

## Un balance al juego sucio de la guerra química



El yacimiento sirio de Dura Europos es la prueba arqueológica más antigua del uso de armas químicas. En el siglo III a. C., los persas usaron una humareda tóxica para asfixiar a soldados romanos en un túnel

Nombre y apellidos:

Modalidad de examen: a) sin ordenador

b) con ordenador

**En ambos casos, el examen se debe realizar en formato STRIN**

## Un balance al juego sucio de la guerra química

Siria no sólo cuenta con el dudoso honor de ser responsable del primer ataque con armas químicas del siglo XXI (habiéndose negado, de forma reiterativa, a firmar la Convención Internacional sobre armas químicas, que prohíbe la producción, almacenamiento y uso de las mismas), sino que, es precisamente en territorio sirio, a orillas del Éufrates, donde se han encontrado las pruebas históricas más antiguas del uso de armas químicas. Ojo, que esto no quiere decir que no se hubieran usado antes (ya los griegos y los fenicios utilizaban los vapores sulfúricos en la guerra), sino que es en territorio sirio, concretamente en Dura Europos, donde se han encontrado las primeras pruebas históricas del uso de productos químicos en la guerra.

Aunque ahora volveremos a este episodio histórico, si se habla de armas químicas no podemos pasar por alto todo lo acontecido durante el siglo XX: no sólo es un periodo especialmente bélico para la humanidad, sino que, a pesar de los tratados internacionales firmados, a los seres humanos se les fue la cabeza con el uso de las armas químicas para acabar con sus enemigos. De hecho, el Premio Nobel alemán Fritz Haber llegó a tener la desfachatez de afirmar, durante su discurso de recogida del Premio Nobel en 1918, que “en ninguna guerra venidera los militares podrán ignorar los gases tóxicos, porque son una forma superior de matar”. Sin palabras!



El “Jekyll and Hide” de la química: Fritz Haber, en momentos de trabajo en su laboratorio.

Fue el zar de Rusia Nicolás II, en 1899, el primero que propuso una conferencia de paz para regular el asunto de las armas en general, y así establecer unas reglas de juego para cuando llegaran los momentos de guerra. Y así fue, se celebró la Conferencia de Paz en La Haya, y tras las múltiples discusiones entre los casi treinta países participantes, se decidió prohibir los proyectiles cuyo lanzamiento supusiera la difusión de gases asfixiantes o venenosos. Y ¿por qué de esta preocupación, a finales del siglo XIX, por el uso de las armas químicas? Porque, aunque no se habían usado todavía, al menos de forma oficial, se sabía de la producción masiva y experimentación de muchos países con potencialidad bélica a corto plazo.

Pero no nos dejemos llevar por la euforia de esta fiesta de paz y amor internacional, puesto que, inicialmente, Reino Unido no quiso firmar el acuerdo; Estados Unidos tampoco quiso firmar con la excusa de que no estaban convencidos de que utilizar gases asfixiantes fuera inhumano; y Alemania, aunque firmó, no tardó en implantar laboratorios secretos, bajo “la comisión secreta de químicas de combate” para el desarrollo de estos productos bélicos, eso sí, con la ayuda de empresas como Bayer (o es que pensabas que sólo se había dedicado a fabricar aspirinas...) o BASF.

Y llegó la Gran Guerra (en 1914), es decir, la Primera Guerra Mundial. Y aunque Alemania estaba más que preparada para soltar sus sustancias químicas sobre trincheras enemigas, fue Francia la primera en usarlas, y eso que también había firmado el susodicho acuerdo. Y es que, en periodos de paz se puede firmar lo que quieras para contentar al país vecino, pero la guerra es la guerra y los países han demostrado que sus principios, valores y convenios quedan olvidados en el fondo de un cajón cuando, de lo que se trata, es de matar al de enfrente. Eso sí, no les falta tiempo para encontrar argucias que justifiquen sus malas praxis.

Y así, los franceses empezaron a utilizar granadas de mano lacrimógenas que emitían gases que obligaban a los alemanes a abandonar sus trincheras. Es cierto, es cierto: no mataban... pero obligaban a salir de la trinchera para poder así disparar a un blanco fácil y aturdido. Y claro, Alemania, en vez de denunciar la ruptura del acuerdo firmado quince años antes, comenzó a utilizar armas con cloro, y para su justificación, su versión fue que no estaban incumpliendo el tratado firmado, puesto que lo que hacían era enterrar bombonas de cloro en el campo de batalla y abrir las espitas para enviar los gases al enemigo. Y tenían razón, porque el tratado prohibía lanzar proyectiles con gases asfixiantes, y claro, ellos nunca tiraron bombonas de cloro al enemigo, sino que solo las abrían cuando el viento les era favorable.



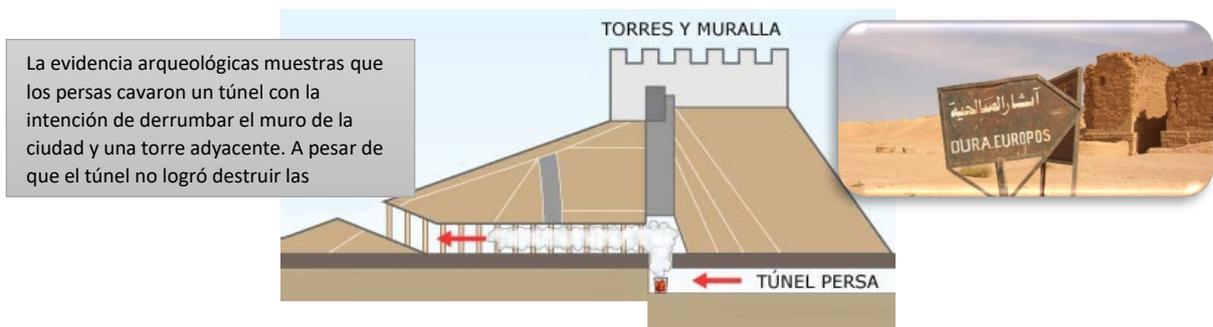
Soldados franceses saliendo de su refugio con máscaras de gas durante la primera guerra mundial.

Y tras franceses y alemanes, llegaron los ingleses, aunque su primer intento no les fue nada bien, el viento cambió de dirección y el gas afectó a sus propias filas atrincheradas. Y tras los ingleses, esto fue ya un no parar. Y con el tiempo se pasó del cloro al fosgeno, de colocar bombonas en el campo de batalla a usar proyectiles con químicos desarrollados específicamente con este fin, del gas mostaza al famoso napalm de la guerra de Vietnam... y es que Estados Unidos no se comprometió a no usar armas químicas hasta 1993. Aunque, como ya hemos visto, tampoco sirve de mucho firmar un acuerdo cuando luego la guerra justifica cualquier cosa... En fin, que la química, aunque usada de forma humanitaria salva vidas, también puede usarse para matar mucho, rápido y bien.

Pero volvamos a los orígenes: siglo III a. C, en Mesopotamia, cuna de la civilización.

En el año 250 el Imperio persa sasánida intentaba tomar la ciudad de Dura-Europos, que era una base militar romana fortificada con muros de varios metros de espesor. Los persas hicieron un túnel por debajo de las paredes para poder acceder a la fortificación, y los defensores romanos cavaron su propio túnel para intentar encontrarse cara a cara con sus enemigos y así poder interceptarlos.

Según una investigación publicada en el American Journal of Archaeology, eran nueve los soldados romanos que se encontraban en el túnel y que estaban dispuestos a defender la ciudad de Dura-Europos. Los romanos estaban preparados para una lucha cuerpo a cuerpo, pero les esperaba un enemigo que no podían atravesar con sus espadas. De repente, un intenso humo negro invadió la galería y se coló por sus pulmones. Los persas habían encendido un gran fuego en el túnel al que arrojaron azufre y alquitrán, seguramente obtenido a partir de la cocción de madera verde resinosa en condiciones de ausencia de oxígeno. No solamente murieron todos los soldados romanos, sino que también se ha encontrado el cadáver de un soldado persa... se olvidó que hay que tener mucho cuidado cuando se juega a la guerra con la química.



Los falsos documentos encontrados por arqueólogos inexistentes imaginarios indican el procedimiento que utilizaron los persas para la fabricación de esta mezcla de alquitrán y azufre. Se dice, sin fundamento, que fue el persa **LuisferAlh Sharam** el encargado de la fabricación, y en los escritos encontrados en su biblioteca se puede leer la descripción del proceso utilizado.

Inicialmente, se mezcla un flujo de madera verde (compuesta por material bituminoso en un 0,45, agua en un 0,35, tierra en un 0,20, hojas secas en un 0,01 y cenizas) con un flujo de paja que contiene un 30 % de material bituminoso y un 30 % de cenizas. El resto es agua, tierras y hojas secas. El valor del flujo de madera verde, en kg/h, coincide con el número de cadáveres encontrados en el yacimiento de Dura-Europos, mientras que el valor del flujo de paja, en kg/h, coincide con el número regnal (número que acompaña al nombre de un rey, zar, emperador...) de la persona que propuso la Conferencia de Paz de La Haya de 1899.

**LuisferAlh Sharam** describe que, de esta mezcla se obtienen dos flujos: uno residual y otro (con un 50 % de: material bituminoso, tierra, hojas y cenizas) que se introduce en el horno para la producción del alquitrán. Del horno, se obtiene, mediante un secado inicial, un flujo de agua que se recircula al mezclador inicial y un flujo que se introduce a un nuevo reactor para mezclarlo con piedras de azufre. En este nuevo reactor, por tanto, se introduce uno de los flujos que sale del horno y un flujo de piedras de azufre, que cuenta en su composición con un 1 % de cenizas y un 50 % de azufre (y nada de material bituminoso). De este reactor sale un flujo residual que se une al flujo residual del primer mezclador y un flujo final con todo el azufre introducido, un flujo de material bituminoso y 1,02 kg/h de cenizas, además de agua y tierra. Tras la mezcla de los dos flujos residuales, se obtiene un único flujo residual compuesto, entre otras cosas por agua, tierra y hojas, estando los tres componentes en un 50 %.

- a) Los arqueólogos inexistentes fueron incapaces de encontrar, entre los documentos de LuisferAlh Sharam, un diagrama de flujo del proceso. ¿podrías realizarlo tú?

**(1 punto)**

- b) Lo que sí que está claro en los papiros de LuisferAlh Sharam es que el rendimiento del proceso (entendido como el cociente entre el flujo final producido y todos los flujos de entrada al proceso) era del 0,5. ¿cuál es el valor del flujo residual producido? ¿cuánto vale el flujo con piedras de azufre que se introduce en el segundo mezclador? Y finalmente, ¿qué valor toma el flujo final de producción del proceso?

**(3 puntos)**

En el horno que produce el alquitrán se necesita energía, por un lado, para elevar la temperatura del flujo de entrada, que inicialmente está a 23 °C (con calor específico de 0,5 kcal/(kg·K)) hasta el valor que permita cambiar de estado al 95 % del agua que acompaña a dicho flujo. Este cambio de estado se produce a una presión de 10 kPa y consigue el cambio de estado de 5 kg/h de agua. Además, y una vez eliminado este 95 % de agua, se procede a su calentamiento hasta los 250 °C, temperatura a la que se forma el alquitrán. Considera que, en esta segunda fase de calentamiento, el calor específico es de 3,1 kJ/(kg·K).

La energía necesaria para este proceso procede de la reacción de combustión de madera seca, que tiene una entalpía de -15 kJ/(kg de madera seca).

- c) LuisferAlh Sharam, para esta combustión, adquirió 2 kg/h de madera seca. ¿sería suficiente para conseguir la energía necesaria

**(1,5 puntos)**

- d) Si LuisferAlh Sharam introducía 0,8 kmol aire/hora a la caldera que combustiona la madera seca (considera que la fórmula química de la madera es  $C_6H_{12}O_5$ ), ¿cuál es el porcentaje en exceso de aire que estaba utilizando?

**Dato rescate:** si no has resuelto el apartado anterior, utiliza 2 kg/h de madera como punto de partida.

**(1,5 puntos)**

- e) Aunque LuisferAlh Sharam tenía claro el proceso de producción de alquitrán y azufre, sus últimos años de vida los dedicó a realizar una mejora en el mismo. La muerte de uno de sus soldados durante el asalto a Dura-Europos le hizo pensar que sería conveniente diluir el contenido de azufre del flujo final. De esta manera, sus escritos esbozan una nueva idea para su proceso consistente en introducir el flujo final en una balsa con 0,05 m<sup>3</sup> de líquido sin azufre, con densidad 1,5 kg/m<sup>3</sup>. El objetivo es obtener un flujo de salida de la balsa de 1 m<sup>3</sup> con un contenido en azufre del 5 %. Este proceso sería válido hasta que la concentración en masa del azufre dentro del reactor fuera del 45 % (en masa), momento en el que se pararía el proceso. ¿Cuánto tiempo tendría que pasar para alcanzar este objetivo?

**Datos rescate:** si no lo has podido calcular, considera que el flujo de entrada toma un valor de 26 kg/h y que tiene una concentración en azufre, en tanto por uno, de 0,6.

**(3 puntos)**

Y esta historia es sólo para las armas químicas... en otro capítulo hablaremos de las armas biológicas; ya conocidas en la Edad Media cuando se utilizaban cuerpos de fallecidos por la peste para atacar a los enemigos o incluso en América, cuando los españoles lanzaban a los indios ropa infectada con viruela...

**... pero eso será otra historia!**

## Grandes cuestiones para reflexionar

(Hasta **3 puntos extra** y un **SuperComodín** para el siguiente control). Recuerda que es tan importante tu respuesta el día del examen como las **reflexiones** que se hagan al respecto el día de la **Evaluación Formativa**.

1.- ¿Qué es lo que más ha llamado tu atención de este acontecimiento histórico? ¿por qué?

2.- ¿Qué importancia consideras que tiene la ciencia, tanto en la evolución como en la destrucción de una sociedad?

3.- ¿Qué importancia consideras que tiene un ambientólogo en el avance de una sociedad?

4.- ¿Qué importancia te gustaría tener, como ambientólogo, en tu sociedad? ¿Dónde te gustaría verte, en el ámbito profesional, dentro de 15 años?

5.- ¿Consideras, y te estoy preguntando por tu opinión, que, a día de hoy, existen diferentes barreras entre hombres y mujeres para alcanzar sus metas científicas?

6.- ¿Crees que debería existir un código ético de obligado cumplimiento (similar al código deontológico de los médicos) para las científicas y científicos? ¿por qué? Indica 4 artículos que debería incluir este código, aunque tu respuesta haya sido negativa.

## APENDICE 8\*

### TABLAS DEL VAPOR DE AGUA SATURADO

(Tabla de temperatura)

| Temperatura (°C) | Presión (vapor saturado) (kPa) | Entalpia (vapor saturado) (kJ kg <sup>-1</sup> ) | Calor latente (kJ kg <sup>-1</sup> ) | Volumen específico (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> ) |
|------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| 0                | 0.611                          | 2501   | 2501                                 | 206   |
| 1                | 0.66                           | 2503   | 2499                                 | 193   |
| 2                | 0.71                           | 2505   | 2497                                 | 180   |
| 4                | 0.81                           | 2509   | 2492                                 | 157   |
| 6                | 0.93                           | 2512   | 2487                                 | 138   |
| 8                | 1.07                           | 2516   | 2483                                 | 121   |
| 10               | 1.23                           | 2520   | 2478                                 | 106   |
| 12               | 1.40                           | 2523   | 2473                                 | 93.8  |
| 14               | 1.60                           | 2527   | 2468                                 | 82.8  |
| 16               | 1.82                           | 2531   | 2464                                 | 73.3  |
| 18               | 2.06                           | 2534   | 2459                                 | 65.0  |
| 20               | 2.34                           | 2538   | 2454                                 | 57.8  |
| 22               | 2.65                           | 2542   | 2449                                 | 51.4  |
| 24               | 2.99                           | 2545   | 2445                                 | 45.9  |
| 26               | 3.36                           | 2549   | 2440                                 | 40.0  |
| 28               | 3.78                           | 2553   | 2435                                 | 36.7  |
| 30               | 4.25                           | 2556   | 2431                                 | 32.9  |
| 40               | 7.38                           | 2574   | 2407                                 | 19.5  |
| 50               | 12.3                           | 2592   | 2383                                 | 12.3  |
| 60               | 19.9                           | 2610   | 2359                                 | 7.67  |
| 70               | 31.2                           | 2627   | 2334                                 | 5.04  |
| 80               | 47.4                           | 2644   | 2309                                 | 3.41  |
| 90               | 70.1                           | 2660   | 2283                                 | 2.36  |
| 100              | 101.35                         | 2676   | 2257                                 | 1.673   |
| 105              | 120.8                          | 2684   | 2244                                 | 1.42  |
| 110              | 143.3                          | 2692   | 2230                                 | 1.21  |
| 115              | 169.1                          | 2699   | 2217                                 | 1.04  |
| 120              | 198.5                          | 2706   | 2203                                 | 0.892   |
| 125              | 232.1                          | 2714   | 2189                                 | 0.771   |

\* Reproducido con permiso de J.H. Keenan et al., *Steam Tables—International Edition in Metric Units*, John Wiley, New York, 1969

| Temperatura (°C) | Presión (vapor saturado) (kPa) | Entalpia (vapor saturado) (kJ kg <sup>-1</sup> ) | Calor latente (kJ kg <sup>-1</sup> ) | Volumen específico (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> ) |
|------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| 130              | 270.1                          | 2721   | 2174                                 | 0.669   |
| 135              | 313.0                          | 2727   | 2160                                 | 0.582   |
| 140              | 361.3                          | 2734   | 2145                                 | 0.509   |
| 150              | 475.8                          | 2747   | 2114                                 | 0.393   |
| 160              | 617.8                          | 2758   | 2083                                 | 0.307   |
| 180              | 1002                           | 2778   | 2015                                 | 0.194   |
| 200              | 1554                           | 2793   | 1941                                 | 0.127   |

| Temperatura (°C) | Presión (vapor saturado) (kPa) | Entalpia (vapor saturado) (kJ kg <sup>-1</sup> ) | Calor latente (kJ kg <sup>-1</sup> ) | Volumen específico (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> ) |
|------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| 7.0              | 1.0                            | 2514   | 2485                                 | 129   |
| 9.7              | 1.2                            | 2519   | 2479                                 | 109   |
| 12.0             | 1.4                            | 2523   | 2473                                 | 93.9  |
| 14.0             | 1.6                            | 2527   | 2468                                 | 82.8  |
| 15.8             | 1.8                            | 2531   | 2464                                 | 74.0  |
| 17.5             | 2.0                            | 2534   | 2460                                 | 67.0  |
| 21.1             | 2.5                            | 2540   | 2452                                 | 54.3  |
| 24.1             | 3.0                            | 2546   | 2445                                 | 45.7  |
| 29.0             | 4.0                            | 2554   | 2433                                 | 34.8  |
| 32.9             | 5.0                            | 2562   | 2424                                 | 28.2  |
| 40.3             | 7.5                            | 2575   | 2406                                 | 19.2  |
| 45.8             | 10.0                           | 2585   | 2393                                 | 14.7  |
| 60.1             | 20.0                           | 2610   | 2358                                 | 7.65  |
| 75.9             | 40.0                           | 2637   | 2319                                 | 3.99  |
| 93.5             | 80.0                           | 2666   | 2274                                 | 2.09  |
| 99.6             | 100                            | 2676   | 2258                                 | 1.69  |
| 102.3            | 110                            | 2680   | 2251                                 | 1.55  |
| 104.8            | 120                            | 2684   | 2244                                 | 1.43  |
| 107.1            | 130                            | 2687   | 2238                                 | 1.33  |
| 109.3            | 140                            | 2690   | 2232                                 | 1.24  |
| 111.4            | 150                            | 2694   | 2227                                 | 1.16  |
| 113.3            | 160                            | 2696   | 2221                                 | 1.09  |
| 115.2            | 170                            | 2699   | 2216                                 | 1.03  |
| 116.9            | 180                            | 2702   | 2211                                 | 0.978   |
| 118.6            | 190                            | 2704   | 2207                                 | 0.929   |
| 120.2            | 200                            | 2707   | 2202                                 | 0.886   |
| 127.4            | 250                            | 2717   | 2182                                 | 0.719   |
| 133.6            | 300                            | 2725   | 2164                                 | 0.606   |
| 138.9            | 350                            | 2732   | 2148                                 | 0.524   |
| 143.6            | 400                            | 2739   | 2134                                 | 0.463   |
| 147.9            | 450                            | 2744   | 2121                                 | 0.414   |
| 151.9            | 500                            | 2749   | 2109                                 | 0.375   |
| 167.8            | 750                            | 2766   | 2057                                 | 0.256   |
| 179.9            | 1000                           | 2778   | 2015                                 | 0.194   |