

Los múltiples usos de las sustancias químicas - Armas químicas – Códigos de conducta Peter Mahaffy (peter.mahaffy@kingsu.ca)

Las plantas químicas.

Lo primero que muchas personas imaginan al oír estas palabras es un complejo enorme de edificios en los que se sintetizan polímeros, productos farmacéuticos o productos petroquímicos a partir de materias primas más básicas. Sin embargo, las plantas medicinales son también plantas químicas. A partir de materias primas como las moléculas del dióxido de carbono, que toman del aire, las plantas medicinales sintetizan sustancias químicas complejas que constituyen una parte esencial de nuestro ecosistema y nuestra economía. Diariamente dependemos de sustancias químicas producidas por ambos tipos de plantas, ya sea para fines nutritivos o medicinales. Muchos productos farmacéuticos se han extraído desde un principio de plantas destinadas a usos medicinales, o han estado estrechamente vinculados a los compuestos extraídos. Se calcula, de hecho, que un 80% de la población mundial depende totalmente de hierbas medicinales a la hora de tratar enfermedades.

Así, las plantas químicas, ya sea las creadas por los seres humanos o las que se encuentran en la naturaleza, producen sustancias químicas que son esenciales en nuestra vida cotidiana. A menudo, una misma sustancia puede servir para salvar vidas o para destruirlas, según la dosis, las transformaciones químicas a las que sometamos la sustancia en cuestión y el modo en que se emplee. Pongamos un ejemplo.

La pseudoefedrina y la meta-anfetamina cristal

La *Ephedra*, planta medicinal antigua, de acción beneficiosa

El “ma-huang”, arbusto de hoja perenne de la China septentrional, es una de las especies de la *Ephedra*. Se dice que es la medicina más antigua del mundo, al usarse tradicionalmente en China desde hace más de 5.000 años. Sirve para curar un gran número de enfermedades, desde resfriados, asma y alergias hasta dolencias renales. Hace tiempo que se extraen de la *Ephedra* compuestos afines a la anfetamina denominados alcaloides, como la efedrina y la pseudoefedrina, moléculas isoméricas altamente bioactivas, muy parecidas entre sí, excepto en la disposición espacial tridimensional de los átomos unidos a los dos núcleos carbónicos.

La efedrina es uno de los primeros componentes activos de numerosos preparados herbáceos chinos que han tenido un gran uso en la medicina occidental. Tras haberse utilizado la *Ephedra* en medicina como preparado herbáceo durante miles de años, la *American Medical Association* (Asociación médica estadounidense) admitió la efedrina como fármaco común en 1927, sintetizada en los laboratorios. Sin embargo, la demanda de efedrina cobró tal auge que resultó imposible sintetizar la cantidad deseada de este fármaco. Trece años después de haber sido admitida por dicha asociación médica, se importaron en los Estados Unidos, procedentes de China, 700.000 kg de la planta *Ephedra sinica*. En los años cuarenta, los Estados Unidos empezaron a cultivar la planta y a importarla de la India y del Pakistán.

Durante la segunda mitad del siglo XX, siguió en auge el empleo de la *Ephedra* y de sus extractos medicinalmente activos. Estos últimos años, los preparados de la *Ephedra* se han comercializado como estimulantes sensoriales y como adelgazantes. Una de estas fórmulas se conoce como “*ECA Stack*,” que son las siglas de efedra, cafeína y aspirina (ASA), de las cuales se pregona la capacidad de eliminar grasa corporal.

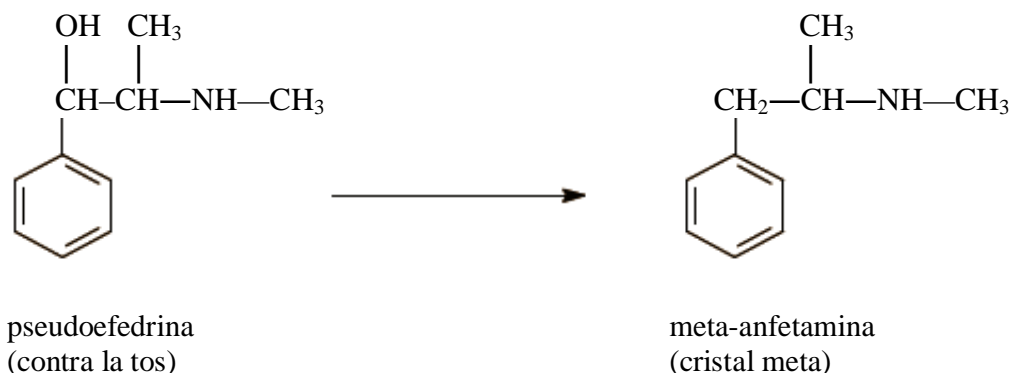
Otro extracto de la *Ephedra*, que también puede fabricarse sintéticamente, es la pseudoefedrina, con efectos estimulantes en su núcleo menores a los de la efedrina. La pseudoefedrina se usa en muchas fórmulas contra la congestión y el asma como descongestionante nasal y broncodilatador, a fin de distender y abrir el paso del aire a los pulmones.

Extractos de la *Ephedra* – Usos nocivos de una planta medicinal de efectos beneficiosos

El uso en sobredosis de los compuestos beneficiosos extraídos de esta planta medicinal puede tener efectos secundarios muy nocivos. En los últimos años, los efectos secundarios y la interacción de los extractos de la *Ephedra* han suscitado una gran preocupación. A raíz de esto, se han fijado restricciones como la prohibición establecida en 2004 por la *United States Food and Drug Administration (US FDA)* (Administración estadounidense de alimentos y fármacos) de vender suplementos dietéticos que contuviesen alcaloides de la *Ephedra* (prohibición levantada en 2005), y la prohibición similar establecida en 2004 por los Países Bajos.

El “cristal oscuro” – Uso abusivo de la efedra, planta medicinal de efectos beneficiosos

La pseudoefedrina, producto farmacéutico contra la congestión, puede emplearse fácilmente para otros usos mediante transformaciones químicas. Así, está cayendo en desgracia por ser un precursor fácilmente accesible en la fabricación de una de las drogas de mayor expansión en el mundo, la meta-anfetamina, o el “cristal meta”. La pseudoefedrina y la meta-anfetamina tienen una estructura muy parecida; por ello, para convertir la pseudoefedrina en meta-anfetamina sólo es necesario reducir, o sustituir, un grupo funcional de alcohol, en la cadena del carbono, por un átomo de hidrógeno.



Con fórmulas que se encuentran fácilmente en Internet para hacer dicha transformación química, y con material y equipo de venta en el mercado, han proliferado en muchas partes del mundo laboratorios pequeños clandestinos en los que se convierten pastillas contra la congestión en trozos de meta, transparentes y cristalinos. El cristal meta puede fumarse, inhalarse o inyectarse y, actualmente, es la droga sintética que más se fabrica en los Estados Unidos de América. La fuerte demanda de esta droga también ha hecho proliferar en el mundo la producción de esta sustancia para su exportación ilícita. Se sabe que, en muchos países, se han importado en pocos años cientos de toneladas de fármacos contra el resfriado, una cantidad que supera con creces la demanda normal de las personas que puedan padecer catarros o asma.

El uso abusivo de la meta-anfetamina tiene efectos parecidos a los de la cocaína, aunque en el primer caso son más duraderos. Las personas que consumen meta-anfetaminas pueden actuar de forma violenta o imprevisible, pierden el apetito, sufren alteraciones del sueño, cambios de humor frecuentes e impredecibles, temblores y convulsiones, subidas de tensión y palpitaciones

irregulares. A largo plazo, los efectos pueden llegar a ser el coma, ataques cardíacos, o incluso la muerte.

No sólo los adictos a la meta-anfetamina sufren sus efectos. En muchos municipios y entidades oficiales de numerosos países deben destinarse sustanciosas partidas presupuestarias al tratamiento y rehabilitación de las personas adictas. De éstas, las más dependientes suelen tener un historial importante de violencia doméstica y de delitos. Los laboratorios en los que se produce el cristal meta suelen ser simples garajes o sótanos. Estos laboratorios son además peligrosos, ya que en ellos se almacena de forma precaria material e instrumental para síntesis que pueden producir explosiones o incendios. Por cada kilogramo de meta-anfetamina lista para su consumo, se producen unos cinco kilogramos de residuos tóxicos que se vierten al medio ambiente. Además, ante el riesgo que supone para estos laboratorios clandestinos la eliminación de residuos en condiciones seguras (pues podrían ser localizados), el vertido se hace ilegalmente, con el perjuicio que esto conlleva para el medio ambiente.

Materias de usos múltiples – Usos beneficiosos y usos perjudiciales a merced del consumidor

Como hemos visto en el ejemplo anterior, la *Ephedra* y las sustancias químicas que se extraen de esta planta se han usado durante miles de años para fines medicinales, con efectos beneficiosos para las personas. Sin embargo, en un lapso corto de tiempo, se han usado para fines destructivos y nocivos. Lo mismo ocurre con otras muchas sustancias químicas que sintetizamos y extraemos de la naturaleza. A estas sustancias químicas las denominamos **materias de usos múltiples**. El que estas sustancias químicas se empleen de forma beneficiosa, nociva o abusiva sólo depende de nosotros.

La enseñanza de la ciencia y el papel que ésta desempeña

¿Qué función deberían tener los sistemas de enseñanza y centros educativos a la hora de concienciar a la población sobre el uso responsable de sustancias como los extractos de la *Ephedra*? Cabría imaginar diferentes niveles en los que los docentes podrían inculcar en los estudiantes y en la población en general la responsabilidad ética que tienen ante sustancias químicas como la pseudoefedrina, de usos múltiples. Sin embargo, las preguntas en torno a esta cuestión son numerosas y difíciles, entre ellas:

- **Acceso a la información:** Pongamos por caso que el profesorado hablase de estas materias de usos múltiples a los alumnos más jóvenes y pusiese como ejemplo la pseudoefedrina y el cristal meta. Si nunca hubiesen oído hablar de esta droga, podría ocurrir que, además de saber que existe una droga nueva, estos alumnos sabrían que es fácil obtener la fórmula.
- **Uso indebido de material disponible:** Por otra parte, si el alumnado y el público en general oyese hablar del material de venta al público que se necesita para fabricar una droga como el cristal meta, ¿no sería útil esta información para evitar su consumo? Conviene señalar que la policía y demás fuerzas del orden norteamericanas publican a veces en Internet información exhaustiva sobre la forma de fabricar el cristal meta, con fotos de instrumental incluidas, de modo que los padres y cualquier otra persona pueda reconocer un laboratorio clandestino si alguna vez ven uno.
- **¿De quién es la responsabilidad?:** ¿Quién es responsable del uso indebido de productos y de material para fines clandestinos, como es la fabricación de drogas? ¿Las instancias oficiales, ya sean estatales o locales? ¿Los servicios médicos o los sociales? ¿Las farmacias que venden

medicamentos contra la congestión y los supermercados que venden tijeras, tubos, latas de conserva, yodo y alcohol para heridas?

• **Comprender y tener sentido de la responsabilidad y de la ética:** Desde el punto de vista ético, ¿tienen mayor responsabilidad los alumnos y profesores que saben científicamente de las posibilidades de empleo y abuso de las sustancias químicas de uso cotidiano? El hecho de no conocer a nadie que consuma cristal meta, ¿confiere a una persona menores responsabilidades desde el punto de vista ético?

2. Otros ejemplos

Hable con otras personas de su grupo e indique otros ejemplos de sustancias de usos múltiples que vea en su entorno y que sean beneficiosas, pero que también permitan ser empleadas de modo nocivo. ¿Cuál sería el mejor modo de abordar estos ejemplos en clase o dentro de los sistemas de enseñanza?

3. Las armas químicas y biológicas

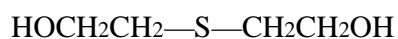
El ejemplo de la pseudoefedrina/cristal meta tiene un extraño paralelismo con otras sustancias de usos múltiples con efectos muy beneficiosos, que durante el pasado siglo se utilizaron para fabricar armas destructivas. De hecho, nos costaría reconocer muchas de ellas por ser de uso frecuente en nuestra vida diaria. Un disolvente como el isopropanol o alcohol para heridas, por ejemplo, es un líquido transparente e inflamable que se utiliza como desinfectante en hospitales y en hogares, y es también un disolvente económico con numerosas aplicaciones. De éstas, cabe citar como ejemplo:

- La extracción de los ingredientes activos (productos naturales) de las plantas
- La fabricación de productos alimenticios
- La disolución y aplicación de capas y tintes
- La limpieza y secado en la fabricación de componentes electrónicos y metales
- La distribución de productos farmacéuticos de uso tópico y cosméticos
- Aerosoles para limpieza, ceras, productos farmacéuticos, desodorantes y plaguicidas.

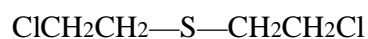
Todas estas propiedades que han hecho del isopropanol un disolvente excepcional para usos tan beneficiosos se han utilizado también en la síntesis de algunos de los agentes neurotóxicos más venenosos que haya podido fabricar el ser humano. Uno de ellos es el sarín, que fue el agente empleado en el metro de Tokio a una hora punta de la mañana un 20 de marzo de 1995. Los agentes neurotóxicos como el sarín, el somán y el VX afectan al sistema nervioso del cuerpo humano, con efectos devastadores. En el atentado de Tokio murieron 12 personas y otras 5.000 resultaron heridas. Para fabricar sarín, es necesario que en la última fase de elaboración de este agente neurotóxico se mezcle isopropanol con dos precursores. Este agente se transportó en los vagones del metro dentro de once bolsas de plástico y se propagó pinchando las bolsas con un paraguas.

El tiodiglicol es otra sustancia química que se utiliza comúnmente en la industria textil de los países en desarrollo y otros países, para tintes con base de agua. También es un componente esencial para las tintas con base de agua que se utilizan para fabricar rotuladores y algunas tintas de imprenta. También se emplea para fabricar resinas y adhesivos especiales, y como aditivo para lubricantes.

Sin embargo, mediante una transformación química, el tiodiglicol se convierte en gas mostaza, el arma química que durante la Primera Guerra Mundial constituyó una nueva forma de matar.



tiodiglicol



gas mostaza

La enseñanza de las ciencias y el papel que ésta desempeña

¿Qué función deben desempeñar los sistemas de enseñanza y centros educativos a la hora de concienciar a la población sobre la fabricación de armas químicas como el sarín, y el empleo múltiple de sustancias químicas como el alcohol isopropil utilizado en el proceso de fabricación? ¿Debería protegerse la información referente a los precursores, reacciones y material necesario para su síntesis, de modo que la población en general no sepa cómo fabricar armas químicas? ¿Quién debería tener la responsabilidad de vigilar los precursores y material necesarios para fabricar armas químicas o biológicas? El hecho de no conocer a nadie que fabrique armas químicas, ¿significa que éticamente sus responsabilidades en la materia varían?

Referencias:

Gran parte de la información arriba expuesta procede de Internet. Entre las referencias más importantes, se incluyen:

1. <http://www.opcw.org>

Sitio en Internet de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas

2. http://www.deadiversion.usdoj.gov/pubs/brochures/pseudo/pseudo_trifold.htm

Ministerio de Justicia de los Estados Unidos de América. Métodos para prevenir el uso de la pseudoefedrina para fabricar el cristal meta.

3. <http://www.newhousenews.com/archive/suo060605.html>

Programa informativo sobre la fabricación del cristal meta en México para su venta en el mercado estadounidense.

4. <http://www.chemicalland21.com/>

Empresa coreana que compra y vende sustancias químicas, entre ellas, la pseudoefedrina.

5. <http://nccam.nih.gov/health/alerts/ephedra/consumeradvisory.htm>

Consejos de la Administración estadounidense de alimentos y fármacos para la prohibición de la venta de suplementos dietéticos con contenido de alcaloides de la efedrina.

6. <http://www.botgard.ucla.edu/html/botanytextbooks/economicbotany/Ephedra/>

Información botánica sobre la *Ephedra* extraída del “Mildred Mathias Botanical Garden” de la UCLA (EE.UU.)

7. <http://www.ephedra.nu>

Guía completa confeccionada por personas y entidades que trabajan con la *Ephedra*.

8. http://www.drugfree.org/Portal/drug_guide/Crystal_Meth#

Información sobre el cristal meta procedente de una agrupación sin fines lucrativos de los sectores de las comunicaciones, sanidad, médico y docente, que trabajan por frenar el consumo ilícito de drogas, y contribuir a una vida más sana y sin drogas para la población.

9. http://www.healthyplace.com/Communities/Thought_Disorders/schizo/articles/crystal_meth.htm

Información sobre el cristal meta procedente de un sitio en Internet sobre salud mental, que tiene como objeto informar exhaustivamente sobre alteraciones psicológicas y medicación psiquiátrica, desde el punto de vista de los consumidores y especialistas.

10. <http://www.isp.state.il.us/crime/whatismeth.cfm>

Información procedente de la policía del Estado de Illinois (EE.UU.) sobre el cristal meta, con fotos de material empleado para su fabricación.

11. http://www.totse.com/en/drugs/speedy_drugs/howtomanufacture172921.html

Fórmula para elaborar el cristal meta.

Aspectos toxicológicos de los agentes de guerra química

Durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918), las sustancias químicas tóxicas se emplearon en gran escala como armas, llegándose a utilizar en los campos de batalla más de 100.000 toneladas de sustancias químicas. En un principio, se usaron para hostigar al enemigo más que para matar o herir gravemente. Cerca de un 10% del número total de toneladas de agentes de guerra química empleado durante la Primera Guerra Mundial fueron gases lacrimógenos, gases asfixiantes y gases causantes de vómitos. Al empleo de sustancias químicas incapacitantes siguió el de sustancias químicas letales, lo que motivó que, durante el tiempo que duró la guerra, hubiera cerca de 1,3 millones de víctimas, de las cuales se calcula murieron 90.000.

En la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) se acumularon grandes cantidades de armas químicas. Sin embargo, Japón fue el único país que utilizó estas armas en dicha guerra, concretamente, contra China. Las investigaciones prosiguieron sistemáticamente una vez finalizada dicha guerra con el fin de descubrir el agente de guerra química perfecto.

A pesar de haberse seleccionado miles de sustancias químicas, sólo unas 60 de todas ellas presentaban las propiedades físicas, químicas y toxicológicas idóneas para poder ser utilizadas como agentes de guerra química. Durante la Primera Guerra Mundial, se llegaron a utilizar unas dos terceras partes de estas sustancias, sirviendo los campos de batalla como zonas de prueba. Los análisis realizados con las víctimas de algunas de estas sustancias químicas en la Primera Guerra Mundial permitieron reducir a unas doce el número de agentes de guerra química que realmente podían servir de armas. Desde entonces, se han añadido algunos agentes más a esta lista y algunos de los primeros agentes de guerra química se han sustituido por otros tipos de agentes nuevos.

Clasificación de los agentes de guerra química

Los agentes de guerra química pueden clasificarse de varias formas. Una de ellas es dividirlos entre agentes letales y agentes discapacitantes. El propósito de los agentes letales es matar, o bien herir al enemigo de modo que las víctimas deban ser evacuadas o deban recibir tratamiento médico. En cuanto a las sustancias químicas incapacitantes, su objetivo es incapacitar o impedir al enemigo, sólo que los afectados se recuperan en general sin ninguna ayuda médica.

Además de los agentes de guerra química conocidos, hay otras muchas sustancias químicas tóxicas del sector de la industria que, aunque son menos tóxicas que los agentes de guerra química que se conocen, pueden tener efectos muy nocivos. Podemos citar como ejemplo el isocianato de metilo utilizado en Bhopal (India). Esta sustancia química causó miles de muertos y generó un número aún mayor de personas con problemas de salud crónicos. Por ello, cuando hablamos de sustancias químicas que se utilizan como armas es importante considerar, no sólo los agentes de guerra química tradicionales, sino también otras sustancias químicas tóxicas del sector de la industria.

Sustancias químicas letales

Las sustancias químicas letales que se han convertido en agentes de guerra química (sustancias químicas tóxicas y de la industria) pueden dividirse en dos categorías: las sustancias irritantes de tejidos y los venenos sistémicos. Las primeras producen daños en la

piel y en la superficie del tracto respiratorio. En cuanto a los venenos sistémicos, son sustancias que alteran las funciones vitales del cuerpo. Entre las sustancias irritantes de tejidos se incluyen los gases asfixiantes (como el cloro y el fosgeno) y los gases vesicantes (como el gas mostaza). Entre los venenos sistémicos se incluyen sustancias químicas que antes se clasificaban como gases sanguíneos (por ejemplo, el cianuro de hidrógeno). También se incluirían los gases neurotóxicos (como el sarín y el VX).

El cloro, que es una sustancia asfixiante, fue la primera sustancia química letal que se utilizó en la Primera Guerra Mundial. En abril de 1915, el ejército alemán realizó un gran número de ataques por sorpresa que produjeron miles de heridos entre las tropas francoargelinas que no tenían ninguna protección contra las sustancias químicas transportadas por el aire. Aunque los interrogatorios hechos a prisioneros alemanes revelaron que los cilindros de sustancias químicas se estaban colocando en las trincheras, nadie tomó estos avisos realmente en serio. Se sabe por pruebas que los altos mandos británicos y canadienses se fiaron mucho más de sus propios informes, lo que permitió que los británicos pudiesen responder con mayor rapidez a los primeros ataques. Los respiradores que se usaron al principio para proteger a las tropas eran muy básicos, pero con el tiempo fueron adquiriendo un carácter más sofisticado. También se trabajó a fondo para encontrar agentes más agresivos que el cloro, lo que condujo a un uso más generalizado del fosgeno, que es otro irritante pulmonar.

En cuanto al cianuro de hidrógeno, su disponibilidad era mayor pero no se usó mucho por el tamaño pequeño de las municiones de esa época, que no permitían concentraciones de dicho gas (más ligero que el aire) en volumen suficiente para causar el número de víctimas deseado.

El hecho más importante registrado durante la Primera Guerra Mundial fue el empleo de lo que conocemos como agentes vesicantes. Estos agentes causan ampollas en la piel y dañan gravemente cualquier tejido con el que entran en contacto. En esta categoría se encuentra el gas mostaza, que resulta venenoso tanto al ser inhalado como al penetrar en la piel.

Sin duda, el descubrimiento más relevante realizado con los agentes letales fue la fabricación de agentes neurotóxicos organofosforados. Las investigaciones llevadas a cabo en Alemania en los años treinta para hallar compuestos organofosforados que pudiesen utilizarse como insecticidas permitieron que se descubriera el primer agente neurotóxico. En 1945, se habían fabricado 12.000 toneladas de este agente, que se conoció como tabún, gran parte de las cuales se cargaron en municiones. Sin embargo, durante la Segunda Guerra Mundial, Alemania no utilizó el tabún. Este agente está clasificado como agente neurotóxico “no persistente”. Después de 1945, varios países siguieron trabajando en los agentes neurotóxicos hasta descubrirse otra clase de agentes neurotóxicos organofosforados mucho más persistentes (siendo uno de ellos el VX). Los agentes persistentes permanecen *in situ* durante un periodo de tiempo considerable. Con el calor se evaporan, pero con el frío su desaparición es mucho más lenta. La lluvia también les afecta, ya que el agua contribuye a descomponer el agente (por hidrólisis), y a diluirlo. La mayor parte de las toneladas de agentes persistentes se cargaba en municiones.

Sustancias químicas específicas

Fosgeno

El fosgeno no se produce de forma natural pero, desde que se elaboró por primera vez a principios del siglo XIX, es un elemento común en la industria química, que se utiliza como

producto intermedio en la fabricación de un gran número de sustancias como tintes, plaguicidas y polímeros. En el mundo se producen anualmente millones de toneladas. En general, se entra en contacto con el fosgeno por inhalación. El principal órgano afectado es el pulmón, y los daños dependen del grado en el que se haya visto expuesto este órgano, así como de la concentración y duración de la exposición. En concentraciones muy altas también se producen irritaciones cutáneas y de los ojos. En cuanto a su olor, se dice que es similar al de la fruta en descomposición, al de la hierba recién cortada o al del heno enmohecido. Si la concentración es superior a tres partes por millón (3 ppm), los ojos, la nariz y la garganta se irritan rápidamente, y el pecho se contrae, síntomas a los cuales sigue la falta de respiración y accesos de tos. Cuando son estos los únicos síntomas, suelen desaparecer rápidamente una vez termina la exposición. Con una dosis mayor de 30 ppm por minuto, los daños pulmonares y respiratorios son aún mayores. La forma en que se presenta es como agua en el pulmón, que resulta en ocasiones mortal. Aunque se puede formar a las personas para que detecten el fosgeno en concentraciones bajas, el olfato no es buen consejero para conocer qué componentes puede tener el aire. Con concentraciones altas, las personas pierden el sentido del olfato y la capacidad de calibrar el peligro.

Cianuro de hidrógeno

Se trata de un agente letal que actúa rápidamente, y en las personas afectadas por este agente las células no pueden procesar el oxígeno. No todo el mundo es capaz de detectar el cianuro de hidrógeno en concentraciones bajas, pero las personas que pueden dicen que huele a almendras amargas o a mazapán.

El cianuro de hidrógeno es un componente común dentro de la industria química como producto intermedio, y se emplea asimismo como plaguicida, rodenticida y fumigante. En países en los que la pena capital sigue vigente, la sustancia que se utiliza para causar la muerte es el cianuro de hidrógeno. Al fumar tabaco y al inhalar humo del fuego también se está expuesto al cianuro de hidrógeno. La vía más normal de contacto es por inhalación. Aunque el vapor del cianuro de hidrógeno no penetra en la piel, el cianuro de hidrógeno líquido sí que es penetrante, como sería esta sustancia química en forma de aerosol. En concentraciones de 60 miligramos por metro cúbico (60 mg/m^3), los síntomas no suelen ser graves, sin embargo, en concentraciones superiores a los 200 mg/m^3 , su efecto es mortal al cabo de 10 minutos. Por encima de los 2.500 mg/m^3 , la muerte se producirá seguramente en 1 minuto.

Dado que el gas penetra rápidamente en los pulmones, los síntomas del envenenamiento son también muy rápidos. En un primer momento, la respiración se acelera a gran velocidad y, a medida que la dosis que se inhala aumenta, la pérdida de conocimiento ocurre más rápidamente. La muerte se produce, bien por fallo cardíaco, bien por insuficiencia respiratoria. A pesar de esto, en concentraciones próximas a la concentración letal, el cianuro de hidrógeno afecta a la capacidad de las células de procesar el oxígeno y, con ello, al cerebro.

Gas mostaza

El gas mostaza (a veces denominado mostaza de azufre) es un agente vesicante. Causa irritación general de los tejidos y afecta al funcionamiento interno del cuerpo. De entre los agentes vesicantes que se han estudiado para su uso como agentes de guerra química, el gas mostaza ha sido el favorito. En 1860 se sintetizó por primera vez, y se convirtió en un agente de guerra química en la Primera Guerra Mundial, sin haber llegado a tener prácticamente

ningún otro uso. En concentraciones altas, este gas tiene un olor intenso que se ha descrito como similar al del rábano picante, a la cebolla o al ajo. Apenas se disuelve en el agua, pero sí en solventes orgánicos y grasas. Las vías de contacto son por inhalación y por la piel, según tenga forma vaporosa o líquida. Si la concentración es de 100 mg/m^3 y el tiempo de exposición 1 minuto [escrito a menudo 100 mg min/m^3], el daño en los ojos resultará incapacitante. Si la concentración es el doble, se producen quemaduras cutáneas importantes. Se calcula que la dosis letal por vía respiratoria es de 1.500 mg min/m^3 .

El viento puede transportar el gas mostaza en estado vaporoso a grandes distancias. En la Primera Guerra Mundial, en la guerra entre Irán e Iraq de 1980 a 1988, y entre la población curda iraquí en 1988 fueron numerosas las víctimas del gas mostaza. Cuando no existe protección alguna, los indicios y los síntomas de la exposición al gas mostaza se revelan gradualmente después de un intervalo de varias horas. Este intervalo varía de unas personas a otras, y depende también del tipo de exposición y de la temperatura del ambiente.

Esta sustancia suele afectar en primer lugar a los ojos, que experimentan una sensación rasposa (como si se frotara arena contra el globo ocular) y quedan inyectados en sangre. A continuación, se produce un dolor agudo en los ojos, que comienzan a lagrimar abundantemente. Afecta a la vista. Siguen otros síntomas, como secreciones nasales, estornudos, dolor de garganta, tos y ronquera. Pueden desarrollarse también problemas respiratorios. Los afectados pueden sufrir náuseas y vómitos. De 16 a 24 horas después, empieza a picar la piel y las partes expuestas se oscurecen. Pueden aparecer ampollas en las axilas y los genitales. En casos de exposición moderada o severa, aparecen grandes ampollas llenas de un líquido amarillo claro, que al abrirse erosionan la piel, pudiendo producir úlceras. Estas úlceras pueden curarse en 2 o 3 semanas, pero si la erosión cutánea es grave, la curación puede prolongarse de 6 a 12 semanas y pueden quedar cicatrices profundas. En las partes lesionadas de la piel se presenta una pigmentación similar a la de la exposición prolongada al sol. La parte quemada con mostaza es hipersensible también a cualquier traumatismo físico. En los casos de cicatrices importantes, se produce prurito persistente.

Como consecuencia de la exposición al gas mostaza, pueden sufrirse lesiones graves en las vías respiratorias, produciéndose una infección en los tejidos afectados. La infección puede dar lugar a una neumonía, que, a su vez, puede ser mortal. La recuperación de las lesiones pulmonares es lenta. La mostaza de azufre se absorbe y distribuye con el flujo sanguíneo, lo que repercute en el sistema inmunológico, por lo que el afectado queda vulnerable a las infecciones. Esto puede causar neumonía y septicemia.

En las víctimas iraníes se han observado los efectos a largo plazo de la exposición al gas mostaza. Se dan problemas cutáneos persistentes y enfermedades pulmonares graves, como bronquitis y enfisema. En algunos casos, también se observan lesiones oculares con efectos retardados que han llevado a la ceguera. El gas mostaza también puede dañar el ADN y ser cancerígeno. Las personas que han elaborado gas mostaza padecen casi siempre de cáncer de las vías respiratorias.

Para prevenir el cáncer se utiliza un tipo de agente de gas mostaza denominado mostaza de nitrógeno. Los agentes del gas mostaza tienen por los menos dos grupos de 2-cloroetilo, unidos a los residuos de tioéter (las mostazas de azufre), o bien a los residuos de aminas (las mostazas de nitrógeno). El grupo N $(\text{CH}_2)_2 \text{Cl}$ de mostazas de nitrógeno es un componente fundamental de tres medicamentos comunes para tratar tipos de cáncer como el mieloma, la enfermedad de Hodgkin, otro tipo de linfomas y determinadas leucemias.

Gases neurotóxicos

Los gases neurotóxicos o los agentes neurotóxicos son compuestos organofosforados que inhiben las enzimas denominadas colinesterasas. Esta inhibición perturba las funciones nerviosas. Los gases neurotóxicos se dividen en dos grupos, a saber, los agentes G, que actúan primordialmente por inhalación, y los llamados agentes V, que actúan principalmente al penetrar en la piel y cuando se inhalan aerosoles. En sus propiedades químicas y tóxicas, los gases neurotóxicos son similares a muchos plaguicidas organofosforados de uso comercial. Los gases neurotóxicos son casi siempre inodoros o incoloros y, a temperatura ambiente, pueden presentarse incoloros o como un líquido entre amarillo y marrón.

Los gases neurotóxicos pueden absorberse a través de cualquier superficie corporal y, si se dispersan como vapor, aerosol o en polvo, entran en los pulmones rápidamente. Los efectos que causan en las personas son rápidos. La exposición a concentraciones superiores a 3 mg min/m³ afecta a la vista. En exposiciones mayores, el efecto inhibitorio de los gases en las enzimas colinesterasas causa síntomas diversos, como dolores de cabeza agudos, dolores oculares, secreciones nasales, opresión en el pecho, problemas respiratorios, aumento de la transpiración, cansancio y debilidad pronunciados, cambios rápidos de humor y pesadillas. Es decir, los afectados se encuentran en un estado de confusión permanente.

Para el tabún, se estima que las concentraciones de agente neurotóxico superiores a 150 mg min/m³ son letales. La exposición a los agentes de guerra química se mide en función de la concentración y el tiempo. Así pues, también es una dosis letal para el tabún 15 mg/m³ durante más de 10 minutos. El modo abreviado para referirse tanto a la exposición durante 1 minuto con una concentración de 150 mg/m³, como a la exposición durante 10 minutos con una concentración de 15 mg/m³ es el siguiente: 150 mg min/m³. La dosis letal para el agente neurotóxico sarín es 70-100 mg min/m³. La dosis letal para el VX es aproximadamente la mitad que para el sarín. La exposición a varias dosis letales causa la muerte en unos minutos.

Si la exposición es entre leve y moderada, es probable que la recuperación sea completa. Una exposición mayor precisa, para salvar la vida, de un tratamiento específico con antídotos para intoxicación grave. Los agentes neurotóxicos son los únicos agentes de guerra química para los que existen antídotos específicos. Cuando ha habido una intoxicación grave, las garantías de recuperación plena son nulas.

Agente CS

El 2-clorobenzalmalonitrilo o, como se denomina comúnmente, CS, es un sólido blanco cristalino a temperatura ambiente. Clasificado como agente irritante, el CS actúa con rapidez causando irritación intensa en los ojos y en las membranas mucosas de la nariz y la garganta. Puede diseminarse como una nube de polvo o disuelto en un líquido orgánico. El CS se encuentra muy fácilmente en el mercado como agente de represión de disturbios.

En exposiciones inferiores a 0,004 mg/m³ puede haber irritación ocular y del tracto respiratorio. En concentraciones de 4 mg/m³, la irritación puede ser muy pronunciada. Estos agentes se utilizan para la represión de disturbios porque la dosis letal es sumamente elevada y, muchas veces, superior a la concentración necesaria para causar irritación. Según las estimaciones, que son sólo estimaciones, la dosis letal varía entre 25.000 y 150.000 mg min/m³.

La recuperación de la irritación suele tener lugar unos 30 minutos después de haber cesado la exposición, aunque puede prolongarse durante más tiempo. El principal motivo por el que suelen persistir los indicios y síntomas es que la eliminación del agente CS de las superficies corporales afectadas no ha sido completa. Las soluciones de CS causan irritación cutánea grave con enrojecimiento al cabo de unos minutos, que puede prolongarse durante una hora aproximadamente. El enrojecimiento retardado de la piel (eritema) puede permanecer de 24 a 72 horas, y es posible también que aparezcan ampollas y costras. La recuperación de la piel de esta lesión más grave puede tardar semanas.

En los casos de exposición al CS, aparece dolor y opresión en el pecho, por lo que algunas personas intentan contener la respiración. Tras unos minutos de exposición, pueden padecerse escozores y ardores, sobre todo en la nariz y en la garganta. Otros síntomas son las náuseas y los vómitos. Los efectos sumamente irritantes del CS pueden causar ansiedad, con aumento temporal de la tensión sanguínea y del ritmo cardiaco. Los afectados que padecen asma tienen riesgo de presentar los síntomas asmáticos, debido a la irritación de los pulmones. No hay pruebas de que el CS sea cancerígeno.

Preguntas que cabe hacerse:

- i) ¿Qué hemos aprendido del empleo de las armas químicas?
- ii) ¿Tiene sentido estudiar las armas químicas? En caso de responder de forma afirmativa, ¿en qué circunstancias deberían estudiarse?
- iii) ¿Quién debería estar autorizado a hacer estos estudios? ¿Dónde se podría o debería realizar estos estudios?
- iv) ¿Deberían hacerse públicos los resultados de estos estudios? En caso de responder de forma negativa, ¿por qué no?
- v) A su juicio, ¿qué sustancias químicas tienen más posibilidades de convertirse en agentes de guerra química? ¿Cómo evita que se utilicen para dicho objetivo?

Conclusiones

En las publicaciones médicas y científicas se encuentra mucha más información sobre las propiedades químicas y tóxicas de los pocos agentes aquí descritos. También son numerosas las publicaciones sobre otros tipos de agentes de guerra química. Son varias las bases de datos electrónicas que permiten acceder a las publicaciones en la materia, a saber, MEDLINE, EMBASE, PubMed y TOXLINE. Otra bibliografía es:

“*Public Health Response to Biological and Chemical Weapons*”: WHO Guidance. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 2004. También disponible en: <http://www.who.int/csr/deliberidemics/informationresources/en/>
Texto disponible en español, francés, inglés y ruso.

Mars, T.C., Maynard, R.L., Sidell, F.R., *Chemical Warfare Agents Toxicology and Treatment*. Chichester. Wiley, 1996.

Vedder, E.B., *The Medical Aspects of Chemical Warfare*. Baltimore, Maryland. Williams and Wilkins, 1925.

Sidell, F.R., Patrick, W.C., Dashiell, T.R., *Jane's Chem-Bio Handbook*. Coulsdon, England. Jane's Information Group, 1998.

Somani, S.M., Romano, J.A. (eds.), *Chemical Warfare Agents: Toxicity at Low Levels*. Boca Raton, Fa. CRC Press, 2001.

Sustancias químicas: bueno y malo

Todo en el mundo está hecho de sustancias químicas (las producidas por la naturaleza y las sintetizadas por los seres humanos). Algunas de las sustancias químicas que produce la naturaleza se emplean en su estado original, por ejemplo, el agua, la arena de la playa y el oxígeno que respiramos. Otras se procesan antes de ser utilizadas, como el petróleo que se refina para extraer las sustancias químicas que se usan para la gasolina; el hierro que se extrae del mineral de mena; el alimento extraído de las plantas y que se procesa para fabricar un pastel de chocolate. Algunas sustancias químicas son creación absoluta de los seres humanos a partir de combinaciones de materias primas naturales; por ejemplo, las telas de nilón, los microcircuitos informáticos y muchos productos farmacéuticos. En más de 200 años, ha surgido una industria extensa y compleja dedicada a sintetizar estas sustancias químicas, a veces en reactores enormes muy sofisticados y otras veces con ayuda de microorganismos que realizan parte del trabajo. Toda nuestra vida depende de la interacción entre las sustancias químicas que componen nuestro cuerpo y las sustancias químicas del mundo que nos rodea.

Todas las sustancias químicas plantean ciertos riesgos, por sí mismas o al combinarse con otras de distintas formas. Los químicos han aprendido cómo manejar las sustancias químicas y controlar las reacciones químicas de forma que el riesgo para los humanos y el medio ambiente sea mínimo. La industria química busca constantemente mejores modos de producir de forma más segura sustancias químicas sintéticas y de eliminar residuos que podrían dañar el medio ambiente. Es el objetivo de la llamada química verde.

No obstante, algunas sustancias químicas se conciben deliberadamente para que sean tóxicas; por ejemplo, la industria farmacéutica crea muchas sustancias químicas que, en la dosis correcta, pueden matar bacterias y virus patógenos sin dañar el organismo principal. Otras sustancias químicas se destinan a envenenar las células cancerígenas del cuerpo humano. La industria agroquímica sintetiza sustancias químicas que matan insectos, hongos, roedores y otros insectos capaces de aniquilar nuestras existencias alimentarias, o que contribuyen a controlar el crecimiento de las malas hierbas. Por tanto, incluso las sustancias químicas muy tóxicas pueden ser beneficiosas para los seres humanos, siempre que apunten únicamente a aquellos componentes nocivos y se utilicen de forma cuidadosa y responsable.

Algunas sustancias químicas tóxicas se han creado con un fin totalmente distinto, a saber, matar o herir a seres humanos. A lo largo de la historia, se han utilizado armas químicas (antiguamente a menudo denominadas “gases tóxicos”); primero, fueron elementos muy básicos, como el humo malsano generado al quemar azufre y, con el tiempo, sustancias químicas sintéticas de gran poder tóxico, como las elaboradas en grandes cantidades durante la primera mitad del siglo XX. Estas armas químicas se utilizaron en la Primera Guerra Mundial y, posteriormente, en varias guerras y conflictos regionales. Durante la segunda mitad del siglo XX, se produjeron decenas de miles de toneladas de agentes de guerra química con formas que pudiesen servir de armas de guerra y almacenarse en proyectiles, bombas, recipientes y de otras formas. Algunos agentes pueden causar ampollas terribles en la piel y producir asfixia al entrar en contacto con los pulmones. Otros son gases letales que afectan al sistema central nervioso y causan parálisis inmediata y la muerte. De todas las armas de guerra, las armas químicas han sido, desde hace tiempo, las que se han considerado siempre especialmente repulsivas.

A lo largo de la historia, el empleo de las armas químicas ha constituido un tabú. Por ejemplo, en varias culturas, como en la Roma y Grecia antiguas, en el Derecho de la Guerra Manu, de la India, o en el Código de Guerra de los Sarracenos, se estigmatizó el uso bélico de venenos y enfermedades. A finales del siglo XIX hubo varios intentos de regular a nivel internacional la prohibición de las armas químicas, acuerdos que no impidieron que estas armas se empleasen y se

fabricasen para su posible uso en el futuro. En 1925, se aprobó el Protocolo de Ginebra, prohibiéndose así el empleo de armas químicas y bacteriológicas (biológicas) como método de guerra. Esto no fue obstáculo para que los países adquirieran y, en algunos casos, utilizaran estas armas. Por último, en 1993 naciones de todo el mundo elaboraron un tratado mucho más sofisticado y ambicioso, a saber, la **Convención sobre las Armas Químicas (CAQ)**, por la que se prohíben la posesión y el empleo de armas químicas, y mediante la cual se aspira a eliminar las armas químicas en todo el mundo, para siempre y bajo estricta verificación internacional. En 1997, la CAQ entró en vigor después de haber sido ratificada por 65 países en 1996, número que fue aumentando hasta 173 *Estados Partes*. Otros dos Estados la han firmado, pero todavía no la han ratificado y, aunque formalmente no son parte en la CAQ, se han comprometido a sumarse a la prohibición de las armas químicas por principio. Sólo 9 Estados no han tomado todavía ninguna medida.

Cualquiera que trabaje con sustancias químicas y con tecnología química debería conocer el propósito de la CAQ, es decir, saber qué aspectos de las sustancias químicas prohíbe, y entender que la CAQ no sólo permite sino que además promueve un gran número de aplicaciones de la química. Cualquiera que trabaje con sustancias químicas y con tecnología química debería saber que la CAQ es de su incumbencia, ya que las sustancias químicas *per se* no son buenas ni malas, y hasta las sustancias y tecnología químicas con los fines más nobles pueden emplearse de forma perniciosa.

La CAQ en líneas generales

El texto completo de la Convención sobre las Armas Químicas y sus anexos consta de unas 140 páginas.¹ Como la mayor parte de los documentos jurídicos, se trata de un texto preciso y muy detallado con normas taxativas, cuyos conceptos básicos se exponen de forma realmente clara. Aun a riesgo de simplificar demasiado, intentemos llegar al significado de toda la jerga técnica y jurídica.

Los artífices de la CAQ conocían la importancia de la química y de las sustancias químicas en el mundo, y la CAQ se concibió para promover el empleo responsable de las sustancias químicas. La CAQ cuenta con el pleno apoyo de la industria química internacional, la cual reconoce la necesidad de que sus actividades estén reglamentadas en cierto grado, a fin de evitar el uso pernicioso de las sustancias químicas como armas de guerra.

En la CAQ se habla de *sustancias químicas tóxicas*, que define como “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”, así como de determinados *precursores* de sustancias químicas tóxicas. Dado que estas sustancias químicas pueden tener usos pacíficos múltiples y muy valiosos, solas o en reacciones químicas destinadas a producir otras sustancias valiosas, la CAQ establece distinciones según los *finés* para los que se preparen, almacenen, comercien o empleen las sustancias químicas. El componente clave de la CAQ es el denominado **criterio general**. Según este criterio, están prohibidas todas las sustancias químicas tóxicas y 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”. Esta redacción algo densa *permite* que las sustancias químicas se empleen para cualquiera de las aplicaciones que encontramos en cualquier actividad normal y legítima. Concretamente, la CAQ *incluye*, entre las finalidades permitidas, los fines industriales, agrícolas, de investigación, médicos, farmacéuticos u otros fines pacíficos, así como la protección contra sustancias químicas tóxicas y las armas químicas, y el mantenimiento del orden. Permite incluso (o, más bien, no prohíbe) el empleo de

¹ El texto de la Convención sobre las Armas Químicas se encuentra en: www.opcw.org.

sustancias químicas para fines militares [por ejemplo, como explosivos], siempre que este uso no se vincule a las propiedades tóxicas de las sustancias químicas como método de guerra.

Aunque dicho criterio general abarque todas las sustancias químicas existentes y cualquier otra que pueda sintetizarse en el futuro, los artífices de la CAQ incluyeron también tres series o *listas* de unas 50 sustancias químicas y categorías de sustancias químicas que ya son armas químicas o que podrían convertirse en armas de este tipo. Es obligatoria la presentación de informes anuales sobre la producción o transferencia de estas *sustancias químicas de las listas*, armas como el sarín, la lewisita, el gas mostaza y la ricina, o sustancias tan comunes como el fósgeno, el cianuro de hidrógeno, el fosfito trimetílico y la trietanolamina. La CAQ no prohíbe el empleo de ninguna de estas sustancias químicas. Muchas de ellas son necesarias en las síntesis químicas, o como ingredientes en fórmulas y productos de distintas actividades humanas como el teñido de prendas textiles o la minería. Incluso armas químicas tan poderosas como la mostaza de nitrógeno y la saxitoxina sirven para investigaciones y tratamientos médicos. La CAQ simplemente lleva un seguimiento de la producción y empleo de estas sustancias, y prevé inspecciones de las instituciones gubernamentales o privadas que las fabrican o emplean por encima de determinadas cantidades.

La destrucción de las armas químicas

Un elemento importante de la CAQ es la obligación que tienen los Estados Partes de declarar los arsenales de armas químicas existentes y de convenir en su total destrucción dentro de unos plazos específicos. Seis Estados han declarado un total de más de 71.000 toneladas métricas de armas químicas, la mayoría de las cuales se encuentran en la Federación de Rusia y en los Estados Unidos de América como legado de la Guerra Fría. Hasta la fecha, se han destruido unas 12.000 toneladas métricas. La destrucción es un proceso muy caro que plantea retos técnicos, debido a la diversidad de armas y sustancias químicas, y a la necesidad de garantizar un alto nivel de seguridad física y de protección de la salud y del medio ambiente. Además, se han declarado 64 instalaciones de producción de armas químicas, la mayoría de las cuales ya se han destruido o convertido para fines permitidos.

La OPAQ

La CAQ sienta las bases para que sus disposiciones se administren y apliquen a través de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ). La OPAQ está integrada por los Estados Partes (que, en su conjunto, constituyen la Conferencia de los Estados Partes en la CAQ), el Consejo Ejecutivo de la OPAQ y la Secretaría Técnica, situada en La Haya (Países Bajos), a cuyo frente está el Director General. La OPAQ se encarga de muchas y diversas tareas, como la recopilación, la verificación, el análisis y la publicación de los datos correspondientes a los Estados Partes. Los inspectores de la OPAQ verifican las declaraciones de armas químicas y su destrucción mediante inspecciones *in situ* de los emplazamientos en que se encuentran los arsenales, y de las operaciones de destrucción. Asimismo, los inspectores llevan a cabo inspecciones ordinarias de las instalaciones de producción de sustancias químicas, con objeto de verificar la exactitud de los datos declarados y asegurar que las actividades que en ellas se realizan son compatibles con los requisitos de la CAQ, a saber, no desarrollar, fabricar ni comercializar sustancias químicas para armamento de este tipo. Ante la presunción de que un Estado haya infringido la CAQ, la OPAQ tiene también la capacidad de realizar “inspecciones por denuncia”, procedimiento al que no se ha recurrido hasta la fecha. Pueden realizarse inspecciones por denuncia en emplazamientos o instalaciones de los Estados Partes, en cualquier lugar, en cualquier momento, comunicándolo con poca antelación y sin que el Estado Parte en cuestión pueda negarse. El objeto de las inspecciones ordinarias es fomentar, entre los Estados Partes, la confianza de que el cumplimiento de las disposiciones de la CAQ es uniforme. La

OPAQ presta también asistencia técnica a los Estados Partes en cuestiones relacionadas con el desarme químico, les ayuda a protegerse mejor contra las armas químicas y pone en práctica programas para promover la cooperación internacional en ámbitos como la enseñanza de la química, el intercambio de información científica y técnica, así como de equipo, y el fomento de las investigaciones químicas con fines pacíficos y la adopción de prácticas adecuadas para la fabricación de sustancias químicas. El sitio de la OPAQ en Internet (www.opcw.org) ofrece información muy completa y actualizada sobre las actividades y programas existentes.

La CAQ prohíbe *terminantemente* el empleo de armas químicas. Sin embargo, al ser un tratado entre países, su aplicación internacional a través de los mecanismos de la OPAQ compete a los propios Estados. El cumplimiento de la CAQ en el ámbito nacional corresponde a los Estados Partes y a las *Autoridades Nacionales* que cada uno establece. Casi todos los Estados Partes han promulgado legislación de aplicación, en la que se establecen las sanciones civiles y penales por incumplimiento, y se obliga tanto a personas físicas como a las empresas químicas a respetar las disposiciones de la CAQ en materia de no proliferación, y a comunicar determinados datos a las Autoridades Nacionales. Actualmente hay una gran preocupación ante la posibilidad de que grupos terroristas obtengan, de un modo u otro, armas químicas o material relacionado con éstas (como precursores químicos o sustancias químicas industriales de carácter tóxico). La responsabilidad principal de combatir el terrorismo dentro de sus propias fronteras recae en los respectivos gobiernos nacionales, aunque la OPAQ proporciona asesoramiento y asistencia técnica para que los Estados Partes establezcan legislación, reglamentos y medidas de aplicación con que impedir el acceso de delincuentes y terroristas a las armas químicas y material afín.

El Grupo de Australia

Como complemento al régimen de la CAQ y con objetivos similares, el *Grupo de Australia* es un grupo de trabajo oficioso integrado por 39 países y la Comisión Europea, países en su mayoría altamente industrializados y todos ellos Estados Partes en la CAQ y en la Convención sobre las Armas Biológicas y Toxínicas (CAB). Este grupo armoniza medidas para la concesión de licencias nacionales de exportación a los países partícipes para *impedir* la distribución de ciertos materiales, equipo y recursos que pudieran utilizarse en programas de armamento químico y biológico. Algunos Estados Partes en la CAQ critican al Grupo de Australia, pues sus miembros aplican a los Estados Partes en la CAQ los mismos procedimientos para la concesión de licencias, lo que a juicio de éstos contraviene el objetivo de la CAQ de promover el intercambio entre Estados Partes de información científico-técnica, y de sustancias químicas y equipo con fines pacíficos. Los miembros del Grupo de Australia, por su parte, consideran que estas medidas son totalmente compatibles con la CAQ y acordes con la obligación de no contribuir a la proliferación de armas químicas.

La CAB

La CAB entró en vigor en 1975 con metas similares a las de la CAQ, aunque su objeto son las armas biológicas. Se basa también en un criterio general. Aunque fue creada mucho antes que la CAQ, las partes en la CAB no han logrado hasta la fecha ningún acuerdo en relación con los mecanismos de verificación y de inspección, ni cuenta con una estructura administrativa (internacional) multilateral como la de la OPAQ. Ambas Convenciones se superponen en el sentido de que las toxinas generadas por microorganismos constituyen igualmente sustancias químicas según la CAQ.

El futuro

La OPAQ se aproxima cada vez más al logro de la “universalidad”, es decir, que todos los países del mundo se adhieran a ella. La OPAQ garantiza a nivel internacional, mediante las inspecciones *in situ*, que los Estados cumplen con las obligaciones contraídas en virtud del Tratado, destruyendo todas sus armas químicas y estructuras de producción, y que en el futuro no volverán a fabricar armas químicas. Los propios Estados Partes están instituyendo medidas jurídicas y de otro tipo con el fin de que esta prohibición sea extensiva a las armas químicas que se encuentren fuera de su territorio, e incluya también a personas y empresas. Sin embargo, para que la abolición de las armas químicas sea permanente, también es necesario que las personas que trabajan con sustancias químicas, y equipo y tecnología químicos, actúen de forma responsable. La cita que aparece en el sitio de la OPAQ en Internet, a saber: “Resueltos, en bien de toda la humanidad, a excluir completamente la posibilidad de que se empleen armas químicas...” refleja la determinación de borrar esa mancha del impresionante historial de aportaciones que la química ha hecho en bien de la humanidad. La labor de la OPAQ, sumada al trabajo de las distintas naciones, ha reducido a un mínimo la propagación de posibles armas químicas; sin embargo, siempre cabrá la posibilidad de que se descubran nuevas vías que abran la puerta repentinamente a nuevas generaciones de armas químicas, y siempre existirá la posibilidad de que grupos terroristas empleen pequeñas cantidades de sustancias químicas para fines indeseables.

A juicio de la UIQPA, con una mejor comprensión de los principios del desarme químico y de las responsabilidades éticas de cualquier persona que trabaje con sustancias químicas, se puede contribuir notablemente a los esfuerzos realizados en el plano nacional e internacional.

Prevención de las armas químicas: ¿qué papel deben tener los códigos de conducta?

Objetivos:

- * Evaluar el lugar que la química y la ingeniería química han tenido en la sociedad con el transcurso del tiempo.
- * Informar sobre el alcance, funciones y valor posible de los códigos de conducta.
- * Animar a debatir las normas profesionales y posibles códigos.

Dentro del mundo de la química ha habido siempre un gran interés en definir las normas de conducta de la profesión. A principios del siglo XX, empezó a surgir como una materia diferenciada lo que hoy conocemos como ingeniería química. Los “ingenieros químicos” de aquel entonces eran especialistas, en distinto grado, en química pura y aplicada, y en ingeniería mecánica. Aunque en países como Alemania era normal contar con equipos de químicos y de ingenieros técnicos, en los Estados Unidos de América se procuró crear una profesión única para los ingenieros químicos. Esto se debió en parte al reconocimiento relativamente bajo que tenían los químicos industriales. En 1908, se creó el *American Institute of Chemical Engineers* (Instituto Estadounidense de Ingenieros Químicos) para evaluar los programas universitarios y normalizar los requisitos en materia de formación. Sólo este Instituto podía decidir quién podía denominarse “ingeniero químico” y quién no, y su papel en la normalización y reconocimiento de los ingenieros químicos y en el fomento de su contribución a la industria fue fundamental.

En los decenios posteriores, las organizaciones químicas han seguido las mismas prácticas que el gremio médico, contable y otros gremios de ingenieros, al usar los llamados “códigos de conducta” como mecanismos para establecer normas y promover el debate. Los términos “códigos de conducta” o “códigos deontológicos” son términos generales que incluyen numerosas variantes. Un modo de distinguir estos códigos es la función que se propongan tener; es decir, una declaración de aspiraciones, una propuesta de directrices educativas o de asesoramiento, o un conjunto de requisitos obligatorios que se establezcan, por ejemplo, para los lugares de trabajo.

Tipos de códigos

Los códigos de aspiraciones son un conjunto de ideales, como la integridad o la honradez en las investigaciones, que se espera sostengan los profesionales de un gremio determinado. Estas aspiraciones pueden ser realistas o idílicas. Por ejemplo, en 1965 la *American Chemical Society* (Agrupación Química Americana) aprobó un credo para químicos, “*Chemist Creed*”, que defendía que los químicos fuesen personas leales e incorruptibles, respetuosas con las cuestiones confidenciales, honradas, y justas en cuanto a sus honorarios. Con respecto a la química como profesión, en él se pedía que se mantuviese la dignidad de esta ciencia como rama principalmente práctica y de aprendizaje, se intercambiasen ideas e información a través de agrupaciones y publicaciones químicas, se reconociese generosamente el trabajo de los demás y se evitase hacer publicidad indebida.

Los códigos educativos o de asesoramiento buscan algo más que aspiraciones y, en cambio, ofrecen directrices para actuar convenientemente. En cuanto a los códigos de obligaciones, fijan normas que incorporan en sistemas reglamentarios más amplios, y a través de éstos, esas mismas normas se convierten en obligaciones. El Código Deontológico de 1963 del *American Institute of Chemical Engineers* (Instituto Estadounidense de Ingenieros Químicos)

incluyó una serie de reglas que debían cumplir sus miembros, como no desvelar información relativa al trabajo o procedimientos técnicos de ningún empresario o cliente actual o antiguo sin su consentimiento. Incumplir este Código podía dar lugar a sanciones de índole profesional o incluso jurídica.

Los códigos tienen distintas utilidades, entre ellas, resaltar aquellos ámbitos que susciten cierta inquietud entre los profesionales; sentar las bases para incorporar o excluir de la profesión química; ganar la confianza de la población; y, algo fundamental, fijar pautas de conducta.

Durante los últimos veinte a treinta años, la aprobación de códigos de conducta se ha convertido en una práctica común, sobre todo, en los países occidentales, de donde han surgido muchos de estos códigos. Sus objetivos y contenido han permitido recoger cada vez más el deseo generalizado de observar las repercusiones de la química en la sociedad y en el campo de la ética. Para citar un ejemplo, el credo de los químicos se revisó en 1994 para incluir una nueva responsabilidad, a saber, que los químicos debían entender y prever las repercusiones de su trabajo en el medio ambiente. Es responsabilidad de los químicos evitar la contaminación y proteger el medio ambiente.

En el pasado, los códigos de obligaciones eran más frecuentes en el ámbito de la ingeniería química que en la química orientada a la investigación. En muchos países, estos códigos eran parte de los sistemas de certificación en ingeniería química y, a menudo, establecían normas concretas para las relaciones comerciales. En los últimos años, se ha elaborado una serie de códigos para científicos que se dediquen a investigaciones básicas o aplicadas dentro del mundo académico. En los Estados Unidos, por ejemplo, durante los años ochenta y noventa, se produjeron varios escándalos en las altas esferas científicas por conflictos de interés, fraudes y otras formas de mala conducta en las investigaciones, surgidos entre el mundo académico y el sector empresarial. Quizá debido en parte a los hechos ocurridos en estas altas esferas, la Agrupación Química Americana publicó las *Professional Employment Guidelines* (Directrices para la contratación de profesionales), de 1988, y las *Ethical Guidelines to Publication of Chemical Research* (Directrices éticas para la publicación de investigaciones químicas), de 2000, cuyas aspiraciones eran muy superiores a los ideales plasmados en el credo para químicos.

Pros y contras

A pesar de la proliferación de los códigos, su valor ha sido cuestionado. A menudo se ha manifestado cierta preocupación por la eficacia de unos códigos de aspiraciones o de asesoramiento desprovistos a su vez de mecanismos coercitivos. Otra preocupación ha sido el hecho de que estos códigos apenas consiguen disuadir a aquellos que están dispuestos a no cumplirlos. Del mismo modo, el carácter fundamentalmente abstracto de los códigos de aspiraciones deja un amplio margen de interpretación en cuanto a las pautas a seguir. Su vaguedad y los pocos poderes que otorgan los convierten a veces en meros artilugios que utilizan algunas profesiones en sus relaciones públicas para disuadir a aquellos que no son parte del gremio de cualquier intento de inmiscuirse en su conducta.

Por supuesto, el rigor de los mecanismos existentes para promover y hacer cumplir estos códigos tiene un gran peso. Los defensores de los códigos de aspiraciones argumentan que la función de estos códigos es mucho más amplia que la de garantizar ciertas pautas de comportamiento; entre algunas de ellas, crear mayor concienciación, sugerir temas de debate,

delimitar responsabilidades, aumentar la confianza de la población, y establecer unas expectativas mínimas en el plano ético. En este sentido, el proceso mismo de elaboración del código puede ser tan importante como el escrito definitivo.

Los códigos de obligaciones no plantean estas dudas en cuanto a su eficacia. Sin embargo, sí se ha llegado a cuestionar la capacidad de los códigos escritos para determinar qué constituye una conducta *ética*. En estos casos, se suele argumentar que las decisiones éticas no se ciñen al mero cumplimiento de reglas y fórmulas “inertes”, ajenas a la complejidad de muchas situaciones. La función de los códigos debe ser obligar a las personas a pensar en lo que hacen y estimularlas a abordar abiertamente las repercusiones de su trabajo.

De ahí que los códigos que consisten en aspiraciones muy generales sean propensos a críticas por prestarse a diversas interpretaciones, mientras que los muy rigurosos se consideran inoperantes en situaciones muy complejas y cambiantes.

Como ejemplo de lo difícil que resulta utilizar códigos para tomar decisiones éticas cabe citar las obligaciones contradictorias que éstos contienen. Con frecuencia, los códigos incluyen la obligación de servir tanto los intereses del cliente como los de la población en general. El *Code of Ethics* (código deontológico) de 1993 del Instituto Estadounidense de Ingenieros Químicos entiende por servir los intereses del cliente no desvelar nunca información confidencial. En este mismo código se obliga también a que sus miembros respeten por encima de todo la seguridad física, la salud y el bienestar de la población. Si, valga de hipótesis, un químico sospechase que preservar la confidencialidad pudiese hacer peligrar el bienestar de la población (por ejemplo, ante rumores sobre las posibles consecuencias para el medio ambiente de algún producto a largo plazo), es evidente que el código, en tal caso, plantearía contradicciones. A menudo, los códigos resultan ambiguos y, como guías éticas, no son siempre fáciles.

Este ejemplo sobre la posibilidad de posibles daños en un futuro plantea otras interrogantes acerca de las responsabilidades de científicos e ingenieros. ¿Acaso basta con que hagan uso de sus conocimientos y especialidades siguiendo normas y reglamentos vigentes? ¿O deberían asumir científicos e ingenieros la obligación de garantizar que su trabajo redunde en beneficio de la sociedad (y en qué segmentos de ésta)? En resumen, se trataría de saber qué interrogantes necesitan plantearse en relación con las repercusiones de su trabajo.

Los códigos de conducta y la eliminación de las armas químicas

Tal como se ha señalado antes, los códigos se han elaborado muy a menudo en respuesta a distintas preocupaciones de la sociedad. Dada la atención creciente que en los últimos años han suscitado las “armas de destrucción en masa”, ha habido un mayor interés en abordar el papel de aquéllos que, en el ámbito de la química, pueden impedir la propagación y el empleo de las armas químicas. Así, se han propuesto códigos de conducta como medio de garantizar su eliminación.

Durante mucho tiempo, la conveniencia de que los científicos participen en investigaciones y descubrimientos de carácter militar ha sido un tema a debate en todo el mundo. Como era de esperar, la fabricación de armas químicas y la contribución de los químicos en esta labor han sido estrechamente relacionadas. El caso de Fritz Haber, ingeniero químico militar y patriota alemán, es un buen ejemplo de los muchos aspectos espinosos que existen acerca de la relación entre la ciencia y la ética. Durante la Primera Guerra Mundial, Harber participó

directamente en el programa de armas químicas alemán, y en 1915 dirigió personalmente el empleo por primera vez, como arma de guerra, del cloro gaseoso en Ypres (Bélgica). Con ello esperaba que su país estuviese claramente en ventaja, desde el punto de vista militar, en la guerra de trincheras que en aquel momento se encontraba en punto muerto. Sin embargo, no todo el mundo compartía con el mismo entusiasmo este uso de la química. La esposa de Faber, Clara, también ingeniero químico, se suicidó y, según algunas voces, su suicidio pudo estar en parte motivado por la participación de su esposo en la fabricación de armas venenosas.

En 1919, Haber recibió el Premio Nóbel por demostrar cómo fijar el nitrógeno de la atmósfera en la síntesis del amoníaco. Con estos trabajos llevados a cabo antes de la guerra, se crearon técnicas para la producción de fertilizantes artificiales, productos que han contribuido a una mayor producción de alimentos y, con ello, a luchar contra el hambre en el mundo. El descubrimiento de Haber también contribuyó a que Alemania contase con provisiones suficientes de explosivos detonantes durante la Primera Guerra Mundial. Se suele recordar a este hombre por decir en su discurso, al ser galardonado con el Premio Nóbel, que en ninguna guerra en el futuro el ejército podría prescindir de los gases tóxicos, pues eran el método mortífero más noble. Con ello quiso referirse a la capacidad que tenían las armas químicas para dejar fuera de combate a las tropas sin que ello implicase necesariamente la muerte de los soldados.

Desde principios del siglo XX, en numerosos foros internacionales se ha trabajado para lograr un acuerdo internacional que estableciese la no aceptación de las armas químicas. Con el tiempo, estos trabajos culminaron en la *Convención sobre las Armas Químicas*, de 1993, la cual prohíbe poseer y emplear armas químicas.

Científicos e ingenieros, así como profesionales de la química, tienen un papel importante que desempeñar en el mantenimiento absoluto de esta prohibición. Hay toda una serie de factores que plantean retos clave para el futuro. Aunque el avance constante de la química sintética, la creación de grandes bases de datos con los compuestos de las industrias farmacéutica y agroquímica, el perfeccionamiento de la tecnología de los microrreactores y la proliferación de estructuras de producción por lotes, contribuyen sin lugar a dudas a la fabricación de productos químicos de gran utilidad en el ámbito civil, estos mismos adelantos pueden hacer más fácil a su vez la fabricación de armas químicas.

Al mismo tiempo, dada la exención prevista en la *Convención sobre las Armas Químicas* para que ciertas sustancias químicas puedan usarse para “mantener el orden”, algunos ejércitos siguen trabajando en los llamados agentes químicos incapacitantes para la represión de disturbios, lo que, en opinión de otros, podría llegar a socavar los intentos por estigmatizar y eliminar todas las armas químicas.

La aprobación y promulgación de códigos de conducta es un modo de crear una mayor conciencia en torno a la prohibición de las armas químicas, lo cual a su vez alienta a los Estados y a las personas a cumplir con las obligaciones contraídas en virtud de la *Convención sobre las Armas Químicas*. En la actualidad, son pocos los códigos que abordan directamente el tema de las armas químicas, excepción hecha de algunos sectores de la industria química que se han adherido a la iniciativa sobre “gestión responsable”. Para éstos, es un deber asegurarse de no vender precursores de armas químicas. En general, la mayoría de los códigos no abordan cuestiones conflictivas como las relacionadas con la participación de científicos e ingenieros en el desarrollo de armamento.

Como excepción a la práctica general, la Red Internacional de Ingenieros y Científicos para la Responsabilidad Global hizo un llamamiento a ingenieros y científicos alentándoles a firmar un documento en el que se manifestaba lo siguiente:

Prometo no participar en el desarrollo ni en la producción de armas de destrucción en masa, ni de armas prohibidas por las convenciones internacionales.

Puesto que los resultados de la ciencia pertenecen, en última instancia, a la humanidad, consideraré en conciencia mi participación en investigaciones secretas que persigan intereses militares o económicos. No participaré en investigaciones secretas si deduzco que causarán perjuicio a la sociedad. Si decido tomar parte en alguna investigación secreta, reflexionaré en todo momento sobre las repercusiones que pueda tener para la sociedad y el medio ambiente.

Se trata de un ejemplo de código de aspiraciones, aunque con objetivos bien definidos.

Desde 1957, la organización *Student Pugwash* ha fomentado la responsabilidad de la ciencia y la tecnología ante la sociedad, dedicando atención especial a las cuestiones relacionadas con las armas y la guerra. En los años noventa, *Student Pugwash* estableció una promesa para jóvenes científicos (análoga al juramento hipocrático existente en la medicina) destinada a fomentar la reflexión ética. Esta promesa reza como sigue:

Prometo trabajar por un mundo mejor, en el que la ciencia y la tecnología se utilicen de modo responsable ante la sociedad. No dedicaré mis estudios con fines nocivos para las personas o el medio ambiente. Durante toda mi carrera, tomaré en consideración, antes de actuar, las repercusiones éticas de mi trabajo. Aunque puedan ser muchas las exigencias que se me impongan, firmo la presente declaración porque reconozco que ser una persona responsable es el primer paso en el camino hacia la paz.

El futuro de los códigos

La elaboración de los códigos

Se ha escrito mucho sobre los códigos de conducta en los ámbitos científico y técnico. Se han planteado muchas interrogantes, de las cuales se acaban de mencionar sólo algunas. Entre ellas, algunas serían:

¿Es verdaderamente necesario contar con códigos explícitos?

De ser así, ¿qué tipo de códigos?

¿Son eficaces?, ¿para qué?

¿Constituyen los códigos el modo más idóneo de garantizar normas de buen comportamiento?

¿Qué debe hacerse para que sean operativos y viables?

¿Puede esperarse que los códigos deontológicos tengan validez universal?

¿Tienen los códigos amplia difusión fuera de sus países de procedencia? ¿A quién corresponde la elaboración de los códigos?

¿Hay otros asuntos que se deban tener en cuenta?

En el recuadro *Otras lecturas* que figura a continuación se ofrecen varios sitios de Internet que tratan sobre los códigos. Después de leer varios de los documentos relacionados y de considerar los códigos existentes, piense para qué querría usted que sirviese un código.

¿Cuál debería ser su contenido?

¿Qué debería decir acerca de los científicos y los ingenieros, teniendo en cuenta las repercusiones de su trabajo?

¿Debería servir como mera inspiración?

¿O debería proporcionar directrices claras para actuar de forma adecuada?

¿Qué debería decir acerca de la necesidad de impedir que se propaguen las armas químicas?

¿A quién debería dirigirse principalmente?

En un mundo perfecto, ¿a quién correspondería su elaboración?

¿Cómo podría divulgarse y ser útil para científicos, ingenieros y, posiblemente, otros gremios?

Otras lecturas

Ejemplos de códigos

- Véase “Chemist Creed, Professional Employment Guidelines, and Ethical Guidelines to Publication of Chemical Research” de la *American Chemical Society* en <http://www.chemistry.org/>
- Véase “Code of Ethics” del *American Institute of Chemist* (1983) en <http://onlineethics.org/codes/AIC.html>
- Véase “Code of Ethics” del *American Institute of Chemical Engineers* (2003) en <http://www.aiche.org/about/ethicscode.htm>

Véase la base de datos de códigos científicos e ingenieros en <http://onlineethics.org/> y en <http://www.iit.edu/departments/csep/PublicWWW/codes/>

Análisis escogidos de códigos científicos e ingenieros

- Véase el estudio de diversos códigos científicos en ICSU (2001) Standards for Ethics and Responsibility in Science 27GA/02/12.4.1 [http://www.icsu.org/Gestion/img/ICSU_DOC_DOWNLOAD/217_DD_FILE SCRES-Standars_Report%20.pdf](http://www.icsu.org/Gestion/img/ICSU_DOC_DOWNLOAD/217_DD_FILE_SCRES-Standars_Report%20.pdf)
- Véase el examen de diversos dilemas éticos y la utilidad de los códigos para resolverlos en <http://www.pitt.edu/~bmclaren/ethics/caseframes/index.html>
- Véase el examen de los códigos en relación con las armas biológicas en <http://www.projects.ex.ac.uk/codesofconduct/>
- Véase el debate sobre la responsabilidad de los científicos en Rotblat J. “Science and Humanity in the Twenty-First Century” <http://www.nobel.se/medicine/articles/rotblat>

Brian Rappert
Universidad de Exeter (Reino Unido)