



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**“MODO DE ACCIÓN DE COMPUESTOS
NEUROTÓXICOS Y VESICANTES EMPLEADOS COMO
AGENTES DE GUERRA QUÍMICA”
TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA

PRESENTA

CLAUDIA LEONOR RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ



MÉXICO, D.F.

2008.



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.

Jurado asignado:

Presidente **JOSE MARIA GARCIA SAIZ**

Vocal **BENJAMIN RUIZ LOYOLA**

Secretario **JOSE MANUEL MENDEZ STIVALET**

1er. Suplente **EDUARDO GUILLERMO MARAMBIO DENNETT**

2do. Suplente **MARIA DEL RAYO SALINAS VAZQUEZ**

Sitio donde se desarrollo el tema:

BIBLIOTECA DE LA "FACULTAD DE QUÍMICA"

Asesor del Tema

Q. BENJAMÍN RUIZ LOYOLA

Sustentante

CLAUDIA LEONOR RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ

Dedicatorias

A Dios, porque de alguna manera permitió que todo esto me sucediera.

A mis padres, porque a pesar de no estar de acuerdo o no entenderlo, me dejaron realizarme como persona y me dieron su apoyo incondicional, me regalaron los mejores años de sus vidas y por llenar de amor mi existencia.

A mi hermano César, por recordarme que todo se puede, aún cuando las cosas se ven difíciles; por darme el apoyo que necesitaba en el momento más inesperado.

A mi familia (la Familia Fernández), por apoyarme a su modo y no dejar de darme animo, por ser parte fundamental de mi vida.

Agradecimientos

- A la UNAM, por ser mi *alma máter*, por transformarme en lo que ahora soy, por brindarme los espacios donde he vivido los momentos más increíbles, felices y tristes de mi existencia... simplemente GRACIAS por existir!
- A Benjamín Ruiz L., por permitirme aprender, por toda la paciencia, por las jaladas de orejas, pero sobre todo por hacer más sencilla esta etapa de mi vida gracias a su amistad.... ¡Gracias!
- A Jesús Gracia Mora (Buzz Lightgear), por ser mi maestro, mi guía, mi consejero, mi amigo y en ocasiones hasta mi psicólogo ... ¡Mil Gracias!, tú sabes que sin ti, esta historia sería distinta y en verdad no tengo palabras con las cuales agradecerte ¡Gracias, gracias gracias!
- A Fina, Mauro, Lupita, Alejandro Bonifaz, Rafael Moreno, Carlos Amador, Elvira Santos, Maru, Helio Flores[†], Eduardo Marambio, por hacer la diferencia en esta Facultad, por brindarme su amistad además de sus conocimientos, por apoyarme aún cuando todo parecía perdido, por todos sus consejos.... No sé que haría sin ustedes! Los quiero!
- A Anastasia, Sayra, Myriam y Hanne, por vivir conmigo todos los momentos importantes, por darme ánimos cuando estaba cansada y harta, por hacerme reír y hasta regañarme cuando lo necesitaba... Gracias amigas! Saben que están en mi corazón.
- A Bit, el_oso y Ros, por su increíble amistad, las miles de historias inolvidables, y por enseñarme el fino arte del RTFM, lo cual fue un largo y divertido proceso, pero que les agradezco de manera infinita.

- A Ivanglez, Cike, Tazzer, Betún, Charmin, Hermano Webo, Jocelin, Roth, Ilib, y Victor por formar parte de mi historia, por su amistad, sus consejos y las mil anécdotas, incluida la de “Super Chung”, en pocas palabras, por hacer de mi paso por la universidad algo genial e inolvidable.
- A la SAAE, especialmente a Lulú, Isabel, Arturo y Rosa, por tenerme toda la paciencia que se puede tener y por apoyarme siempre, por escuchar mis historias y por darme su amistad; sin ustedes, la vida en la dirección sería imposible. Muchísimas gracias!
- A todos los integrantes de DePA y al laboratorio 100 de posgrado, por darme un sentido de pertenencia a esta Facultad y a esta Universidad.
- A Alejandra S. por una amistad a prueba de todo, porque amistades así, se dan una vez en la vida. Amiga, eres lo máximo!
- A James, Mariano y Sofía, por demostrarme el verdadero valor de la amistad, por darme consejos en el momento justo y por ser mis amigos incondicionales y por todos los buenos momentos que hemos pasado juntos... los quiero mucho! Y gracias por hacer la diferencia en mi mundo!
- A Paola, Carlos Andrés, José Ramón, Lalo y Alex, por darme el ejemplo siempre, por apoyarme en la distancia, por hacerme pertenecer a nuestra familia, por estar cerca, y por quererme como si fueran mis hermanos. Los amo!
- A mi tía Rosy, mi tío Miguel, mi tía Lupita, mi tío Ramón, mi tía Mary, mi tío Javier, y mi tío Andrés[†] por confiar en mi, por estar conmigo y por quererme como a sus hijos. Los quiero.
- A chinitos furiosos (mi negrito), por apoyarme a su manera, por su paciencia y por su cariño. TQM!

A veces el guerrero de la luz tiene la impresión de vivir dos vidas al mismo tiempo.

En una de ellas, es obligado a hacer todo lo que no quiere, a luchar por ideas en las que no cree. Pero existe otra vida, y él la descubre en sus sueños, lecturas, gente que piensa como él.

El guerrero va permitiéndolo que sus dos vidas se aproximen. "Hay un puente que une lo que hago con lo que me gustaría hacer", piensa. Poco a poco sus sueños van apoderándose de su rutina, hasta que él percibe que está listo para lo que siempre deseó.

Entonces basta un poco de osadía para que ambas vidas se transformen en una sola....

El guerrero de la luz se concentra en los pequeños milagros de la vida diaria.

Sí es capaz de ver lo bello, es porque trae la belleza dentro de sí, ya que el mundo es un espejo y devuelve a cada hombre el reflejo de su propio rostro.

Aun conociendo sus defectos y limitaciones, el guerrero hace lo posible por mantener el buen humor en los momentos de crisis.

Al fin y al cabo, en mundo se está esforzando en ayudarlo, aún cuando todo a su alrededor parezca decir lo contrario.....

Cuando llega una orden de cambio, el guerrero se despide de todos los amigos que formó durante el transcurso de su camino.

Su corazón se entristece, pero él sabe que sus espada está consagrada y debe obedecer las órdenes de Aquel a quién ofreció su lucha.

Entonces el guerrero de la luz agradece a los compañeros de jornada, respira hondo y sigue adelante, cargado con recuerdos de una jornada inolvidable.

Paulo Coelho

Índice

1. Introducción	2
2. Generalidades	3
2.1. Antecedentes históricos	3
2.2. Marco jurídico	7
2.3. Daño colateral por el uso de armas de destrucción masiva y terminología relacionada	21
2.4. Clasificación de las armas químicas según sus efectos en el organismo.....	26
3. Efectos de neurotóxicos y vesicantes como agentes de guerra química	31
3.1. Síntomas y consecuencias inmediatas y crónicas de la exposición de algunos neurotóxicos y vesicantes	32
3.2. Mecanismos y sistemas de respuesta.....	44
4. Riesgos para la paz	46
4.1. Impacto económico de la convención de las armas químicas	47
4.2. Cumplimiento de la Convención de Armas Químicas.....	49
5. Algunos aspectos tecnológicos relacionados con las armas químicas	50
6. Conclusiones	54
7. Bibliografía y referencias	57

1. Introducción

Este ensayo se centra en el estudio documental de dos tipos de armas químicas, las cuales están identificadas como neurotóxicos y vesicantes en el marco de la "Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción", nombrados en la Convención de Armas Químicas (CAQ) y regulado por la Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPAQ) desde 1992.

Bajo esta perspectiva, se estudiará qué son, cuáles son algunas de sus clasificaciones según la milicia y por su lugar de interacción en el organismo humano, sus estructuras químicas, cómo y dónde actúan específicamente en el cuerpo, el tiempo de exposición máximo a dichos compuestos, y sus posibles tratamientos en humanos.

2. Generalidades

2.1 Antecedentes históricos (definición, uso, táctica y estrategia de aplicación)

Hace varias décadas, se crearon, usaron y almacenaron armas químicas con la finalidad de ser utilizadas como un medio de defensa ante el enemigo, con éstas se buscaba herir, incapacitar o asesinar mediante las propiedades tóxicas de determinadas sustancias químicas.

Una arma química es cualquier sustancia tóxica, las municiones o dispositivos destinados de modo expreso a causar la muerte o lesiones mediante las propiedades tóxicas de las sustancias; esta definición fue dada por la Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción de 1993; las armas químicas entran en el marco de clasificación de armas de destrucción masiva, dada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en la Convención arriba mencionada.¹

Una de las clasificaciones más usadas de las armas químicas es la que se refiere a su persistencia, una medida del tiempo en que el agente químico permanece activo tras la diseminación. Los agentes químicos se dividen entre persistentes y no persistentes. Los agentes clasificados como no persistentes pierden efectividad tras unos minutos u horas. Los agentes puramente gaseosos como el cloro son no persistentes, como tampoco los altamente volátiles como el sarín y muchos otros agentes nerviosos. Hablando en forma general, los agentes no persistentes presentan sólo peligro por inhalación.

En contraste, los agentes persistentes tienden a quedarse en el entorno por periodos más largos, como una semana, complicando la descontaminación. La defensa contra los agentes

¹ Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción, de 1993.

Neurotóxicos y vesicantes.

persistentes requiere protección para largos periodos de tiempo. Los agentes líquidos no volátiles como los agentes en ampolla (vesicantes), como por ejemplo la mostaza de azufre, y el agente nervioso oleaginoso VX no se evaporan fácilmente, y por lo tanto, presentan gran peligro al contacto.

Revisando algunos casos históricos del uso de las armas químicas, se encontró que la primera incidencia tuvo lugar en el año 400 A.C. cuando los griegos utilizaron humo de azufre contra los soldados enemigos. Sin embargo, fue hasta 1483 D.C. en Alemania, donde apareció el primer manuscrito, con la fórmula para hacer una bomba asfixiante.

En 1672, durante el sitio de la ciudad de Groninga, Christopher Bernhard van Galen (Obispo de Munich, Alemania) empleó varios explosivos y dispositivos incendiarios, algunos de los cuales incluían en su composición belladona, con la intención de producir humos tóxicos.

Las restricciones internacionales sobre las armas químicas han avanzado desde el control esporádico de su uso hasta su completa prohibición. La amenaza potencial que trae consigo el uso de armas químicas fue contemplada desde el siglo XIX. La Convención de Bruselas de 1847 prohibió el empleo de veneno o armas envenenadas, mientras que las convenciones de La Haya de 1899 prohibieron el uso de gases asfixiantes o deletéreos. Estos acuerdos, fueron los primeros intentos por legislar el uso de las armas químicas.

La primera vez que se utilizaron los agentes químicos a gran escala fue durante la Primera Guerra Mundial, empezando en la Segunda Batalla de Ypres, el 22 de abril de 1915, cuando los alemanes atacaron a las tropas francesas, canadienses y argelinas con cloro. Desde entonces se utilizaron un total de 50,965 toneladas de agentes respiratorios, lacrimógenos y vesicantes por ambas partes, incluyendo cloro, fosgeno y el gas mostaza. Para 1916 se abandonaron

Neurotóxicos y vesicantes.

puestos de guerra, debido a emisiones de gas mostaza y aparecen las primeras granadas de gas.

En 1935 la Italia Fascista usó gas mostaza durante la invasión de Etiopía, ignorando el Protocolo de Ginebra, firmado siete años antes. En esta ocasión los militares italianos usaron bombas de gas mostaza, arrojadas desde aviones y lo diseminaron en forma de polvo. Se informó que hubo 15,000 bajas por armas químicas, la mayoría por gas mostaza.

El desarrollo de tecnologías de armas químicas prosperó y en 1952 el ejército de los Estados Unidos patentó un procedimiento para la "preparación de Ricino tóxico", publicando un método de producción de la misma. Y en ese mismo año, investigadores de Porton Down, Inglaterra, inventaron el agente nervioso VX, pero pronto abandonaron el proyecto.

Ante el auge de estos desarrollos tecnológicos, los gobiernos empezaron a intercambiarlas, en este sentido, el Gobierno Británico en 1958 vendió su tecnología VX a los Estados Unidos a cambio de información sobre las armas termonucleares. Su desarrollo produjo al menos tres agentes más; a los cuatro (VE, VG, VM, VX) se les conoce como el tipo de agentes nerviosos "Serie V".

Otro ejemplo del uso de estas armas fue el sucedido durante el 20 de marzo de 1995 cuando un grupo de terroristas japoneses, llamado Aum Shinrikyo utilizó sarín en el sistema del metro de Tokio. Dicho ataque provocó 12 muertes y más de 5,000 heridos.

En este sentido la Convención sobre Armas Químicas de 1993, define como arma química a cualquier sustancia química tóxica, las municiones o dispositivos destinados de modo expreso a causar la muerte o lesiones mediante las propiedades tóxicas de las sustancias. En este

Neurotóxicos y vesicantes.

contexto la Convención estableció tres listas de sustancias relacionadas con las armas químicas, divididas según su objetivo, tratamiento, y con propósitos de inspección:

- ☠ **Grupo 1** – No tienen ningún uso legítimo, sólo son utilizadas para investigación o con objetivos médicos, farmacéuticos o defensivos. Entre estas sustancias se encuentran los agentes nerviosos, la *ricina*, *lewisita* y el *gas mostaza de azufre*. Cualquier producción de más de 100 g debe ser notificada a la Organización para la Prohibición de Armas Químicas y ningún país puede tener almacenada más que una tonelada de estos químicos.
- ☠ **Grupo 2** – Esta sustancias no cuentan con usos industriales a gran escala, pero pueden aplicarse con efectos considerables a pequeña escala. Algunas de ellas son el *dimetil metilfosfonato*, precursor del sarín, pero que es también utilizado como material antinflama (retardantes de flama); y el *tiodiglicol*, que es precursor químico que se usa para la fabricación de gas mostaza de azufre, pero también es ampliamente usado como solvente en tintas.
- ☠ **Grupo 3** – Sustancias que tienen usos industriales importantes y a gran escala. Entre ellas se encuentran el *fosgeno* y el *cloropicrino*. Ambos usados como armas químicas, donde el *fosgeno* es un componente importante en la fabricación de plásticos, y el *cloropicrino* es usado como pesticida. Cualquier planta que produzca más de 30 toneladas anuales, será inspeccionada por la Organización para la Prohibición de Armas Químicas.

2.2 Marco Jurídico

Los avances en la regulación de las armas químicas han dado varios resultados, entre los que destaca los establecidos por *La Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción*,² firmada en París, Francia el 13 de enero de 1993, y que entró en vigor el 17 de abril de 1997.

A continuación transcribiré algunos de los artículos más trascendentes, sin olvidar que la legislación es muy amplia y especializada. De esta forma encuentro que entre los más importantes están las obligaciones generales, definiciones y criterios siguientes:

Artículo I. Obligaciones generales.

- 1) *Cada Estado Parte en la presente Convención 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.*

² *La Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción.*

Neurotóxicos y vesicantes.

- 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.*

Como se puede apreciar, los estados se esfuerzan en cumplir con estas obligaciones generales, sin embargo algunos grupos subversivos siguen utilizando armas químicas; esto no significa que cada estado miembro haya dejado de cumplir con sus obligaciones adquiridas con este tratado, pero si asume el uso y existencia de las armas químicas.

En el mismo sentido la Convención establece definiciones y criterios, como apreciamos a continuación en el artículo 2.

Artículo II. Definiciones y criterios.

A los efectos de la presente Convención:

- 1) *Por "armas químicas" se entiende, conjunta o separadamente:*
 - a) *Las sustancias químicas tóxicas o sus precursores, salvo cuando se destinen a fines no prohibidos por la presente Convención, siempre que los tipos y cantidades de que se trate sean compatibles con esos fines;*
 - b) *Las municiones o dispositivos destinados de modo expreso a causar la muerte o lesiones mediante las propiedades tóxicas de las sustancias especificadas en el apartado A que libere el empleo de esas municiones o dispositivos; o*

Neurotóxicos y vesicantes.

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

2) *Por "sustancia química tóxica" se entiende:*

Toda sustancia química que, por su acción química sobre los procesos vitales, pueda causar la muerte, la incapacidad temporal o lesiones permanentes a seres humanos o animales. Quedan incluidas todas las sustancias químicas de esa clase, cualquiera que sea su origen o método de producción y ya sea que se produzcan en instalaciones, como municiones o de otro modo.

(A los efectos de la aplicación de la presente Convención, las sustancias químicas tóxicas respecto de las que se ha previsto la aplicación de medidas de verificación están enumeradas en Listas incluidas en el Anexo sobre sustancias químicas.)

3) *Por "precursor" se entiende:*

Cualquier reactivo químico que intervenga en cualquier fase de la producción por cualquier método de una sustancia química tóxica. Queda incluido cualquier componente clave de un sistema químico binario o de multicomponentes.

(A los efectos de la aplicación de la presente Convención, los precursores respecto de los que se ha previsto la aplicación de medidas de verificación están enumerados en Listas incluidas en el Anexo sobre sustancias químicas.)

4) *Por "componente clave de sistemas químicos binarios o de multicomponentes" (denominado en lo sucesivo "componente clave") se entiende:*

El precursor que desempeña la función más importante en la determinación de las propiedades tóxicas del producto final y que reacciona rápidamente con otras sustancias químicas en el sistema binario o de multicomponentes.

5) *Por "antiguas armas químicas" se entiende:*

a) Las armas químicas producidas antes de 1925; o

Neurotóxicos y vesicantes.

b) Las armas químicas producidas entre 1925 y 1946 que se han deteriorado en tal medida que no pueden ya emplearse como armas químicas.

6) *Por "armas químicas abandonadas" se entiende:*

Las armas químicas, incluidas las antiguas armas químicas, abandonadas por un Estado, después del 1° de enero de 1925, en el territorio de otro Estado sin el consentimiento de este último.

7) *Por "agente de represión de disturbios" se entiende:*

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

8) *Por "instalación de producción de armas químicas" se entiende:*

a) *Todo equipo, así como cualquier edificio en que esté emplazado ese equipo, que haya sido diseñado, construido o utilizado en cualquier momento desde el 1° de enero de 1946:*

i) *Como parte de la etapa de la producción de sustancias químicas ("etapa tecnológica final") en la que las corrientes de materiales comprendan, cuando el equipo esté en funcionamiento:*

(1) *Cualquier sustancia química enumerada en la Lista 1 del Anexo sobre sustancias químicas; o*

(2) *Cualquier otra sustancia química que no tenga aplicaciones, en cantidad superior a una tonelada al año, en el territorio de un Estado Parte o en cualquier otro lugar bajo su jurisdicción o control, para fines no prohibidos por la presente Convención, pero que pueda emplearse para fines de armas químicas; o*

ii) *Para la carga de armas químicas, incluidas, entre otras cosas, la carga de sustancias químicas enumeradas en la Lista 1 en municiones, dispositivos o contenedores de almacenamiento a granel; la carga de sustancias químicas en*

Neurotóxicos y vesicantes.

contenedores que formen parte de municiones y dispositivos binarios montados o en submuniciones químicas que formen parte de municiones y dispositivos unitarios montados; y la carga de los contenedores y submuniciones químicas en las municiones y dispositivos respectivos;

b) No se entiende incluida:

- i) Ninguna instalación cuya capacidad de producción para la síntesis de las sustancias químicas especificadas en el inciso i) del apartado a) sea inferior a una tonelada;*
- ii) Ninguna instalación en la que se produzca una sustancia química especificada en el inciso i) del apartado a) como subproducto inevitable de actividades destinadas a fines no prohibidos por la presente Convención, siempre que esa sustancia química no rebase el 3% del producto total y que la instalación esté sometida a declaración e inspección con arreglo al Anexo sobre aplicación y verificación (denominado en lo sucesivo "Anexo sobre verificación"); ni*
- iii) La instalación única en pequeña escala destinada a la producción de sustancias químicas enumeradas en la Lista 1 para fines no prohibidos por la presente Convención a que se hace referencia en la Parte VI del Anexo sobre verificación.*

9. Por "fines no prohibidos por la presente Convención" se entiende:

- a) Actividades industriales, agrícolas, de investigación, médicas, farmacéuticas o realizadas con otros fines pacíficos;*
- b) Fines de protección, es decir, los relacionados directamente con la protección contra sustancias químicas tóxicas y contra armas químicas;*
- c) Fines militares no relacionados con el empleo de armas químicas y que no dependen de las propiedades tóxicas de las sustancias químicas como método de guerra;*
- d) Mantenimiento del orden, incluida la represión interna de disturbios.*

10. Por "capacidad de producción" se entiende:

Neurotóxicos y vesicantes.

a. El potencial cuantitativo anual de fabricación de una sustancia química concreta sobre la base del proceso tecnológico efectivamente utilizado o, en el caso de procesos que no sean todavía operacionales, que se tenga el propósito de utilizar en la instalación pertinente. Se considerará que equivale a la capacidad nominal o, si no se dispone de ésta, a la capacidad según diseño. La capacidad nominal es el producto total en las condiciones más favorables para que la instalación de producción produzca la cantidad máxima en una o más series de pruebas. La capacidad según diseño es el correspondiente producto total calculado teóricamente.

11. *Por "Organización" se entiende la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas establecida de conformidad con el artículo VIII de la presente Convención.*

12. *A los efectos del artículo VI:*

a) Por "producción" de una sustancia química se entiende su formación mediante reacción química;

b) Por "elaboración" de una sustancia química se entiende un proceso físico, tal como la formulación, extracción y purificación, en el que la sustancia química no es convertida en otra;

c) Por "consumo" de una sustancia química se entiende su conversión mediante reacción química en otra sustancia.

Es evidente que esta clasificación abarca un espectro muy amplio, sin embargo, esta misma convención menciona que los Estados miembros pueden utilizar algunos gases irritantes como el gas pimienta para disolver motines, manifestaciones y toma de instalaciones, y algunas otras situaciones en la que los Estados considere conveniente.

Artículo VI. Actividades no prohibidas por la presente Convención.

1. *Cada Estado Parte tiene el derecho, con sujeción a lo dispuesto en la presente Convención, a desarrollar, producir, adquirir de otro modo, conservar, transferir y emplear sustancias químicas tóxicas y sus precursores para fines no prohibidos por la presente Convención.*
2. *Cada Estado Parte adoptará las medidas necesarias para garantizar que las sustancias químicas tóxicas y sus precursores solamente sean desarrollados, producidos, adquiridos de otro modo, conservados, transferidos o empleados, en su territorio o en cualquier otro lugar bajo su jurisdicción o control, para fines no prohibidos por la presente Convención. A tal efecto, y para verificar que las actividades son acordes con las obligaciones establecidas en la presente Convención, cada Estado Parte someterá a las medidas de verificación previstas en el Anexo sobre verificación las sustancias químicas tóxicas y sus precursores enumerados en las Listas 1, 2 y 3 del Anexo sobre sustancias químicas, así como las instalaciones relacionadas con esas sustancias y las demás instalaciones especificadas en el Anexo sobre verificación que se encuentren en su territorio o en cualquier otro lugar bajo su jurisdicción o control.*
3. *Cada Estado Parte someterá las sustancias químicas enumeradas en la Lista 1 (denominadas en lo sucesivo "sustancias químicas de la Lista 1") a las prohibiciones relativas a la producción, adquisición, conservación, transferencia y empleo que se especifican en la Parte VI del Anexo sobre verificación. Someterá las sustancias químicas de la Lista 1 y las instalaciones especificadas en la Parte VI del Anexo sobre verificación a verificación sistemática mediante inspección in situ y vigilancia con instrumentos in situ, de conformidad con esa parte del Anexo sobre verificación.*
4. *Cada Estado Parte someterá las sustancias químicas enumeradas en la Lista 2 (denominadas en lo sucesivo "sustancias químicas de la Lista 2") y las instalaciones especificadas en la Parte VII del Anexo sobre verificación a vigilancia de datos y verificación in situ, de conformidad con esa parte del Anexo sobre verificación.*

Neurotóxicos y vesicantes.

5. *Cada Estado Parte someterá las sustancias químicas enumeradas en la Lista 3 (denominadas en lo sucesivo "sustancias químicas de la Lista 3") y las instalaciones especificadas en la Parte VIII del Anexo sobre verificación a vigilancia de datos y verificación in situ, de conformidad con esa parte del Anexo sobre verificación.*
6. *Cada Estado Parte someterá las instalaciones especificadas en la Parte IX del Anexo sobre verificación a vigilancia de datos y eventual verificación in situ, de conformidad con esa parte del Anexo sobre verificación, salvo que la Conferencia de los Estados Partes decida otra cosa con arreglo al párrafo 22 de la Parte IX del Anexo sobre verificación.*
7. *Cada Estado Parte, 30 días después, a más tardar, de la entrada en vigor para él de la presente Convención, hará una declaración inicial de los datos relativos a las sustancias químicas e instalaciones pertinentes, de conformidad con el Anexo sobre verificación.*
8. *Cada Estado Parte hará declaraciones anuales respecto de las sustancias químicas e instalaciones pertinentes, de conformidad con el Anexo sobre verificación.*
9. *A los efectos de la verificación in situ, cada Estado Parte facilitará a los inspectores el acceso a las instalaciones requerido en el Anexo sobre verificación.*
10. *Al realizar las actividades de verificación, la Secretaría Técnica evitará toda injerencia innecesaria en las actividades químicas del Estado Parte con fines no prohibidos por la presente Convención y, en particular, se atenderá a las disposiciones establecidas en el Anexo sobre la protección de la información confidencial (denominado en lo sucesivo "Anexo sobre confidencialidad").*
11. *Las disposiciones del presente artículo se aplicarán de manera que no se obstaculice el desarrollo económico o tecnológico de los Estados Partes ni la cooperación internacional en las actividades químicas con fines no prohibidos por la presente Convención, incluido el intercambio internacional de información científica y técnica y de sustancias químicas y equipo para la producción, elaboración o empleo de sustancias químicas con fines no prohibidos por la presente Convención.*

Neurotóxicos y vesicantes.

Si bien, cada Estado Parte tiene el derecho, como lo expresa lo dispuesto en la Convención, a desarrollar, producir, adquirir de otro modo, conservar, transferir y emplear sustancias químicas tóxicas y sus precursores para fines no prohibidos. También es cierto que cada Estado adoptará las medidas necesarias para garantizar que las sustancias químicas tóxicas y sus precursores solamente sean desarrollados, producidos, adquiridos de otro modo, conservados, transferidos o empleados, en su territorio bajo las normas y usos que permite la Convención.

De la misma manera que La Convención estableció las definiciones y criterios citados en los párrafos anteriores, igualmente especificó dentro de su Anexo sobre sustancias químicas 3 listas: de sustancias que están completamente prohibidas y sus precursores; las que tienen usos permitidos y sus precursores; y los posibles precursores de armas químicas, que tienen un extenso uso permitido.

Anexo sobre sustancias químicas**A. Directrices Para Las Listas De Sustancias Químicas**

Lista 1: entre las sustancias químicas de la Lista 1 se encuentran todas aquellas sustancias que han sido utilizadas o pueden ser fácilmente utilizadas como armas químicas y que tienen una escasa o nula utilidad para fines pacíficos. Estas sustancias están sometidas a unas restricciones muy estrictas, como un límite máximo de producción de una tonelada anual por Estado Parte, una cantidad máxima de armas químicas poseídas en un momento determinado de una tonelada por Estado Parte, requisitos para las licencias y restricciones sobre las transferencias. Estas restricciones se aplican a las relativamente pocas instalaciones industriales que utilizan sustancias químicas de la Lista 1. Algunas sustancias químicas de la Lista 1 se utilizan como ingredientes para preparados farmacéuticos o de diagnóstico. Otras sustancias químicas de la Lista 1 se producen y se utilizan frecuentemente con fines de protección, como por ejemplo para probar equipos de protección contra las armas químicas y alarmas contra agentes químicos.

Lista 2: entre las sustancias químicas de la Lista 2 se encuentran aquellas que son precursores de agentes de armas químicas o que, en ciertos casos, pueden ser utilizados como tales, pero que tienen otras utilidades comerciales (como por ejemplo ingredientes de resinas, pirorretardantes, aditivos, tintas y tintes, insecticidas, herbicidas, lubricantes y algunas materias primas para la fabricación de productos farmacéuticos).

Lista 3: en las sustancias químicas de la Lista 3 se incluyen aquellas sustancias que pueden ser utilizadas como armas químicas o para producir armas químicas, pero que se utilizan habitualmente con fines pacíficos (incluida la fabricación de plásticos, resinas, sustancias químicas de minería, fumigantes para el refinado del petróleo, pinturas, revestimientos, agentes antiestáticos y lubricantes).

Neurotóxicos y vesicantes.

Dentro de los listados de sustancias de La Convención, cada compuesto se encuentra identificado con su correspondiente número CAS, con el fin de identificar plenamente cada una de dichas moléculas. El Registro CAS es la más larga y concurrida base de datos de información sobre sustancias químicas en el mundo, contiene más de 35 millones de sustancias orgánicas e inorgánicas y más de 59 millones de secuencias. El registro CAS cubre sustancias identificadas en la literatura científica desde 1957 hasta hoy, con algunas adiciones de sustancias que van desde principios de 1900. El Número de registro CAS (Número CAS) es un identificador numérico único, que se designa a una sola sustancia y no tiene significado químico, pero es un vínculo a la información abundante y específica de cada sustancia química.

B. Listas De Sustancias Químicas

En las Listas siguientes se enumeran las sustancias químicas tóxicas y sus precursores. A los fines de aplicación de la presente Convención, se identifican en esas Listas las sustancias químicas respecto de las que se prevé la aplicación de medidas de verificación con arreglo a lo previsto en las disposiciones del Anexo sobre verificación. De conformidad con el apartado a) del párrafo 1 del artículo II, estas Listas 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. Las sustancias químicas marcadas con un "" en la parte A de la Lista 2, están sometidas a umbrales especiales para la declaración y la verificación, tal como se dispone en la Parte VII del Anexo sobre verificación.)*

Neurotóxicos y vesicantes.

<u>Listado 1. Sustancias que han sido utilizadas o pueden ser fácilmente utilizadas como armas químicas y que tienen una escasa o nula utilidad para fines pacíficos</u>		<u>No. del CAS</u>
A. Sustancias químicas tóxicas		
1.	Alquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosfonofluoridatos de 0-alquilo (<C10, 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 (<C10, 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)) fosfonotiolatos de 0-alquilo (H ó <C10, incluido el cicloalquilo) y sales alquilatadas o protonadas correspondientes Ej. VX: S-2-diisopropil aminoetil metilfosfonotiolato 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: Lewisita 1: 2-clorovinildicloroarsina Lewisita 2: bis(2-clorovinil) cloroarsina Lewisita 3: tris(2-clorovinil) arsina	(541-25-3) (40334-69-8) (40334-70-1)
6.	Mostazas de nitrógeno HN1: bis(2-cloroetil) etilamina HN2: bis(2-cloroetil) metilamina HN3: tris(2-cloroetil) amina	(538-07-8) (51-75-2) (555-77-1)
7.	Saxitoxina	(35523-89-8)
8.	Ricina	(9009-86-3)
B. Precursores		
9.	Fosfonodifluoruros de alquilo (metilo, etilo, propilo (normal o isopropilo)) Ej. DF: metilfosfonodifluoruro	(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 ó <C10, 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 0-pinacolilo	(7040-57-5)

<u>Listado 2. Precursores de agentes de armas químicas o que, en ciertos casos, pueden ser utilizados como tales, pero que tienen otras utilidades comerciales.</u>		<u>No. del CAS</u>
A. Sustancias químicas tóxicas		
1.	Amitón: Fosforotiolato de 0,0-dietil S-2-(dietilamino) etil y sales alquiladas o protonadas correspondientes	(78-53-5)
2.	PFIB: 1,1,3,3,3-pentafluoro-2-(trifluorometil) de 1-propeno	(382-21-8)
3.	BZ: Bencilato de 3-quinuclidinilo (*)	(6581-06-2)
B. Precursores		
4.	Sustancias químicas, excepto las sustancias enumeradas en la Lista 1, que contengan un átomo de fósforo al que esté enlazado un grupo metilo, etilo o propilo (normal o isopropilo), pero no otros átomos de carbono	
	Ej. dicloruro de metilfosfonilo	(676-97-1)
	metilfosfonato de dimetilo	(756-79-6)
	Excepción: Fonofos: etilfosfonotiolotionato de O-etilo S-fenilo	(944-22-9)
5.	Dihaluros N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamídicos	
6.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) fosforamidatos dialquílicos (metílicos, etílicos, propílicos (propilo normal o isopropilo))	
7.	Tricloruro de arsénico	(7784-34-1)
8.	Acido 2,2-difenil-2-hidroxiacético	(76-93-7)
9.	Quinuclidinol-3	(1619-34-7)
10.	Cloruros de N,N-dialquil (metil, etil, propil (normal o isopropil)) aminoetilo-2 y sales protonadas correspondientes	
11.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (propilo normal o isopropilo)) aminoetanol-2 y sales protonadas correspondientes	
	Excepciones: N,N-dimetilaminoetanol y sales protonadas correspondientes	(108-01-0)
	N,N-dietilaminoetanol y sales protonadas correspondientes	(100-37-8)
12.	N,N-dialquil (metil, etil, propil (propilo normal o isopropilo)) aminoetanoltioles-2 y sales protonadas correspondientes	
13.	Tiodiglicol: sulfuro de bis (2-hidroxi-etilo)	(111-48-8)
14.	Alcohol pinacolílico: 3,3-dimetilbutanol-2	(464-07-3)

<u>Lista 3. Sustancias que pueden ser utilizadas como armas químicas o para producir armas químicas, pero que se utilizan habitualmente con fines pacíficos</u>		<u>No.del CAS</u>
A. Sustancias químicas tóxicas		
1.	<i>Fosgeno: dicloruro de carbonilo</i>	<i>(75-44-5)</i>
2.	<i>Cloruro de cianógeno</i>	<i>(506-77-4)</i>
3.	<i>Cianuro de hidrógeno</i>	<i>(74-90-8)</i>
4.	<i>Cloropicrino: tricloronitrometano</i>	<i>(76-06-2)</i>
B. Precursores		
5.	<i>Oxícloruro de fósforo</i>	<i>(10025-87-3)</i>
6.	<i>Tricloruro de fósforo</i>	<i>(7719-12-2)</i>
7.	<i>Pentacloruro de fósforo</i>	<i>(10026-13-8)</i>
8.	<i>Fosfito trimetilico</i>	<i>(121-45-9)</i>
9.	<i>Fosfito trietilico</i>	<i>(122-52-1)</i>
10.	<i>Fosfito dimetilico</i>	<i>(868-85-9)</i>
11.	<i>Fosfito dietilico</i>	<i>(762-04-9)</i>
12.	<i>Monocloruro de azufre</i>	<i>(10025-67-9)</i>
13.	<i>Dicloruro de azufre</i>	<i>(10545-99-0)</i>
14.	<i>Cloruro de tionilo</i>	<i>(7719-09-7)</i>
15.	<i>Etildietanolamina</i>	<i>(139-87-7)</i>
16.	<i>Metildietanolamina</i>	<i>(105-59-9)</i>
17.	<i>Trietanolamina</i>	<i>(102-71-6)</i>

En este punto es importante recordar que un "precursor" es cualquier reactivo químico que intervenga en cualquier fase de la producción por cualquier método de una sustancia química tóxica. Queda incluido cualquier componente clave de un sistema químico binario o de multicomponentes. Lo anterior está mencionado en *La Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción*.

2.3 Daño Colateral por el uso de armas de destrucción masiva y terminología relacionada

Es indudable que el daño colateral de las armas químicas es el punto central del problema, hecho que no fue ignorado por la Convención citada, sin embargo es necesario retomar el espectro de la destrucción que provocan las armas químicas y algunos elementos que condujeron al análisis de las mismas.

Recordemos que La Convención tiene por objeto garantizar que las sustancias químicas tóxicas sólo se desarrollen y produzcan con fines ajenos a las armas químicas; es decir, que únicamente se produzcan sustancias tóxicas si serán utilizadas en la producción de otros compuestos que no son agentes de guerra química, a fin de que la tecnología química no tenga un uso nocivo. Por ello, se ha encomendado a la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ), vigilar a la industria química para que así sea. De la misma manera, la Convención agrupó en los listados mencionados las sustancias químicas tóxicas y los precursores que podrían ser empleados como armas químicas o bien usados en la fabricación de armas químicas.

Según el *National Research Council* (NRC), los daños colaterales se miden a través de los criterios a niveles de exposición intensos (AEGL), los cuales miden la concentración de un compuesto químico en el aire por arriba del cual pueden ocurrir diversos efectos adversos en la salud en la población civil desprotegida. Lo cual permite posteriormente determinar los cursos de acción correctivos y preventivos en las diversas zonas de riesgo en las que se encuentran comunidades e individuos afectados por estas sustancias.

Neurotóxicos y vesicantes.

De esta forma el NRC estableció por la variación de los niveles de severidad de sus efectos tóxicos las directrices de los niveles de exposición intensos (AEGLs) en tres niveles – AEGL-1, AEGL-2 y AEGL-3 – que son desarrollados cada uno por periodos de exposición de (10 min, 30 min, 1 hr, 4 hr y 8 hr)³. Las tres directrices de los niveles de exposición intensos (AEGLs), se integran de la siguiente manera:

AEGL-1 es la concentración en el aire expresada en ppm (partes por millón) o mg/m³ (miligramos por metro cúbico) de una sustancia por arriba de la cual es percibida por la población general, incluyendo los individuos susceptibles, recién nacidos, niños, ancianos, y personas con padecimientos como asma, que pudieran experimentar incomodidad, irritación o ciertos efectos asintomáticos; sin embargo, los efectos no son invalidantes, más aun tienen carácter transitorio y reversible cuando termina la exposición.

AEGL-2 es la concentración en el aire expresada en ppm o mg/m³ de una sustancia por arriba de lo que la población general percibe, incluyendo los individuos susceptibles, que pueden experimentar serios síntomas adversos de larga duración, daños irreversibles o impedimentos para escapar o salir del área afectada.

AEGL-3 es la concentración en el aire expresada en ppm o mg/m³ de una sustancia por arriba de lo que la población general percibe, incluyendo los individuos susceptibles, que pueden presentar signos y síntomas que amenazan su salud e incluso pueden provocar la muerte.

Los autores mencionan que las concentraciones por debajo de AEGL-1 representan niveles de exposición que pueden producir de manera transitoria pequeñas y progresivas alteraciones en el olfato, gusto y/o mucosas, signos y síntomas que no representan riesgos importantes para la vida o la función. Con incrementos de las concentraciones arriba mencionadas en cada nivel de

³ Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 3, Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council, 2003.

Neurotóxicos y vesicantes.

AEGL, hay un progresivo incremento dentro de la probabilidad de ocurrencia y severidad de los efectos descritos por el correspondiente AEGL.

En el mismo texto, se señala que para poder establecer los valores de AEGL de una sustancia química se toman en cuenta distintos tipos de evidencia. Estas valoraciones incluyen: 1) caracterización físico-química, 2) la relación de la estructura-actividad, 3) estudios *in Vitro* de toxicidad, 4) estudios de toxicidad en animales, 5) estudios controlados en humanos, 6) observaciones de humanos involucrados en accidentes químicos, 7) estudios epidemiológicos.

Cuando los datos anteriores no existen de manera completa, como es el caso de la mayor parte de las sustancias químicas, especialmente los datos de toxicidad humana o alguna otra información crítica, esta información faltante sobre la toxicidad se obtiene en el laboratorio con experimentos en animales que se extrapolan para estimar la toxicidad potencial en humanos. Dicha extrapolación requiere de experiencia y juicio científico. Los datos de toxicidad de especies animales más representativas de humanos en términos de propiedades farmacodinámicas y farmacocinéticas son utilizados para determinar un AEGL. Si los datos no están disponibles para las especies que mejor representan a los humanos, se utilizan los datos de los animales más sensibles, para así determinar los AEGLs.

Las exposiciones utilizadas para las estimaciones de AEGL y otros parámetros utilizados en el documento de "*Review of Acute Human-Toxicity Estimates for Selected Chemical-Warfare Agents*", se definen de la siguiente manera:

- ✓ **LC_{t50}** (concentración letal 50), es la concentración a la cual el 50% de los individuos expuestos de una población dada presentan muerte y es expresada como el producto de la concentración del aire (c), en miligramos por metro cúbico, y la duración de la exposición (t), usualmente en minutos. C_t se refiere al producto de la concentración y tiempo de exposición. LC_{t50} esta dada tanto para exposiciones de vapor por inhalación o absorción cutánea. Es

Neurotóxicos y vesicantes.

importante notar que el producto de la concentración y la duración de la exposición ($c \times t$) no es necesariamente constante.

- ✓ **EC_{t50}** (concentración efectiva 50) es la concentración que causa un efecto definido dentro de un 50% de una población dada y es expresada como el producto de $c \times t$ en mg-min/m³, donde $c \times t$ no es necesariamente constante. Los efectos son clasificados como mínimos, medios (miosis y rinorrea) o severos (adinamia parcial o total, convulsiones, y colapso). Las EC_{t50} son dadas a exposiciones por inhalación de vapores y/o absorción por piel.
- ✓ **IC_{t50}** (concentración inhibitoria 50) es la concentración de un compuesto químico que causa un efecto incapacitante al 50% a los individuos de una población dada y es expresada como el producto de $c \times t$ en mg-min/m³, donde $c \times t$ no es necesariamente constante.
- ✓ **LD₅₀** (dosis letal 50) es la dosis máxima para un agente líquido que causa letalidad dentro de un 50% de una población dada y es expresada en miligramos por kilogramo de peso corporal (mg/kg). Para este trabajo, todos los valores de LD₅₀ son para líquidos por exposición cutánea directa.
- ✓ **ID₅₀** es la dosis máxima de un agente líquido que causa discapacidad dentro de un 50% de una población dada y es expresado como mg/kg. Para este trabajo, todas los valores de ID₅₀ son para líquidos por exposición cutánea directa.
- ✓ **ED₅₀** es la dosis máxima de un agente líquido causante de efectos definidos dentro de un 50% de una población dada y es expresado en mg/kg. Para este trabajo, todos los valores de LD₅₀ son para líquidos por exposición cutánea directa. Los efectos incluidos son los clasificados como mínimos, medios o severos (en relación a los daños causados a un ser vivo sobre las funciones vitales hasta la muerte).

Adicionalmente a lo anterior, es necesario prestar atención a las sustancias extremadamente peligrosas (EHS), por sus siglas en ingles, ya que pueden ser liberadas accidentalmente como resultado de derrames químicos, explosiones industriales, incendios o accidentes terrestres de

Neurotóxicos y vesicantes.

coches y camiones que las transportan, poniendo en peligro a la gente en las comunidades circundantes, a las zonas industriales donde se producen, utilizan o almacenan estas sustancias y en comunidades a lo largo de carreteras y autopistas a causa de derrames accidentales.

Múltiples han sido los ejemplos de este tipo de problemas, un caso es el ocurrido durante el desastre de Bhopal, EUA en 1984, aproximadamente 2000 residentes cercanos a la planta química, murieron a causa de daños irreversibles causados a sus ojos y pulmones después de una liberación accidental de metil isocianato. El efecto de este accidente fue particularmente interesante porque la comunidad tenía una pequeña idea acerca de los químicos que se estaban usando en la planta, que tan peligrosos podían ser y que pasos seguir en caso de una emergencia y fueron capaces de implementar una respuesta más adecuada al incidente. Esta tragedia sirvió para prestar atención internacional en la necesidad de los gobiernos de identificar sustancias peligrosas y asistir a las comunidades locales dentro de un plan de emergencia del cómo lidiar con exposiciones de accidentales.

Desgraciadamente, no todos los casos han tenido consecuencias menores, especialmente cuando los incidentes son en situaciones de guerra, en que bastas zonas de población civil son afectadas, como es el hecho ocurrido de la guerra de Irán e Iraq (1980-1988), donde a más de veinte años después del fin de esta guerra, 30,000 iraníes aproximadamente siguen padeciendo las secuelas de las armas químicas, y muriendo a causa de las mismas. Estos efectos han planteado la necesidad de establecer tratamientos para dar respuesta a este número tan grande de afectados, lo cual ha situado a los médicos especialistas iraníes a la vanguardia del desarrollo de sistemas eficaces de tratamiento para las víctimas de armas químicas y, sobre todo, para los aquejados de enfermedades derivadas del contacto con el gas mostaza de azufre.

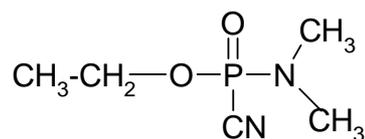
2.4 Clasificación de las armas químicas según sus efectos en el organismo

Los agentes nerviosos (neurotóxicos) conocidos como la *Serie-G* (GA [Tabún], GB [Sarín], GD [Somán] y GF) y el agente nervioso VX, tienen características tóxicas, son ésteres derivados de ácido fosfónico; son comúnmente denominados agentes “nerviosos” como consecuencia de sus propiedades anticolinérgicas y sus subsecuentes efectos adversos sobre músculo esquelético y liso, así como del sistema nervioso central. Como grupo, los agentes nerviosos están divididos en la Serie-G, “G” de German (Alemán), identificando estos agentes entre aquellos que fueron desarrollados secretamente por el Ministro de Defensa Alemana antes y durante la Segunda Guerra Mundial, estos contienen fluoruros o cianuros como grupos sustituyentes; y los Agentes V, los cuales contienen sulfuros como grupos sustituyentes.

Los agentes organofosforados (OP) fueron especialmente diseñados para causar la muerte, daños mayores o inhabilitación de las fuerzas enemigas durante tiempos de guerra. Son particularmente efectivos dentro de un sentido militar debido a su potencia. Como una clase, los agentes G son más volátiles y menos persistentes que los agentes V; las presiones de vapor y su intensa toxicidad son suficientemente altas para que los vapores sean rápidamente letales.

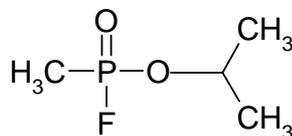
El nombre químico de estos 5 agentes neurotóxicos es el siguiente:

Tabún, (GA), dimetilamido cianoetilfosfato, Registro CAS No. 77-81-6.

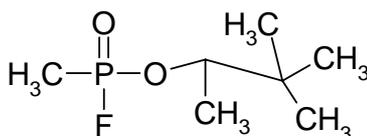


Neurotóxicos y vesicantes.

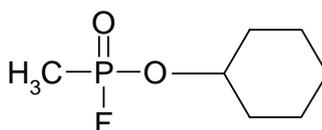
Sarín, (GB), isopropil metilfosfonofluoridato, Registro CAS No. 107-44-8.



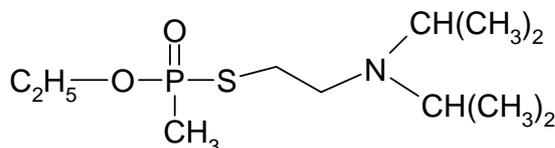
Somán, (GD), pinacolil metilfosfonofluoridato, Registro CAS No. 96-64-0.



GF, o-ciclohexilmetil-fluorofosfonato, Registro CAS 329-99-7.



VX, o-etil-s-(diisopropilaminoetil) metil fosfonotiolato, Registro CAS 50782-69-9.



Los Agentes-G son líquidos viscosos de diversa volatilidad (densidad de vapor relativa de entre 4.86 y 6.33) con olores débiles y mareantes. Los efectos tóxicos pueden ocurrir a concentraciones de vapor por debajo de la detección del olor. El agente VX es un líquido color ámbar con una densidad de vapor de 9.2 (el aire es 1) y es considerado inodoro; como consecuencia, los vapores del agente VX no tiene propiedades de aviso olfativas.

Las presiones de vapor y la intensa toxicidad de estos agentes son lo suficientemente altas para que los vapores sean rápidamente letales. Dentro de la Serie-G, el Sarín es considerado mayormente riesgoso que el Somán. El Tabún representa la menor presión de vapor y riesgo, y

Neurotóxicos y vesicantes.

se esperaría que se presentara un contacto riesgoso relevante. La densidad de vapor del agente GF es intermedio entre el Tabún y el Somán. El agente VX, el cual tiene una densidad de vapor de 9.2 es el más dañino de toda la serie G y fue deliberadamente formulado para tener una baja volatilidad, el agente VX es aproximadamente 2000 veces más potente que el Sarín. Como consecuencia el agente VX es persistente, "limpiador de terreno" militarmente hablando, un compuesto con vapores tóxicos potenciales aún después de días posteriores a la aplicación sobre una superficie.

Los compuestos vesicantes (generadores de ampollas), tienen un claro ejemplo en la mostaza sulfurada (agente HD), que es un compuesto químico alquilante, con propiedades vesicantes que puede afectar cualquier superficie epitelial con la que tenga contacto; fue desarrollado y utilizado como un agente de guerra química. Su componente activo es el bis-(2-cloro-etil) sulfuro. Aunque el compuesto es un líquido a temperatura ambiente, su volatilidad resulta en una generación rápida de vapores que tienen un olor parecido al ajo. Debido a que tiene una baja solubilidad acuosa, es persistente en el medio ambiente. La temperatura ambiente y la humedad gobiernan en grado de "efecto de causalidad". En condiciones de calor y humedad, concentraciones mucho más bajas de mostaza de azufre generan efectos debilitantes. El umbral para detección del olor reportados es de entre 1 mg.min/m^3 y 0.6 mg.min/m^3 , esta información fue comentada en el libro de "*Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airbone Chemicals: Volume 3*".

Los agentes de la guerra química se organizan en muchas categorías de acuerdo con la forma en que afectan al cuerpo humano. Los nombres y números de las categorías varían un poco de fuente a fuente, pero los tipos generales de agentes de guerra química son los siguientes:

Neurotóxicos y vesicantes.

TABLA 1. Tipos de agentes usados en las armas químicas

Clase de agente	Ejemplos	Síntomas	Efectos	Velocidad de acción	Persistencia
Agentes nerviosos (neurotóxicos)	Sarín (GB), Tabún (GA), Somán (GD), VX.	Disnea, sudoración, babeo incontrolado, convulsiones, oscurecimiento de la visión.	Acción anticolinérgica sobre sistema nervioso de los afectados.	Vapores: de segundos a minutos. Cutáneo: de 2 a 18 horas.	El VX es persistente y peligroso al contacto; otros agentes no son persistentes y principalmente son peligrosos por inhalación.
Agentes bloqueadores de la sangre	Cianuro de hidrógeno (AC).	Respiración rápida, convulsiones, coma y muerte.	Desacoplante de la cadena respiratoria. Evita el "uso normal" del oxígeno por las células del organismo de manera que los órganos vitales dejan de funcionar en cuestión de minutos.	Acción inmediata.	No persistentes y peligrosos por inhalación.
Vesicantes (Causantes de ampollas)	Gas mostaza (H, HD), lewisita (L).	Dolor agudo en el área afectada, conjuntivitis, según el grado de la lesión, grandes ampollas llenas de líquido en la piel que curan lentamente y se pueden infectar.	Produce abrasiones en la piel y los ojos.	Vapores: de 4 a 6 horas. Los ojos y los pulmones quedan afectados más rápidamente. Cutáneo: de 2 a 48 horas.	Persistente y peligroso por contacto. Usado para incapacitar más que para matar, colapsando las instalaciones médicas.
Agentes sofocantes	Fosgeno (CG).	Disnea, efecto lacrimógeno, paro respiratorio.	Daña e inunda el sistema respiratorio provocando asfixia; los supervivientes sufren a menudo problemas respiratorios crónicos.	De inmediato a 3 horas.	No persistente y peligrosos por inhalación.

Neurotóxicos y vesicantes.

Clase de agente	Ejemplos	Síntomas	Efectos	Velocidad de acción	Persistencia
Agentes lacrimógenos	Gas lacrimógeno (CS, CR, CN); gas pimienta (OC).	Fuerte irritación conjuntiva ocular.	Provoca un dolor punzante agudo en los ojos y ceguera temporal.	Inmediata	No persistente y peligrosos por inhalación.
Agentes discapacitantes	BZ (3-quinoclidinil benzilato)	Confusión, fabulación no voluntaria, alucinaciones, unidas a la regresión a comportamientos automáticos de origen imaginario tales como arrancarse la ropa.	Disminuye el efecto de la acetilcolina en el afectado. Provoca efectos en el sistema nervioso periférico, que son contrarios a los observados en las intoxicaciones con gases nerviosos.	Inhalados: 30 min. a 20 horas. Cutáneo: hasta 36 horas después de la exposición de la piel al BZ. La duración típica es de 72 a 96 horas	Extremadamente persistente en suelo y agua y encima de la mayoría de las superficies; peligroso por contacto.
Agentes alucinógenos	Dietilamida de ácido lisérgico (LSD)	Sensación de agudeza sensorial, reducción de la coordinación motora, dificultad para concentrarse, alteración de la percepción del dolor y del espacio-tiempo, alucinaciones.	Interviene en los procesos de regulación de la serotonina.	Dosis oral: 30 min. a 2 horas.	No persistente y peligrosos por ingestión.

3. Efectos de neurotóxicos y vesicantes como agentes de guerra química

El aumento progresivo de la información disponible sobre las propiedades toxicológicas de las sustancias químicas ha evidenciado el incremento en el número de agentes de uso industrial susceptibles de interaccionar y provocar efectos en el sistema nervioso así como otros órganos o sistemas; sin embargo, es importante distinguir entre una sustancia química que puede generar efectos adversos en el sistema nervioso, de las sustancias químicas utilizadas como agentes de guerra química que tienen efectos más rápidos y agresivos en el sistema nervioso (neurotóxicos) con dosis muy pequeñas y únicas. En este contexto, es importante decir que una sustancia tóxica no solamente puede afectar al sistema nervioso central, sino que puede atacar otros órganos o sistemas del cuerpo humano, provocando diversos efectos adversos.

Neurotóxicos y vesicantes.

3.1 Síntomas y consecuencias inmediatas y crónicas de la exposición de algunos neurotóxicos y vesicantes

La intensa exposición a concentraciones tóxicas de neurotóxicos puede resultar en excesiva secreción bronquial, salival, oculares e intestinales y sudoraciones, miosis, bronco espasmos, hipermotilidad intestinal, bradicardia, fasciculaciones musculares, debilidad, parálisis, pérdida de la conciencia, convulsiones, depresión del sistema respiratorio central, y muerte (síntomas). Los efectos mínimos observados incluyen miosis (contracción de las pupilas de los ojos, con una reducción subsecuente en el área de la pupila), opresión en el pecho, rinorrea y disnea.

Los resultados de estudios a exposiciones de vapor de Sarín llevados en voluntarios humanos indican que el marco para la miosis y algunos otros efectos mínimos, caen en el rango de los 0.05-0.5 mg/m³ por periodos de 10 a 30 min. de exposición. Los hallazgos están basados sobre los resultados a bajas concentraciones de agentes nerviosos y en lo informado por los voluntarios que estuvieron bajo supervisión clínica durante periodos de exposición, así como los periodos de post-exposición durante varios meses.

Los resultados de estudios en animales a la exposición oral y de vapores de los neurotóxicos, sugieren que el Sarín y el VX no inducen defectos reproductivos o en el desarrollo en mamíferos. Los estudios acerca de la exposición oral del Somán en animales de laboratorio así como la exposición al Tabún sugieren de la misma forma carencias en la reproducción y desarrollo. Ni el Sarín ni el VX se encontraron genotóxicos dentro de series microbiales y ensayos en mamíferos, pero el Tabún fue reportado como débilmente mutagénico. No existe evidencia que indique que el Sarín, Tabún o VX sean carcinogénicos.

Neurotóxicos y vesicantes.

Resumen de Valores normativos de los niveles de exposición intensos (AEGL) en mg/m³ para los agentes nerviosos Sarín, Tabún, Somán, GF y VX*							
Agente	Clasificación	10 min.	30 min.	1 hr.	4 hr.	8 hr.	Referencia de toxicidad
Tabún	AEGL-1 (no discapacitante)	0.0069 mg/m ³	0.0040 mg/m ³	0.0028 mg/m ³	0.0014 mg/m ³	0.0010 mg/m ³	Basado en la potencia relativa del Sarín**
Tabún	AEGL-2 (discapacitante)	0.087 mg/m ³	0.050 mg/m ³	0.035 mg/m ³	0.017 mg/m ³	0.013 mg/m ³	Basado en la potencia relativa del Sarín**
Tabún	AEGL-3 (letal)	0.76 mg/m ³	0.38 mg/m ³	0.26 mg/m ³	0.14 mg/m ³	0.10 mg/m ³	Basado en la potencia relativa del Sarín**
Sarín	AEGL-1 (no discapacitante)	0.0069 mg/m ³	0.0040 mg/m ³	0.0028 mg/m ³	0.0014 mg/m ³	0.0010 mg/m ³	EC ₅₀ para miosis observada en ratas hembras adultas SD expuestas a vapores de GB de rangos de concentración (0.01-0.48) mg/m ³ por 10, 60 y 120 min, y miosis observada en estudios secundarios en humanos
Sarín	AEGL-2 (discapacitante)	0.087 mg/m ³	0.050 mg/m ³	0.035 mg/m ³	0.017 mg/m ³	0.013 mg/m ³	Miosis, disnea, inhibiciones de RBC-ChE, y una sola fibra de electromiografía cambiaron en voluntarios humanos expuestos a 0.5 mg/m ³ por 30 min.
Sarín	AEGL-3 (letal)	0.38 mg/m ³	0.19 mg/m ³	0.13 mg/m ³	0.070 mg/m ³	0.051 mg/m ³	Basados en experimentos con ratas, a exposiciones dinámicas de todo el cuerpo a concentraciones entre 2 y 54 mg/m ³ por 3, 10, 30, 60, 90, 240 y 360 minutos.
Somán	AEGL-1 (no discapacitante)	0.0035 mg/m ³	0.0020 mg/m ³	0.0014 mg/m ³	0.00070 mg/m ³	0.00050 mg/m ³	Basados en la potencia relativa del Sarín**.
Somán	AEGL-2 (discapacitante)	0.044 mg/m ³	0.025 mg/m ³	0.018 mg/m ³	0.0085 mg/m ³	0.0065 mg/m ³	Basados en la potencia relativa del Sarín**.
Somán	AEGL-3 (letal)	0.38 mg/m ³	0.19 mg/m ³	0.13 mg/m ³	0.070 mg/m ³	0.051 mg/m ³	Basados en la potencia relativa del Sarín; soportados por estudios en ratas con un LC ₅₀ en exposiciones en cámaras dinámicas a 21 mg/m ³ por tres periodos de ≤30 min.
GF	AEGL-1 (no discapacitante)	0.0035 mg/m ³	0.0020 mg/m ³	0.0014 mg/m ³	0.00070 mg/m ³	0.00050 mg/m ³	Basados en la potencia relativa del Sarín**.
GF	AEGL-2 (discapacitante)	0.044 mg/m ³	0.025 mg/m ³	0.018 mg/m ³	0.0085 mg/m ³	0.0065 mg/m ³	Basados en la potencia relativa del Sarín**.
GF	AEGL-3 (letal)	0.38 mg/m ³	0.19 mg/m ³	0.13 mg/m ³	0.070 mg/m ³	0.051 mg/m ³	Basados en la potencia relativa del Sarín**.

Neurotóxicos y vesicantes.

Resumen de Valores normativos de los niveles de exposición intensos (AEGL) en mg/m ³ para los agentes nerviosos Sarín, Tabún, Somán, GF y VX*							
Agente	Clasificación	10 min.	30 min.	1 hr.	4 hr.	8 hr.	Referencia de toxicidad
VX	AEGL-1 (no discapacitante)	0.00057 mg/m ³	0.00033 mg/m ³	0.00017 mg/m ³	0.00010 mg/m ³	0.000071 mg/m ³	Derivados de la potencia relativa de EC ₅₀ por miosis observada en ratas hembras adultas expuestas a concentraciones de vapor de Sarín (0.01-0.48 mg/m ³) por 10, 60 y 240 min. y datos de miosis de estudios secundarios de soporte en marmosets y humanos respectivamente.
VX	AEGL-2 (discapacitante)	0.0072 mg/m ³	0.0042 mg/m ³	0.0029 mg/m ³	0.0015 mg/m ³	0.0010 mg/m ³	Derivados por la potencia relativa de estudios a exposiciones de vapores de Sarín en humanos voluntarios ejercitándose a concentraciones de 0.5 mg/m ³ por 30 min.; miosis, disnea e inhibición del RBC-ChE ^a , cambios en una sola fibra de electromiografía. ^a ChE representan los cambios en la actividad de la colinesterasa sérica.
VX	AEGL-3 (letal)	0.029 mg/m ³	0.015 mg/m ³	0.010 mg/m ³	0.0052 mg/m ³	0.0038 mg/m ³	Derivados por potencia relativa en experimentos con ratas, datos de letalidad (LC ₀₁ y LC ₅₀); exposición dinámica de todo el cuerpo a concentraciones de vapor de Sarín de entre 2 y 54 mg/m ³ por periodos de 3, 10, 30, 60, 90, 240 y 360 min.

* Los valores derivados de AEGL son únicamente para exposiciones de vapor. La absorción percutánea de los vapores de agentes nerviosos es conocida por ser una ruta efectiva de exposición, no obstante, las concentraciones de vapor percutáneas requeridas para producir efectos adversos similares son mayores por inhalación son mejores que por inhalación de concentraciones de vapor por varios ordenes de magnitud. (Para el agente VX, las concentraciones de vapor percutáneas que se necesitan para producir efectos adversos similares son mayores que por inhalación de vapores por un factor aproximado de 10.) De este modo, los valores de AEGL presentados son considerados protectivos tanto por inhalación como por rutas percutáneas de exposición.

**Basados en la potencia relativa igual a la del Sarín.

***El Tabún es considerado aproximadamente la mitad de potente que el Sarín en letalidad; de este modo, los valores de AEGL-3 para Tabún están estimados por la multiplicación de cada tiempo específico de valor de AEGL-3 del Sarín por un factor de 2.

**** El Somán y el GF son considerados aproximadamente el doble de potentes que el Sarín y el Tabún por causar miosis, y son equipotentes el uno con el otro. De este modo, los valores de AEGL-1 y AEGL-2 son estimados al multiplicar cada tiempo específico del valor de AEGL-1 ó AEGL-2 del Sarín por el factor de 0.5

*****Basados en la potencia relativa de la letalidad del GF = Somán = Sarín y los datos de letalidad que proveen a 10 min de AEGL-3 estimado de 0.27mg/m³ y a 30 min de AEGL-3 de 0.15mg/m³ y es también soporte de las estimaciones para el AEGL-3 del Somán derivados de su potencia relativa.

*****Basados sobre la potencia relativa. El VX es considerado aproximadamente 4 veces más potente que el Sarín.

Tabla comentada en el libro "Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 3", Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council, 2003.

Neurotóxicos y vesicantes.

Para los datos de toxicidad en humanos, se sabe que la letalidad intensa de los neurotóxicos y otros compuestos anticolinérgicos resultan del efecto sobre el sistema respiratorio a varios niveles: broncoconstricción y secreción excesiva traqueobronquial, parálisis del diafragma y otros músculos respiratorios, y la depresión del centro respiratorio del sistema nervioso central.

Basado en extrapolaciones de los datos históricos en animales, el LC_{50} para personal militar que sufrió exposiciones al Sarín estuvieron estimados en $35^{mg.min}/m^3$ entre 2-10 min. de exposición a temperaturas moderadas (65° - 75° F) para individuos con un volumen respiratorio por minuto de 1.5 litros. También se estimó el LC_{50} que sufrió el personal militar a la exposición a los agentes Tabún, Sarín y GF son de $70^{mg.min}/m^3$ para Tabún, $35^{mg.min}/m^3$ para Somán y GF.

En el caso del agente VX, a partir de datos en animales, el estimado de LC_{t50} para personal militar es de $15^{mg.min}/m^3$ para 2-10 min. a exposición de vapores a temperaturas moderadas (65° - 75° F) para individuos con una capacidad inspiratoria pulmonar de 1.5L. Como en el caso del Sarín, el LC_{t50} estimado fue calculado en base a 2 min. de exposición y después propuesto para 2-10 min. de exposición estimada. A través de ello, el LC_{t50} para el VX a $15^{mg.min}/m^3$ asume únicamente una exposición a corto plazo de 2 a 10 min.

Sin embargo, el Subcomité propone que la LC_{t50} estimada en $15^{mg.min}/m^3$ para personal militar, debe ser disminuida porque baja el grado de confianza de la estimación, la cual considera efectos por la inhalación de vapor y exposición percutánea. Además, el Subcomité consideró el estimado inapropiado para aplicaciones en la población civil. Por tanto, el estimado quedó en 10 min. a LC_{t50} para el VX en aerosol, basados en la letalidad en numerosas especies animales. El

Neurotóxicos y vesicantes.

valor estimado para LC_{t50} en humanos es de $7 \text{ mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$ para un hombre de 70 kg, respirando un volumen de 1.5 L/min durante 10 min.

Los niveles de exposición intensos (AEGL) fueron estudiados individualmente para cada neurotóxico; en **Sarín** el AEGL-1 se determinó por la manifestación de miosis (reducción en el diámetro pupilar) en ratas hembra adultas expuestas a rangos de concentración de vapores del gas durante periodos de 10, 60 y 240min, en una población de 52 ratas expuestas 10min, 35 ratas expuestas 60min, y 55 ratas expuestas 240min. El EC_{50} determinado por presencia de miosis a 10min fue de $0.068 \text{ mg Sarín}/\text{m}^3$, para 60min fue de $0.020 \text{ mg Sarín}/\text{m}^3$, y para 240min $0.012 \text{ mg Sarín}/\text{m}^3$.

Para determinar los datos de concentraciones y dosis tóxicas de diferentes agentes es común la interpolación y extrapolación de resultados obtenidos en muestras poblacionales estudiadas, basándose en el amplio estudio y conocimiento de los parámetros morfofisiológicos de aquellos individuos sometidos a estas pruebas, se pueden obtener resultados que no impliquen necesariamente el sacrificio de los sujetos de estudio. Tomando como referencia que el mecanismo de la anticolinesterasa para la toxicidad de agentes nerviosos en mamíferos es conocido, y que en todos los resultados las manifestaciones en signos y síntomas observados en estudios con humanos y animales se encuentra relación entre una respuesta continua a la exposición del agente y la anticolinesterasa. Es válido aplicar un valor derivado de n para obtener los datos a una escala no-letal a partir de los datos de letalidad de compuestos específicos. Esta situación es consistente con los datos científicos publicados recientemente por las políticas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), en la Oficina de Programas Pesticidas (EPA 2000). Por lo tanto, $n=2$ es utilizada para escalar todas las funciones de los AEGL en sus puntos de derivación.

Neurotóxicos y vesicantes.

Para el AEGL-1 de Sarín en humanos, se observó que los signos y síntomas de toxicidad producen rinorrea, dolor de cabeza, opresión en el pecho, calambres, náusea, y miosis (que significa el máximo decremento en el diámetro de la pupila) en voluntarios humanos expuestos a Sarín en concentraciones de 0.05 mg/m^3 por 20min. Estos datos fueron comentados en el apéndice del libro "*Acute exposure to CW Agents*".

El valor de AEGL-2 se obtuvo de 8 hombres saludables en servicio, expuestos a Sarín en 0.5 mg/m^3 por 30min dentro de una cámara de exposición. Durante la exposición, los individuos caminaron a una velocidad de 96 pasos por minuto y respiraron normalmente. Los signos y síntomas de toxicidad observados incluyeron miosis en 8 de los 8 sujetos, disnea y fotofobia en algunos individuos (número no reportado), inhibición de la colinesterasa sérica (RBC-ChE) en aproximadamente el 60% de los individuos con una base a 3hr y 3 días después de la exposición en 8 de los 8 sujetos además de pequeños pero medibles cambios, en la electromiografía de un sola fibra del antebrazo, que fue detectable en el laboratorio entre 4 y 15 meses después de la exposición (en 5 de 8 sujetos). Los efectos respiratorios desaparecieron en cuestión de minutos; los efectos oculares desaparecieron dentro de las siguientes 48 horas.



Figura 1. Ataque con Gas Sarín en Tokio, 1995.

Los valores para el AEGL-3 de Sarín se obtuvieron del estudio de 14 días de exposición de cuerpo completo a toxicidades letales de Sarín en ratas hembra, evaluadas en periodos de 10, 30, 60, 90, 240 y 360 minutos en cámaras dinámicas. Diez hembras fueron utilizadas para cada

Neurotóxicos y vesicantes.

combinación de concentración-tiempo, y 50 hembras fueron utilizadas para cada tiempo establecido. Las concentraciones de Sarín estuvieron dentro de los rangos de 2 a 54 mg/m³.

Los signos y síntomas de toxicidad observados revelaron que las hembras fueron más sensibles a los vapores tóxicos de Sarín que los machos en los rangos de exposición a concentraciones y tiempos estudiados. Las diferencias de género para la letalidad reportadas fueron significativas y son de $p < 0.01$; el análisis de probabilidad para 14 días dieron los siguientes valores para ratas hembra:

LC₅₀ 18.1mg/m³ por 10 min. y LC₅₀ 8.51 mg/m³ por 30 min. Estos datos fueron comentados en el apéndice del libro "*Acute exposure to CW Agents*".

Para el caso del VX, los valores de AEGL se obtuvieron a través de los datos existentes para el Sarín; para el caso de AEGL-1 por la manifestación de miosis (reducción en el diámetro pupilar) en ratas hembra adultas expuestas a rangos de concentración de vapores del gas de 10, 60 y 240min, en una población de 52 ratas expuestas 10min, 35 ratas expuestas 60min, y 55 ratas expuestas 240min. El EC₅₀ para Sarín por presencia de miosis a 10min fue de 0.068 mg Sarín/m³, para 60min fue de 0.020 mg Sarín/m³, y para 240min 0.012 mg Sarín/m³. Los valores de toxicidad para VX fueron calculados a partir de los obtenidos para Sarín, y basados en una potencia de 4 según datos de la diferencia de las potencias entre ambos gases. Los AEGL son para 10min EC₅₀ de 0.017 mg/m³, para 60min un EC₅₀ de 0.005 mg/m³ y 240min un EC₅₀ de 0.003 mg/m³.

Los valores de AEGL-2 para VX, también se obtuvieron a partir de los datos existentes para Sarín; donde se estudiaron a 8 hombres saludables en servicio, expuestos a Sarín en 0.5 mg/m³ por 30min dentro de una cámara de exposición. Durante la exposición, los individuos caminaron a una velocidad de 96 pasos por minuto y respiraron normalmente. Los signos y

Neurotóxicos y vesicantes.

síntomas de toxicidad observados incluyeron miosis en 8 de los 8 sujetos, disnea y fotofobia en algunos individuos (número no reportado), inhibición de la colinesterasa sérica (RBC-ChE) en aproximadamente el 60% de los individuos con una base a 3hr y 3 días después de la exposición en 8 de los 8 sujetos y pequeños cambios, pero medibles en la electromiografía de un sola fibra del antebrazo, que fue detectable en el laboratorio entre 4 y 15 meses después de la exposición (5 de 8 sujetos). Los efectos respiratorios desaparecieron en cuestión de minutos; los efectos oculares desaparecieron dentro de las siguientes 48 horas. De lo anterior, las concentraciones estimadas para VX fueron de 0.125 mg/m³ por 30min.

Los valores de AEGL-3 para VX igual que en los casos anteriores se obtuvieron a partir de los datos existentes para Sarín, los signos y síntomas de toxicidad observados se obtuvieron al inducir la letalidad con Sarín en ratas hembra. Los valores de LC₅₀ para Sarín fueron de 18.1 mg/m³ para 10min, 8.51 mg/m³ para 30min, 6.39 mg/m³ para 60min, 3.03 mg/m³ para 4 horas y 2.63 mg/m³ para 6 horas. Ahora, los valores para Sarín de LC₀₁ fueron de 11.54, 5.84, 4.01, 2.09 y 1.76 mg/m³ para 10, 30, 60 minutos, 4 y 6 horas respectivamente. A partir de esto, los valores estimados para VX de LC₀₁ fueron de 2.89 mg/m³ para 10min, 1.46 mg/m³ para 30min, 1 mg/m³ para 1 hora, 0.52 mg/m³ para 4 horas y 0.44 mg/m³ para 6 horas. Estos datos fueron comentados en el apéndice del libro "*Acute exposure to CW Agents*".

En el caso del vesicante **Mostaza de azufre**, la exposición a estos vapores puede resultar en irritación y/o daño conjuntivo ocular, del tracto respiratorio y piel. Los efectos tóxicos de la mostaza sulfurada son dependientes de la temperatura y la humedad, para una exposición dada, los efectos podrían ser mayores con un incremento de humedad y temperatura. Un periodo de latencia de horas a días de la exposición está documentado y son relevantes para todas las vías de exposición, pero pueden ser menores para el daño ocular y de vías aéreas

Neurotóxicos y vesicantes.

altas, comparados con el daño dérmico y sistémico. Los datos existentes tanto para humanos como animales indican que los ojos son el órgano/tejido más sensible; la muerte que resulta a la exposición de mostaza sulfurada es más frecuente cuando involucra el tracto respiratorio. Debido a los efectos tóxicos de este gas (al menos por periodos cortos de exposición) parece tener una función lineal entre la duración de la exposición y la concentración de la exposición, la mayor parte de los datos de tiempo de exposición vs. signos y síntomas, están expresados en exposiciones acumuladas (C_i).

Para la mostaza de azufre, la menor sintomatología refiere irritación ocular leve o moderada (inyección conjuntiva con ausencia de irritación) misma que ocurre en humanos tras una exposición de 12 a 30 $\text{mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$. Los efectos más severos ocurren de 60 a 75 $\text{mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$ (conjuntivitis, irritación, fotofobia) y con 100 $\text{mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$ (irritación ocular severa). La inhalación de vapores está estimada en LC_{t50} para humanos en un rango de 900 $\text{mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$ a 1500 $\text{mg}\cdot\text{min}/\text{m}^3$.

Los valores de AEGL para la mostaza sulfurada están basados en los signos y síntomas libres de cáncer. El HD es genotóxico y se encontró que induce daños carcinogénicos en humanos tras una única exposición a una alta concentración y exposiciones múltiples que fueron suficientes para producir efectos adversos. Basados en los datos disponibles del HD y con la ausencia de signos clínicos, los efectos carcinogénicos no han sido observados después de una exposición ligera o libre de lesiones vesicantes (ampollas). El resumen de los datos obtenidos en humanos acerca de las incidencias por exposiciones de individuos al HD es primordialmente durante tiempos de guerra, en fabricas de gas y personal militar manifestaron daños tras un contacto directo con "concentraciones en campos de batalla" de líquido o vapores de mostaza sulfurada. La evaluación del riesgo de cáncer está basada en una media geométrica de los factores por inhalación, los factores de la pendiente se desarrollaron usando diversos datos y

Neurotóxicos y vesicantes.

procedimientos, estos indican en exceso que el riesgo de cáncer es de 1 en 10,000 y que puede ser asociado con la exposición similar a valores de AEGL-3.

Resumen de Valores normativos de los niveles de exposición intensos (AEGL) en mg/m³ para el agente vesicante Mostaza Sulfurada.							
Agente	Clasificación	10 min.	30 min.	1 hr.	4 hr.	8 hr.	Referencia de toxicidad
Mostaza Sulfurada	AEGL-1 ^a (no discapacitante)	0.040 mg/m ³	0.013 mg/m ³	0.067 mg/m ³	0.017 mg/m ³	0.008 mg/m ³	^a Irritación ocular conjuntiva y molestias menores sin decrementos en la funcionalidad en voluntarios humanos
Mostaza Sulfurada	AEGL-2 ^b (discapacitante)	0.60 mg/m ³	0.20 mg/m ³	0.10 mg/m ³	0.025 mg/m ³	0.013 mg/m ³	^b Bien marcada y generalizados los casos de conjuntivitis, edema, fotofobia e irritación ocular en voluntarios humanos
Mostaza Sulfurada	AEGL-3 ^c (letal)	3.9 mg/m ³	2.7 mg/m ³	2.1 mg/m ³	0.53 mg/m ³	0.27 mg/m ³	^c Letalidad estimada en ratones.
* Los valores de AEGL-1 y AEGL-2, así como los valores de 4 y 8 horas de AEGL-3 están en o por debajo de los umbrales de detección para la mostaza sulfurada.							
Tabla comentada en el libro "Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 3", Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council, 2003.							

Existen algunas consideraciones especiales e importantes sobre el mecanismo de la disposición a nivel celular de la mostaza sulfurada, y es debido a su naturaleza lipofílica, misma que permite que cantidades toxicológicamente significativas penetren a través de la piel. Adicionalmente, tiene una citotoxicidad que no es dependiente del metabolismo y disposición, y su objetivo primario como potencial tóxico no es significativamente aminorado por tratamientos de desintoxicación. El estrato corneo de la piel ofrece una buena barrera ante la penetración del sulfuro de mostaza y es la ausencia de esta barrera la que hace a los ojos y el tracto respiratorio los órganos más susceptibles a las propiedades tóxicas de este compuesto. Aún cuando una cantidad muy pequeña de este gas puede ser absorbido de forma cutánea, algunos experimentos con material radiado etiquetado han mostrado la distribución del compuesto en la mayoría de los tejidos durante periodos cortos de exposición (por ejemplo 15 min), existen datos estimados en los que aproximadamente el 12% de una dosis absorbida por la piel es la que reacciona con los componentes de los tejidos y es esta proporción de la dosis la responsable de los efectos vesicantes.

Neurotóxicos y vesicantes.

El principal mecanismo de toxicidad de el mostaza de azufre puede ser atribuido a su capacidad como agente alquilante y su consecuente habilidad para reaccionar con el ADN, ARN y otras macromoléculas. Las células endoteliales son el blanco principal de la mostaza sulfurada. Debido a la naturaleza fundamental de estas, el mecanismo actual de toxicidad puede ser complejo, los estudios muestran una aparente mezcla con las moléculas estructurales del ADN, así como la inhibición de algunas enzimas, tales como las hexoquinasas; de tal modo que la mostaza sulfurada ha mostrado una toxicidad específica en la proliferación de las células. Adicionalmente, posee algunos mecanismos tales como las modificaciones a membranas celulares en ausencia de ADN dañado. Una hipótesis para las lesiones en la piel y sus efectos laserantes indica un agotamiento del NAD⁺ responsable de tratar de reparar los daños causados en extensos tramos de DNA, dando como resultado la inhibición de la glicólisis. Esta inhibición de la glicólisis estimula la producción de hexosa monofosfato la cual libera proteasas que son instrumentales en el daño celular asociado a la exposición del sulfuro de mostaza.

Los valores de exposición intensos (AEGL) de la mostaza sulfurada se obtuvieron en el caso de AEGL-1 y AEGL-2 por exposiciones en humanos, y en el caso del AEGL-3 se obtuvo por extrapolación de estudios hechos en ratones. Para el AEGL-1 se midieron los productos de tiempo-concentración de 12 mg.min/m³ valorando el umbral de aparición de efectos oculares (irritación en conjuntiva ocular y molestias menores sin decrementos en la funcionalidad) en voluntarios humanos expuestos a la mostaza sulfurada a diferentes regimenes de exposición. Los ojos son considerados generalmente como el órgano/tejido más sensible a las exposiciones de mostaza sulfurada.

Los valores de AEGL-2 se obtuvieron por la medición del producto de concentración-tiempo de 60 mg.min/m³ que fue considerada la exposición más baja a la cual se presentaron efectos

Neurotóxicos y vesicantes.

oculares (bien marcada y generalizados los casos de conjuntivitis, edema, fotofobia e irritación ocular) resultando en una efectiva representación del decremento y caracterizada como un tratamiento casual a militares durante más de una semana.

Los valores para AEGL-3 fueron estimados a través de la letalidad causada por una concentración de 21.2 mg/m^3 durante 1 hora y basados en los ratones no-muertos expuestos a dicha concentración que es 0.5 de LC_{50} para 1 hora reportada para ratones. Estos datos fueron comentados en el apéndice del libro "*Acute exposure to CW Agents*".



Figura 1. Lesiones causadas por gas mostaza.

Neurotóxicos y vesicantes.

3.2 Mecanismos y Sistemas de Respuesta

En caso de derrame o escape de **Tabún, Sarín, Somán, y Mostaza de azufre** se deben de tomar las siguientes medidas:

- ✓ Evacuar al personal que no tenga equipo de protección completo de la zona de derrame o escape. Se debe evacuar el área de derrame y respirar aire fresco, si se trata de un área cerrada; si es un espacio abierto, hay que caminar con el viento en la espalda hacia los sitios altos.
- ✓ Eliminar toda fuente de ignición.
- ✓ Neutralizar con hipoclorito de sodio al 5%.
- ✓ Absorber los líquidos con vermiculita, arena seca, tierra o un material similar y depositar en recipientes herméticos.
- ✓ Ventilar y lavar el área después de que se haya completado la limpieza.
- ✓ Solo el personal especialmente capacitado deberá neutralizar cualquier agente químico tóxico.
- ✓ Es necesario contener y eliminar los agentes químicos tóxicos como desechos peligrosos.

Los primeros auxilios

En caso de exposición a **Tabún, Sarín, Somán, Mostaza de azufre**:

- ✓ Contacto con los ojos: Enjuague inmediatamente los ojos con agua fría por un mínimo de 30 minutos sin parar, levantando en forma periódica los párpados superiores e inferiores. En el particular caso de el mostaza, un retraso de segundos puede ocasionar daños permanentes.
- ✓ Contacto con la piel: Quite rápidamente la ropa contaminada (asegurándose de anteponer una barrera física entre la piel del auxiliador y el material contaminado). En el caso del

Neurotóxicos y vesicantes.

Somán, no debe quitarse la ropa pasándosela por encima de la cabeza, si esto es inevitable, debe cortar la ropa para retirarla del cuerpo. Si es posible, guarde la ropa en una bolsa plástica y selle la bolsa, luego guarde esa bolsa en una segunda bolsa plástica y séllela también. No manipule las bolsas plásticas. Lave inmediatamente la piel con abundante agua y jabón. Lave sin demora el cabello con shampoo si se contamina.

- ✓ En caso de problemas ventilatorios: Retire la persona del lugar de la exposición. Valore la frecuencia de ventilación y en caso de ser menor a 12 o mayor a 30 ventilaciones por minuto inicie el apoyo ventilatorio o la respiración de rescate (utilizando las precauciones universales) si la respiración se ha detenido y la RCP (reanimación cardiopulmonar) si la acción del corazón es ausente. En el caso del Sarín, se recomienda la observación médica por 24 a 40 horas después de la exposición por inhalación, ya que un edema pulmonar presentarse como efecto tardío.
- ✓ Antídotos y procedimientos especiales: En caso de intoxicación, considere la administración de *atropina* y *pralidoxima* en un centro médico.

La *atropina* es un antagonista competitivo en los receptores muscarínicos, se aplica en forma intravenosa en dosis de 0.5mg cada 15 a 20 minutos hasta que desaparezcan las secreciones mucosas y bronquiales.

La *pralidoxima* es una oxima que reactiva las colinesterasas inhibidas y es efectiva contra los síntomas nicotínicos, se aplican de 1 a 2gr intravenosos en un lapso de 5 a 20 minutos cada 5 horas hasta que desaparezcan los signos nicotínicos; la reactivación de las enzimas por este medio se hace más difícil a medida que pasa el tiempo debido al proceso de envejecimiento enzimático que desencadenan los neurotóxicos y se vuelve prácticamente inútil después de 48 horas de haber ocurrido la exposición.

Neurotóxicos y vesicantes.

4. Riesgos para la paz

Como se puede apreciar, los Estados miembro de *La Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción*, se esfuerzan en cumplir con las obligaciones marcadas en el acuerdo, sin embargo algunos grupos subversivos siguen utilizando armas químicas; esto no significa que cada estado miembro haya dejado de cumplir con sus obligaciones adquiridas con este tratado, pero si asume el uso y existencia de las armas químicas.

Neurotóxicos y vesicantes.

4.1 Impacto económico de la Convención de Armas Químicas

Muchas industrias petroquímicas utilizan alguna o algunas sustancias citadas en los Anexos de sustancias de la Convención y por lo cual, tienen que hacer declaraciones y tener inspecciones en sus instalaciones productivas, lo que bien se puede traducir en un incremento de costos para estas industrias.

Aquellas instalaciones que comuniquen en algún momento alguna actividad que caiga bajo el control de la Convención, deberán comunicarlo a la Secretaría de Relaciones Exteriores y realizar las declaraciones correspondientes. Ahora bien, los costos de las inspecciones varían de acuerdo al número de plantas productivas que tenga una determinada empresa que está siendo visitada por la Convención de Armas Químicas, además de depender si dichas instalaciones han tenido modificaciones.

Entre las posibles problemáticas que se pueden mencionar para estas industrias, existe la del espionaje industrial, debido a que los inspectores tienen acceso a las plantas productivas para tomar fotos de la misma, tomar muestras del producto, y estas son las razones principales, sumado a que al declarar la comercialización, exportación e importación, además de la producción de productos químicos, se tiene entonces una imagen muy completa acerca del funcionamiento de una empresa, razones por las cuales se puede llegar a presentar el caso de espionaje industrial, a través de corromper al inspector de estas industrias.

Es también importante considerar el gasto de destrucción de las armas químicas, el cual tiene lugar una vez que un Estado miembro reconoce la posesión de dichas sustancias o bien, cuando se detecta la posesión por parte de un Estado miembro de las armas químicas. En Estados Unidos de Norteamérica es donde se localizan las instalaciones capaces de la

Neurotóxicos y vesicantes.

destrucción de armas químicas, lo que nos lleva nuevamente a un costo que tiene que absorber cada Estado que se encuentre en dichas condiciones.

Debido a lo anterior, la Convención de Armas es la única que afecta a la industria química directamente desde sus orígenes, ya que al declarar sus actividades de producción, así como sus actividades comerciales, se abre un espacio a una serie de repercusiones económicas.

Neurotóxicos y vesicantes.

4.2 Cumplimiento de la Convención de Armas Químicas

Durante el desarrollo de la Convención, se estipuló la destrucción de las armas químicas declaradas por cada Estado miembro; sin embargo durante los informes anuales de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ), el reporte relativo a la aplicación de la Convención sobre la Prohibición del desarrollo, la producción, el almacenamiento y el empleo de armas químicas y sobre su destrucción en 2006 (el último publicado de manera oficial en su página de internet), que abarca hasta el 31 de diciembre de dicho año, claramente expone que no han sido destruidas en su totalidad las 69,551.026 toneladas métricas declaradas por los Estados parte, y que únicamente se han destruido 15,691.218 toneladas métricas; esta información se encuentra registrada en el Anexo 2 de dicho informe.

Por otra parte, en el marco de la Convención, se estipuló como fecha límite para la destrucción de las armas químicas declaradas por los Estados parte en diciembre de 2007; sin embargo, Estados Unidos, Rusia, India y algunos otros Estados miembro de la Convención que declararon tener en posesión armas químicas, han solicitado la extensión de la fecha límite hasta diciembre de 2012; lo anterior es debido a que faltan por destruir 53,859.808 toneladas métricas de armas químicas declaradas por los Estados parte, y esta destrucción se debe hacer bajo los principios y métodos de destrucción de armas químicas estipulados en la Convención; además tienen que seguir de manera estricta las siguientes obligaciones del Tratado: Párrafo 14 de la Parte 4ª del Anexo de Verificación. Por otra parte, la Convención estipula que los procesos de destrucción no pueden dañar a personas o al medio ambiente. Acordemente, los países que poseen armas químicas requieren de utilizar tecnologías para su destrucción seguras.

Neurotóxicos y vesicantes.

5. Algunos aspectos tecnológicos relacionados con las armas químicas

Dentro de los beneficios que podemos tener, producto del desarrollo de las armas químicas, se encuentran el desarrollo de textiles que permitan la manipulación de estas sustancias tóxicas manteniendo al individuo libre de contacto, ya sea por inhalación o por contacto, principalmente.

Dentro de este tipo de productos textiles, estos son algunos ejemplos:

- ✓ **Tychem® SL** esta constituido por Tyvek® laminado con un film de alta resistencia química: Saranex® 23P. Brinda excelente protección para trabajar en presencia de mezclas químicas, respuestas a emergencia médicas, aerosoles de pintura y ambiente radiactivos; se usa en ambiente de salas limpias, tratamiento de residuos, respuesta a emergencia con materiales peligrosos, limpieza de áreas contaminadas.
- ✓ **Tychem® BR Amplio Rango de Protección** es color amarillo, altamente visible tanto con luz tenue o brillante. Está respaldada por una extensa documentación de permeación, cuenta con datos para más de 200 agentes químicos, incluyendo los que más frecuentemente se presentan en los accidentes industriales. Brinda excelente protección para quienes trabajan con materiales peligroso; ofrece resistencia al desgarrar, perforación y abrasión que usted busca en las prendas de barrera química, para una prolongada protección y valor de uso consistente.
- ✓ **Tychem® TK** es tela de protección química de DuPont®. Fue especialmente desarrollada para protección contra agentes tóxicos, tanto gases corrosivos como productos químicos en estado líquido y sólido. Esta tela de alto performance como barrera química es ideal para ser utilizada en aplicaciones de industriales o HazMat. Ofrece protección contra un gran número de agentes químicos.

Neurotóxicos y vesicantes.



Figura 2. Imagen de un traje fabricado con Tychem® TK .

La importancia de la resistencia ofrecida por este tipo de textiles, está debidamente documentada y condensada en los registros de su fabricante, el cual publica los valores máximos de exposición a sustancias químicas peligrosas utilizando sus diferentes textiles, así como la variabilidad en el tiempo de exposición de acuerdo con la sustancia de la cual se trate; esta información está disponible para todo público en la página de Dupont, en <http://www2.dupont.com> en la sección de protección personal, dentro de información técnica está la descarga de la guía de permeabilidad de sustancias químicas.

En este campo, también se han desarrollado diversos textiles para guantes de protección, por mencionar un ejemplo, los guantes Best®Viton II™, son guantes multicapa hechos de Viton II™ y butilo, que ofrecen una protección contra compuestos aromáticos, hidrocarburos alifáticos, solventes clorados, cetonas, gases, ácidos, aminas, aldehídos y para aplicaciones militares; el fabricante sugiere su uso en laboratorios, industria petroquímica, derrames y aplicaciones con químicos peligrosos.

Otro desarrollo muy importante, es el de las máscaras anti-gas; las máscaras anti-gas tienen una larga historia que va desde la 1ª Guerra Mundial hasta nuestros días. La mayoría de las máscaras de la actualidad poseen un cuerpo facial de caucho termoplástico anti-alérgico, equipado con filtros químicos laterales y válvula central de exhalación, los filtros están

Neurotóxicos y vesicantes.

acoplados mediante rosca con tapa final ajustada a presión, esto permite que puedan ser utilizadas en atmósferas con gases y emanaciones tóxicas. Sin embargo, existen máscaras anti-gas diseñadas no sólo para humanos (adultos y niños), sino para caballos y perros; y estas existen desde finales de los años 30.



Figura 3. Máscara anti-gas para caballos.

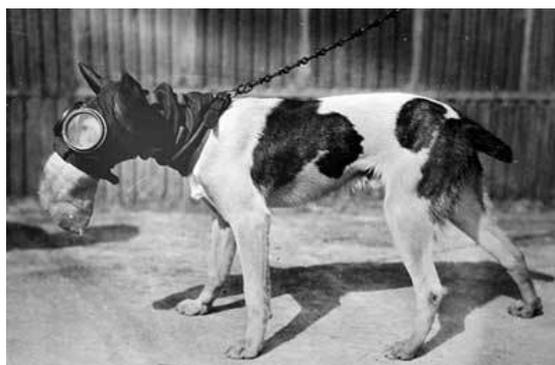


Figura 4. Máscara anti-gas para perros



Figura 5. Máscara anti-gas para humanos.

Neurotóxicos y vesicantes.

También se han desarrollado diversas tecnologías que permiten la detección de gases neurotóxicos, y que tienen dimensiones impactantemente pequeñas, ese el caso de los *nanotubos de carbono* en la que un entramado de una sola capa de este material se coloca en un transistor y este a su vez en un sensor que tiene una sensibilidad de partes por millón y opera a temperatura ambiente y su tamaño es tan pequeño que es de apenas unos 5cm.

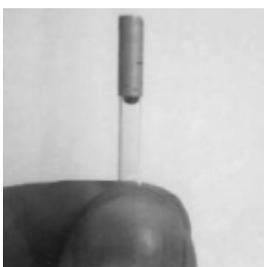


Figura 6. Sensor hecho con nanotubos de carbono.

Neurotóxicos y vesicantes.

6. Conclusiones

Los acción de los neurotóxicos dependiendo de su concentración y tiempo de exposición, son causados por la acción inhibitoria irreversible de las enzimas colinesterasas causando acumulación de acetilcolina en los espacios muscarínicos y nicotínicos produciendo tres tipos de síntomas distintos: muscarínicos, nicotínicos y del sistema nervioso central (SNC). Los síntomas muscarínicos son náusea, vómitos, dolores abdominales, incontinencia fecal y urinaria, visión borrosa, secreciones incrementadas, y más severamente bradicardia, hipotensión y edema pulmonar; los síntomas nicotínicos son espasmos musculares, fasciculaciones, hipertensión, taquicardia y en casos severos hipo ventilación y paro respiratorio; los síntomas del sistema nervioso central incluyen ansiedad, temor, convulsiones, confusión, debilidad y coma. Los casos severos se definen a partir de la presencia de menos del 50% de la acetilcolinesterasa plasmática. Es en estos casos cuando la muerte ocurre por edema pulmonar y paro respiratorio.

Los efectos mínimos observados tras la exposición a neurotóxicos y vesicantes incluyen miosis (contracción de las pupilas de los ojos, con una reducción subsecuente en el área de la pupila), opresión en el pecho, rinorrea y disnea.

Los resultados de estudios a exposiciones de vapor de Sarín llevados en voluntarios humanos indican que el marco para la miosis y algunos otros efectos mínimos, caen en el rango de los 0.05-0.5 mg/m³ por periodos de 10 a 30 min. de exposición; esto está basado en los voluntarios que estuvieron bajo supervisión clínica durante periodos de exposición, así como los periodos de post-exposición durante varios meses.

Algunos de los efectos permanentes de los neurotóxicos son: vitalidad disminuida, debilidad muscular, movimientos torpes, caminado lento, cefaleas, síntomas cardiovasculares y

Neurotóxicos y vesicantes.

gastrointestinales, disminución de la libido, intolerancia al alcohol, a la nicotina y a varios medicamentos, envejecimiento prematuro, desordenes depresivos, ataques vegetativos, ataques cerebrales, amnesia y demencia.

Gran parte de la información que se tiene hasta ahora acerca de los efectos de los agentes de guerra química y algunos de sus tratamientos, fueron obtenidos del personal militar que estuvo expuesto a estas sustancias tóxicas y que por ello experimentaron sus efectos, e incluso probaron los primeros tratamientos.

Es muy difícil probar tratamientos en humanos, ya que eso implica una exposición a un agente de guerra química y es la razón por la cuál se extrapolan la mayoría de los datos de este tipo a partir de animales y con ellos se establecen los límites de un AEGL.

Uno de los aspectos positivos del desarrollo de armas químicas, es el impulso de tecnologías que permiten la protección personal en contra de todo tipo de sustancias químicas peligrosas, así como el diseño y producción de diversos medios de detección de sustancias químicas peligrosas, entre ellas agentes de guerra química.

Por los efectos devastadores que las armas químicas han tenido en el pasado y por el uso potencial de agentes químicos modernos todavía más peligrosos, no sólo por Estados en guerra sino también por entes no estatales o en conflictos violentos de otro tipo, resulta imperioso que la comunidad internacional tome las medidas necesarias para hacer efectiva la eliminación de este armamento químico.

Neurotóxicos y vesicantes.

La Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción, pretende prevenir actividades terroristas y controlar el uso de sustancias químicas peligrosas así como de sus precursores a través de la regulación de su uso, producción, empleo y almacenamiento, así como de la destrucción adecuada de las armas químicas existentes; en donde los países miembros de este tratado se han comprometido a cumplir con los estatutos de dicho acuerdo, sancionar dentro de sus territorios a todos los posibles malos usos de las sustancias químicas peligrosas y sus precursores, y a promover la paz entre sus Estados miembros.

Neurotóxicos y vesicantes.

7. Bibliografía y Referencias.

- [1] Morales Patiño Jesús. *Impacto económico y regulatorio de la Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción, en los derivados etilénicos (metildietanolamina y trietanolamina)*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. 2001. México.
- [2] Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 3, Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council, 2003.
- [3] Impact of Revised Airborne Exposure Limits on Non-Stockpile Chemical Materiel Program Activities, Committee on Review and Assessment of the Army Non-Stockpile Chemical Materiel Demilitarization Program: Workplace Monitoring, National Research Council, 2005.
- [4] Protecting Building Occupants and Operations from Biological and Chemical Airborne Threats: A Framework for Decision Making, Committee on Protecting Occupants of DOD Buildings from Chemical and Biological Release, National Research Council, 2007.
- [5] Chemical and Biological Terrorism: Research and Development to Improve Civilian Medical Response, Committee on R&D Needs for Improving Civilian Medical Response to Chemical and Biological Terrorism Incidents, Institute of Medicine, 1999.

Neurotóxicos y vesicantes.

[6] Review of the Department of Defense Research Program on Low-Level Exposures to Chemical Warfare Agents, Subcommittee on Toxicologic Assessment of Low-Level Exposures to Chemical Warfare Agents, Committee on Toxicology, National Research Council, 2005.

[7] Gulf War and Health: Updated Literature Review of Sarin, Committee on Gulf War and Health: Updated Literature, Review of Sarin, 2004.

[8] Gulf War and Health: Volume 2. Insecticides and Solvents, Committee on Gulf War and Health: Literature Review of Pesticides and Solvents, 2003.

[9] Adequacy of the Comprehensive Clinical Evaluation Program: Nerve Agents, Committee on the Evaluation of the Department of Defense Comprehensive Clinical Evaluation Program, Institute of Medicine, 1997.

[10] Review of the U.S. Army's Health Risk Assessments for Oral Exposure to Six Chemical-Warfare Agents, Subcommittee on Chronic Reference Doses for Selected Chemical Warfare Agents, National Research Council, 1999.

[11] Review of Acute Human-Toxicity Estimates for Selected Chemical-Warfare Agents Committee on Toxicology, National Research Council, 1997.

[12] Veterans and Agent Orange: Update 2004, Committee to Review the Health Effects in Vietnam Veterans of Exposure to Herbicides (Fifth Biennial Update), 2005.

Neurotóxicos y vesicantes.

[13] Texto de *La Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción.*

<http://www.opcw.org/sp/index.html>

[14] Registro CAS. <http://www.cas.org/expertise/cascontent/registry/regsys.html>

[15] Hojas de seguridad de neurotóxicos.

<http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/2757sp.pdf>

[16] Departamento de salud y servicios humanos, centro para el control y la prevención de enfermedades.

<http://www.bt.cdc.gov/chemical/es/>

[17] US. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine

http://chppm-www.apgea.army.mil/chemicalagent/caw/FS_AEGLsbasicUSACHP_PM1_03.pdf

[18] Propiedades de los nanotubos de carbono ¿Qué los hace tan interesantes?

http://www.madrimasd.org/VigTecnologica/Documentos/Jornada-Nanotubos-cimtan/Propiedades_Interes_Nanotubos_JAAlonso.pdf

[19] http://www2.dupont.com/Personal_Protection/en_US/tech_info/literature/

[literature_tychem.html](http://www2.dupont.com/Personal_Protection/en_US/tech_info/literature/literature_tychem.html)

[20] http://www.rs.ejercito.mil.ar/contenido/Nro644/Revista/agentesqui_4.htm (imagen de lesiones vesicantes)

Neurotóxicos y vesicantes.

[21] <http://www.opcw.org/documents-reports/annual-reports/>