, COCl_2 . El uso de estos proyectiles hizo que los ataques dependieran menos de la dirección del viento. Posteriormente, en julio de 1917, los alemanes introdujeron otro material, un líquido oleoso: el sulfuro de bis(2-cloroetilo), $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$, cuyo vapor fue denominado por los ingleses "gas mostaza", por el olor característico del aceite de mostaza. Este compuesto fue la sustancia química tóxica más importante introducida en la Primera Guerra Mundial[1].

* Sección Química. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Los italianos en la guerra de Abisinia, las fuerzas de uno y otro bando en la Segunda Guerra Mundial y últimamente, en la guerra entre Irak e Irán, han empleado estas armas como medio de destrucción en masa.

Por otro lado, los esfuerzos para prohibir el uso de estas armas tampoco son recientes, ya en 1874 (desde antes de la primera Guerra Mundial) se firmó en Bruselas una Declaración que prohibía el uso de venenos y de proyectiles envenenados en la guerra. Posteriormente, en la Conferencia de La Haya de 1899, se condenó el “empleo de proyectiles cuyo único fin es la difusión de gases asfixiantes o deletéreos”.

A raíz de la Primera Guerra Mundial, donde su uso fue generalizado, la condena pública fue general, lográndose firmar el 17 de junio de 1925 el Protocolo de Ginebra, que prohíbe “el empleo en la guerra de gases asfixiantes, tóxicos o similares, y de todos los líquidos, materiales o dispositivos análogos”. No obstante estos esfuerzos, el desarrollo de estos productos con fines bélicos ha seguido, por lo que han sido necesarias nuevas herramientas jurídicas que lo eviten. Es así que, el 10 de abril de 1972, se firmó en Londres, Moscú y Washington, una Convención sobre la prohibición del desarrollo, la producción y el almacenamiento de armas bacteriológicas (biológicas) y tóxicas y sobre su destrucción[2].

Finalmente, en enero de 1993 se firmó en París la Convención sobre la prohibición del desarrollo, producción, almacenamiento y empleo de todas las armas químicas y su destrucción.

El presente trabajo muestra una visión general de algunos compuestos utilizados como armas químicas, así como los alcances de la Convención de 1993.

DEFINICIONES Y CLASIFICACION

Entendiéndose como “sustancia química tóxica” a toda sustancia que por su acción química sobre los procesos vitales pueda causar la muerte, la incapacidad temporal o lesiones permanentes a seres humanos o animales y, como “precursor” de cualquier reactivo químico que intervenga en cualquier fase de la producción por cualquier método de una sustancia química tóxica, pueden ser establecidas varias clasificaciones de acuerdo a diversos puntos de vista:

I Clasificación táctica

Se basa en la volatilidad de estas sustancias. Esta propiedad es importante para el empleo y diseminación adecuados. Según la duración de las sustancias químicas luego de su diseminación en el terreno, tenemos que éstas pueden ser: persistentes, semipersistentes y no persistentes.

En la Tabla 1, los dos primeros compuestos son no persistentes, la cloropicrina es semipersistente y el resto se considera persistente.

La razón V/A es una medida (no muy precisa) de la eficacia de la sustancia tóxica como arma química a una temperatura determinada. Este análisis, por tanto, es válido para un determinado rango de temperatura.

II Clasificación fisiológica

Según el efecto fisiológico sobre los seres humanos los compuestos tóxicos se pueden agrupar en 5 categorías:

- a. Agente hemotóxico: agente que afecta los sistemas circulatorio y respiratorio, alterando la capacidad de la sangre de transportar oxígeno al organismo (p.e. cloruro de cianógeno, arsina, cianuro de hidrógeno)
- b. Agente incapacitante: agente destinado a destruir la eficacia combativa de las fuerzas enemigas sin infligir lesiones permanentes o la muerte.
- c. Agente neurotóxico: agente de guerra química que altera o inhibe la transmisión de impulsos nerviosos mediante la desorganización de las reacciones enzimáticas (p.e. Sarin, Somán, Tabún, etc.)
- d. Agente sofocante: sustancia que perjudica el sistema respiratorio haciendo que las membranas se dilaten y se llenen de líquido. Por ejemplo: fosgeno, difosgeno. Los síntomas son tos, sofocación, opresión torácica, respiración superficial y edema pulmonar.
- e. Agente vesicante: agente que produce lesiones quemando la piel y afectando las membranas mucosas (p.e. gas mostaza, lewisita). Estos agentes pueden ser también toxinas sistemáticas.

Tabla 1. AGRESIVOS QUÍMICOS REPRESENTATIVOS

CARACTER	CIANURO DE HIDRÓGENO	FOSGENO	CLOROPICRINA	SULFURO DE CLOROETILO	LEWISITA*	a-CLOROACETOFENONA	DIFENILCLOROARSINA
Clave del ejército de los Estados Unidos	AC	CG	PS	H	LI	CN	DA
Fórmula	HCN	COCl ₂	CCl ₂ NO ₂	(ClCH ₂ CH ₂) ₂ S	ClCH:CHAsCl ₂	C ₂ H ₅ COCH ₂ Cl	(C ₂ H ₅) ₂ AsCl
Peso mol.	27.03	98.92	164.39	159.08	207.32	154.59	264.57
P.f., °C.	-13.2	-104	-64	14.5	-2.4	54	41
P.eb., °C.	25.9	8.3	111.9	224 (desc.)	196.6	desc.	333
Presión de vapor, mm a:							
5° C.	325	670	8.4	0.02 (líquido)	0.12	0.001	—
40° C.	—	—	54	0.35	1.65	0.044	—
Principal efecto fisiológico	Parálisis nerviosa	Edema pulmonar	Lagrimo	Vesicación	Vesicación	Lagrimo	Estornudos
Concent. (A), mg/m ² , para:	500	375	146.7	450	1040	17.5	10.9
Actividad fisiológica	CL ₅₀ (ratones)	CL ₂₀ (ratones)	Intolerable	Flictenas	Flictenas	Intolerable	Intolerable
Exposición, minutos (t)	10	10	2	10	10	2	2
Volatilidad (V), mg/m ² , a:							
5° C.	506 x 10 ²	3.820 x 10 ²	79.7 x 10 ²	159	1438	8.91	—
40° C.	—	—	455 x 10 ²	2860	17540	348	—
VIA a:							
5° C.	1.0 x 10 ²	10.2 x 10 ²	0.54 x 10 ²	0.35	1.4	0.5	—
40° C.	—	—	3.1 x 10 ²	6.35	16.9	19.9	—

* El símbolo y las propiedades dados para la lewisita corresponden al isómero trans.

La toxicidad de estos compuestos hace que estos agentes, por su efecto fisiológico, también puedan clasificarse de acuerdo a su dosis letal (DL). Esta cifra se obtiene con un número considerable de animales de prueba; DL_{30} significa que la dosis mata el 30% de los animales tratados. La dosis letal se expresa en miligramos por kilogramo de animal sometido a la prueba. De acuerdo a este factor, la mayoría de agentes neurotóxicos son considerados como “armas de segunda generación” por poseer una capacidad letal que excede en centenares de veces a las de los agentes de primera generación utilizados ampliamente en la Primera Guerra Mundial.

III Clasificación química

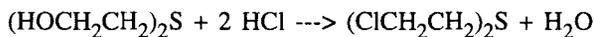
Si bien es posible hacer ciertos agrupamientos químicos de los compuestos utilizados, no es posible establecer una relación inequívoca entre estructura química y actividad fisiológica de modo que un grupo de sustancias sea utilizada como armas químicas.

A pesar de ello podemos tener los siguientes grupos de sustancias químicas tóxicas:

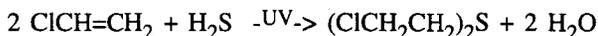
a. Mostazas de azufre

La expresión “gas mostaza” se utiliza para designar al sulfuro de bis(2-cloroetilo), $(ClCH_2CH_2)_2S$, (P.F. 159,08). En español también se le llama “iperita” (del francés yperite, derivado de la ciudad Ypres (Francia), cerca de la cual se utilizó por vez primera en la Primera Guerra Mundial).

Fue preparado inicialmente por Despretz en 1822 mediante la reacción entre cloruro de azufre y etileno, aunque sin caracterizar los productos. Posteriormente se logró prepararlo mediante la cloración de tiodiglicol. En 1912, Clarcke comprobó que esta cloración podía hacerse calentando tiodiglicol con ácido clorhídrico concentrado:



En escala de laboratorio es posible obtenerlo haciendo reaccionar cloruro de vinilo con ácido sulfhídrico utilizando luz ultravioleta como catalizador [3]:



Posteriormente para la Segunda Guerra se utilizó el procedimiento de Levinstein.

Este compuesto y sus análogos (ver Tabla 1) son principalmente vesicantes (ya sea al estado líquido o vapor). Causan conjuntivitis y ceguera. Pueden producir mutaciones en los genes de los cromosomas. Su actividad está asociada a la tendencia a la ciclación intramolecular. La dosis letal para el hombre durante una exposición de 10 minutos es de 0,15 mg/L.

b. Mostazas de nitrógeno

Denominadas así por su semejanza en la estructura con el gas mostaza; son compuestos de gran importancia en el tratamiento del cáncer.

El azufre del gas mostaza es sustituido por un nitrógeno amínico, así se tiene que las mostazas de nitrógeno son alquilaminas halogenadas, tales como las utilizadas en la Segunda Guerra Mundial, destacando entre ellas:

- i. tris(2-cloroetil)-amina
- ii. N-metil-2,2'-diclorodietilamina
- iii. N-etil-2,2'-diclorodietilamina

cuyas claves del ejército de los Estados Unidos son HN3, HN2 y HN1, respectivamente.

Estas aminas son agentes vesicantes persistentes [4], destruyen los leucocitos de la sangre y son necrosantes del tejido linfóide y del sistema nervioso central.

Se preparan haciendo reaccionar cloruro de tionilo con la apropiada etanolamina:



El clorhidrato formado se trata con hidróxido o carbonato de sodio para dejar la base libre.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los Estados Unidos utilizaron un proceso que consta de 5 pasos: 1.reacción, 2.dilución, 3.neutralización, 4.separación y filtración, 5. secado.

c. Lewisitas

La Lewisita es la dicloro(2-clorovinil)arsina, compuesto líquido incoloro cuyos vapores causan fuerte irritación de las vías respiratorias y ampollas en la piel. Causa daños en el hígado, en los conductos biliares y en menor grado en los riñones. Como producto de guerra se le utiliza conjuntamente con otros compuestos análogos que se incluyen en este tipo de compuestos: la bis(2-clorovinil)cloroarsina y la tris(2-clorovinil)arsina. Como se observa, las lewisitas son arsinas sustituidas.

Dependiendo del método de obtención, éstas se obtienen en diversas proporciones, distinguiéndose por su olor. Originalmente se fabricaba, en un método algo extenso, utilizando acetileno, el cual se hacía pasar sobre una mezcla de cloruro de aluminio y tricloruro de arsénico (en proporción 1:9). Durante la Segunda Guerra Mundial se descubrieron dos catalizadores: cloruro mercuríco y cloruro cuproso (ambos en solución de ácido clorhídrico), haciendo el proceso menos complicado y a la vez, ventajosamente más económico.

d. Gases neurotóxicos [5] [6]

Estos compuestos, por lo general los fluorofosfatos de alquilo, son sustancias más tóxicas que las descritas anteriormente y son básicamente inhibidores de la actividad vital de las enzimas, principalmente de la colinesterasa. Esta enzima es esencial en la hidrólisis de la acetilcolina, compuesto cuya elevada concentración en el organismo humano produce la sobreestimulación de impulsos nerviosos (aumento de la frecuencia de respiración, disminución de la presión sanguínea).

Son tóxicos por ingestión, inhalación y absorción dérmica. Generalmente es letal. Entre estos gases, producidos luego de la Segunda Guerra Mundial y utilizados en la guerra Irak-Irán, se encuentran:

1. Somán (Fig.1) éster 1,2,2-trimetil propílico del ácido metilfluorofosfónico, $(\text{CH}_3)_3\text{CCH}(\text{CH}_3)\text{OPF}(\text{O})\text{CH}_3$.
Es un líquido incoloro; despidе gas incoloro; p.eb. 167°C ; p.f. -70°C . La DL_{50} en ratones(mg/100 g): 0,062; dérmicamente 0,78.
DL para el hombre puede ser tan baja como 0,01 mg/Kg.

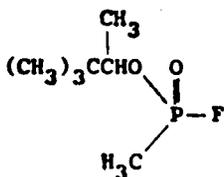


Fig. 1

2. Sarín (Fig.2): éster isopropílico del ácido metilfluorofosfónico, $[(\text{CH}_3)_2\text{CHO}](\text{CH}_3)\text{FPO}$.
 Es un líquido miscible en agua e hidrolizable; p.eb. 147°C ; p.f. -57°C .
 La DL_{50} en ratones es $0,42 \text{ mg/Kg}$ y en el hombre puede ser tan baja como $0,01 \text{ mg/Kg}$.

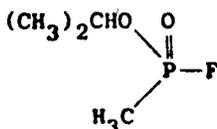


Fig. 2

3. Tabún (Fig.3): éster etílico del ácido dimetilaminocianofosfónico, $(\text{CH}_3)_2\text{NP}(\text{O})(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})\text{NC}$.
 Es un líquido fácilmente soluble en disolventes orgánicos; miscible con agua aunque se hidroliza rápidamente. Es destruído por los polvos de blanqueo, los cuales generan cianuro de hidrógeno; p.eb. 240°C ; punto de inflamación 78°C y p.f. -50°C .
 La DL_{50} en ratones es $0,6 \text{ mg/Kg}$ y la DL para el hombre puede ser tan baja como $0,01 \text{ mg/Kg}$.

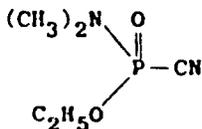


Fig. 3

LA CONVENCION DE 1993 [7]

En el contexto de la Conferencia de Desarme de Ginebra, y gracias al término de la Guerra Fría, se dio un nuevo impulso para la proscripción del uso de armas químicas. El compromiso para su erradicación se vio cristalizado el 3 de Setiembre de 1992 con la adopción del texto de la Convención sobre la Prohibición, Producción, Almacenamiento y Uso de Armas Químicas y sobre su Destrucción, que fue aprobado por la Asamblea General de las Naciones Unidas el mismo año.

El 13 de Enero de 1993, en una ceremonia especial llevada a cabo en París, la Convención quedó abierta para la firma y ratificación de todos los Estados. Para su entrada en vigencia se requieren no menos de 180 días luego de la 65a. firma de un Estado y no menos de 2 años luego de que fue abierta para la firma. Se espera, por tanto, que para Enero de 1995 se establezca la Organización para la Prohibición de Armas Químicas con sede en La Haya.

La Convención tiene como objetivo la prohibición de todo desarrollo, producción, adquisición, retención, almacenamiento, transferencia y uso de armas químicas comprometiéndose cada Estado Parte a destruir las armas químicas que se encuentren en su territorio, así como cualquier instalación destinada a su producción o almacenamiento. Incluye no sólo las obligaciones de los Estados Partes, sino que detalla los criterios y mecanismos para el estricto cumplimiento de sus objetivos. Para ello se ha previsto la implementación de la referida organización y el entrenamiento de personal ad hoc, habiéndose establecido una Comisión Preparatoria para tal efecto. Esta Organización tendrá además la misión de verificar periódicamente, in situ, las plantas químicas industriales o instalaciones militares, de modo de prevenir o sancionar cualquier violación a la presente Convención.

Dado que los compuestos químicos tóxicos pueden en muchos casos prepararse con relativa facilidad y dada la gran diversidad de los compuestos químicos, el texto de la Convención incluye un anexo sobre sustancias químicas tóxicas y sus precursores, dividido en tres listas. La inclusión en una u otra lista depende del poder tóxico o su probable uso como arma química, variando por tanto los niveles de producción permitidos. Así por ejemplo, las sustancias de la Lista 1 (ver Tabla 2) sólo podrán ser producidas en muy pequeña escala para fines no prohibidos y tendrán un estricto control y verificación al igual que sus precursores.

Existe además una cuarta lista que incluye una serie de compuestos orgánicos que sin tener en sí carácter nocivo, podrían intervenir en alguna etapa en la producción de sustancias químicas tóxicas.

Como se observa, el control o verificación no sólo abarca la industria bélica, sino que en muchos casos incluye la industria química en general, por lo que se deberán establecer mecanismos o procedimientos que no obstaculicen el desarrollo económico o tecnológico de los estados y las actividades químicas, tal como lo señala el Artículo XI de la Convención y por el contrario se busca “facilitar el intercambio más completo posible de las sustancias químicas, equipo e información científica y técnica en relación con el desarrollo y la aplicación de la química para fines no prohibidos”[8]. Se entiende que, para países de menor desarrollo relativo, este artículo es de singular importancia por el decidido aporte a la investigación, desarrollo y promoción de la química en sus diversas ramas.

Tabla 2

Lista 1	N° del CAS*
A. Sustancias químicas tóxicas	
1. Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fluorofosfonatos de O-alquilo ($\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo)	
ej.: Sarín: Metilfluorofosfonato de O-isopropilo	(107-44-8)
Somán: Metilfluorofosfonato de O-pinacolilo	(96-64-0)
2. N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminocianofosfonatos de O-alquilo ($\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo)	
ej.: Tabún: N,N-dimetilaminocianofosfonato de O-etilo	(77-81-6)
3. S-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil))	

* CAS Chemical Abstracts Services

tiofosfonatos de O-alquilo (H ó $\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo)
y sales alquiladas o protonadas correspondientes

ej.: VX: S-2-diisopropilaminoetilmetiltiofosfonato
de O-etilo (50782-69-9)

4. Mostazas de azufre:
 - Clorometilsulfuro de 2-cloroetilo (2625-76-5)
 - Gas mostaza: sulfuro de bis (2-cloroetilo) (505-60-2)
 - Bis(2-cloroetiltio)metano (63869-13-6)
 - Sesquimostaza: 1,2-bis(2-cloroetiltio)etano (3563-36-8)
 - 1,3-bis(2-cloroetiltio)propano normal (63905-10-2)
 - 1,4-bis(2-cloroetiltio)butano normal (142868-93-7)
 - 1,5-bis(2-cloroetiltio)pentano normal (142868-94-8)
 - Bis(2-cloroetiltiometil)éter (63918-90-1)
 - Mostaza O: bis(2-cloroetiltioetil)éter (63918-89-8)
5. Lewisitas:
 - Lewisita 1: 2-clorovinildicloroarsina (541-25-3)
 - Lewisita 2: bis(2-clorovinil) cloroarsina (40334-69-8)
 - Lewisita 3: tris(2-clorovinil) arsina (40334-70-1)
6. Mostazas de nitrógeno:
 - HN1: bis(2-cloroetil) etilamina (538-07-8)
 - HN2: bis(2-cloroetil) metilamina (51-75-2)
 - HN3: tris(2-cloroetil) amina (555-77-1)
7. Saxitoxina (35523-89-8)
8. Ricina (9009-86-3)

B. Precursores

9. Difluorofosfonatos de alquilo (metilo, etilo, propilo
(normal o isopropilo))

ej.: DF: difluorofosfonato de metilo (676-99-3)
10. O-2-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil))
aminoetilalquil (metil, etil, propil (normal o isopropil))
fosfonitos de O-alquilo (H ó $\leq C_{10}$, incluido el cicloalquilo)
y sales alquiladas o protonadas correspondientes

- ej.: QL: O-2-diisopropilaminoetilmetilfosfonito
de O-etilo (57856-11-8)
11. Cloro Sarín: metilclorofosfonato de O-isopropilo (1445-76-7)
12. Cloro Somán: metilclorofosfonato de O-pinacolilo (7040-57-5)

* Nota: En el texto oficial de la convención (versión en español) aparece una nomenclatura diferente a la utilizada en el presente artículo.

BIBLIOGRAFIA

1. Kirk, O. (1961) **Enciclopedia de Tecnología Química**, UTEHA, México
2. Naciones Unidas (1989) **Temas de Desarme**, N.Y. USA.
3. Vaughn, W.E. y Rust, F.F. (1942) *J.Org Chem*, 7, 472.
4. Ward, K. (1935) *J.Am.Chem.Soc.*, 57, 914.
5. Hawley, G.G. (1975) **Diccionario de Química y de Productos Químicos**, Ed.Omega, Barcelona, España.
6. The Merck Index (1989) **An Encyclopedia of Chemicals Drugs and Biologicals**, Rahway, N.J., USA.
7. Provisional Technical Secretariat of the Preparatory Commission for the Organization for the Prohibition of Chemical Weapons (1993) Information Series 2, La Haya, Holanda.
8. Convención sobre Armas Químicas (1993) París, Francia.