

¿Podrían existir los dragones de *Juego de Tronos*?

En *Juego de Tronos* hay dragones, gigantes, caminantes blancos y todo tipo de criaturas que habitan un mundo fantástico surgido de la imaginación de George R. R. Martin. Entonces, ¿qué tiene que ver la ciencia con *Juego de Tronos*? Más de lo que pudiera parecer a simple vista. De hecho, aunque la obra escrita por Martin y adaptada en forma de serie por HBO tenga como principales protagonistas a los herederos al trono de hierro, también tiene sus científicos: la orden de los maestros. Y aunque parezca que su importancia es menor, acaban teniendo un papel capital en la historia, a pesar de que no sean tan vistosos como Jon Snow, Daenerys Targaryen y compañía. Mientras estos tratan de conquistar Poniente, los maestros tratan de explicar Poniente. Y lo hacen utilizando el método científico, que caracteriza una orden que no sirve a ningún líder, sino a todos los habitantes del mundo de Poniente, a los que ofrecen una vida dedicada al estudio. Esto se simboliza con una cadena que sus miembros llevan colgada del cuello. La cadena está hecha de distintos materiales que son un símbolo de la disciplina en la

que el maestro ha demostrado un conocimiento extenso. Así, los maestros empiezan sus estudios como novicios y cuando dominan un campo concreto son puestos a prueba y posteriormente recompensados con un eslabón para la cadena. Llevar la cadena al cuello significa tener un grado de conocimiento poco habitual en Poniente. Por eso, estos científicos suelen tener un lugar de privilegio asesorando a los nobles. Uno de los primeros que conocemos en la serie es el maestro Luwin, que sirve a Ned Stark en Invernalía. Más tarde conocemos a Pycelle, que sirve al monarca de Desembarco del Rey, ejerciendo de Gran Maestro.

La posición de Pycelle, que ha servido a distintos monarcas de diferentes casas, refleja también la neutralidad de estos científicos. Ellos sirven al conocimiento, lo que les convierte en figuras que no tienen, o no deberían tener, lealtades hacia ninguna de las casas que controlan el poder en Poniente. Los maestros se basan en el método científico y menosprecian la creencia en la magia, lo que les separa de los alquimistas. Esto refleja la división

que existió en el mundo real entre la alquimia y la ciencia. La alquimia fue una práctica que investigó la naturaleza mediante una mezcla de filosofía, astrología, física, química y espiritualismo. Sus objetivos eran descubrir la piedra filosofal, encontrar el elixir de la vida o explicar la relación de los seres humanos con el cosmos. Sus orígenes parecen remontarse al siglo IV a. e. c. en Egipto y Grecia, y más tarde en India y China. Cuando los árabes tomaron Alejandría, en el siglo VII e. c., tradujeron textos alquímicos al árabe, y es de este idioma del que fueron traducidos al latín por los estudiosos occidentales en los siglos XII y XIII. La alquimia no puede ser considerada una ciencia, pero contribuyó en algunos aspectos a los primeros pasos de la Revolución Científica (1543-1687), por lo que podemos denominarla una protociencia. Científicos tan destacados como Isaac Newton y Robert Boyle dedicaron parte de sus trabajos a la alquimia, y probablemente esta les inspiraría algunos de sus descubrimientos.

En el mundo de Poniente, los alquimistas habían tenido su época de mayor influencia durante el reinado de Aerys II, pero actualmente han perdido su posición ante los maestros (la ciencia). Sus instalaciones subterráneas contrastan con la majestuosa Ciudadela de los maestros. Así, la orden de los maestros son una suerte de primeros científicos, si comparamos el

universo de la serie con el mundo real. En estos primeros pasos, la ciencia se encuentra también con dilemas éticos, que en la historia de *Juego de Tronos* personifica Qyburn, un maestre que fue despedido de la Ciudadela por realizar experimentos ilegales con humanos (vivisecciones). Salvando las distancias, parece que el personaje de Qyburn puede estar inspirado parcialmente en Josef Mengele, el «ángel de la muerte» del campo de concentración de Auschwitz. De hecho, Qyburn encuentra su momento de gloria como consejero en el gobierno dictatorial de Cersei Lannister, que relega a Pycelle a un segundo plano y da a Qyburn una credibilidad que no tenía nombrándolo Mano del Reina.

Pero el científico con un papel más destacado de *Juego de Tronos* es Sam, cuya trayectoria en la serie consiste precisamente en intentar convertirse en maestre. Finalmente, al llegar a la Ciudadela, descubre que la vida de conocimiento que soñaba no es como pensaba, y queda decepcionado por el funcionamiento de la orden (el equivalente a la comunidad científica). Descubre que es un mundo donde las jerarquías entre sus miembros tienen una importancia excesiva y la posibilidad de una hipótesis que invalide el conocimiento ya adquirido es menospreciada sistemáticamente por la mayoría de sus miembros. Así, la amenaza de los caminantes

blancos es recibida con risas por los maestros de la Ciudadela. En última instancia, Sam acaba desengañado, no sin antes descubrir a través de sus estudios que el vidriagón es una sustancia muy útil para acabar con los caminantes blancos. De hecho, se podría argumentar que sin el conocimiento científico, que Sam transmite de los libros a Jon Snow, no se habría encontrado la forma de vencer a los caminantes blancos, y el destino de los habitantes de Poniente habría sido muy distinto del que finalmente fue en la serie. Así que sí, vamos a argumentar que la ciencia tiene importancia en *Juego de Tronos*.

Lo vamos a hacer también planteando preguntas que surgen si miramos la serie con curiosidad científica. Nos fijaremos en criaturas mágicas, fenómenos meteorológicos y muertes espectaculares. Y descubriremos que, aunque sea de un mundo de fantasía, la ciencia es capaz de explicar muchas de las escenas más impactantes de *Juego de Tronos*. De hecho, la existencia de algunos elementos, como los dragones de Daenerys, puede tener una explicación racional. Y es que Drogon y compañía son el último ejemplo de dragones que logran captar el imaginario de la audiencia. Previamente había habido otros dragones célebres, como Smaug, de *El Hobbit*. Todos se basan en variaciones de una misma criatura que aparece en el folklore de diversas culturas. Se ven por primera

vez en el arte de la antigua Mesopotamia, pero están presentes en mitologías de muchas culturas de diferentes partes del mundo. El antropólogo David E. Jones formuló una hipótesis para explicar el hecho de que el dragón sea una criatura culturalmente tan transversal, apuntando que el ser humano había heredado el miedo instintivo hacia las serpientes. Esto se debe a que la serpiente era un depredador importante para nuestros ancestros. El dragón, como figura imaginaria, tiene atributos parecidos a los de la serpiente, tanto en la forma como en los lugares que habita, por lo que es una manera de introducir en el imaginario colectivo un miedo que es ancestral y que todavía hoy tiene una presencia importante en muchos relatos del género fantástico. Sin embargo, aparte de esta explicación, queremos saber si un dragón como el que aparece en *Juego de Tronos* sería posible en la vida real. Vamos a aplicar un poco de ciencia para descubrirlo.

¿Son científicamente posibles los dragones de Daenerys?

Para responder a esta pregunta debemos empezar considerando la física del vuelo, es decir, el mecanismo básico que permite a aves, murciélagos, aviones y helicópteros desplazarse por el aire. Cualquiera de ellos, mientras vuela, está sometido a la acción de cuatro fuerzas que actúan en cuatro direcciones distintas. Por una parte

¿Podrían existir los dragones de *Juego de Tronos*?

está el peso (hacia abajo), que debe ser compensado con la sustentación proporcionada por las alas (hacia arriba), y por otra parte está el arrastre o resistencia aerodinámica (hacia atrás), que se vence gracias al empuje (hacia delante) proporcionado también por las alas, en el caso de aves y murciélagos, o por los motores en los aviones y helicópteros.

Las alas tienen un perfil aerodinámico que debe ser ajustado a las necesidades del vuelo. Las de las aves están formadas principalmente por plumas y en su parte frontal incluyen los huesos del brazo, terminados en dos dedos. En cambio, las de los murciélagos consisten en una fina membrana elástica de piel y su brazo tiene cinco dedos que la abarcan por completo. Tales características hacen que estos animales tengan una capacidad de maniobra muy superior a la de las aves.

Por lo que respecta a las alas de los aviones humanos, estas son en su mayor parte rígidas, aunque incluyen elementos articulados, como los *flaps* y los *spoilers*, que permiten variar sus características en fases concretas del vuelo (en los helicópteros, cada aspa actúa como un ala). La fuerza de sustentación necesaria para mantener en vuelo un avión se logra dando al ala un perfil aerodinámico y un ángulo de ataque adecuados, y generando el empuje necesario en los motores, según la fórmula: $S = (C_s \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A) / 2$,

en la que S es la fuerza de sustentación, C_s es el coeficiente de sustentación, ρ es la densidad del aire, V es la velocidad verdadera (relativa a la masa de aire en la que está volando) y A es el área del ala. Suponiendo un vuelo horizontal a una velocidad constante y sin variaciones en las condiciones atmosféricas, la fracción $(C_s \cdot \rho) / 2$ puede ser sustituida por una constante k , y entonces la fórmula se reduce a la expresión $S = k \cdot V^2 \cdot A$. Esta puede aplicarse por igual a las aves y los murciélagos, con la salvedad de que en este caso la velocidad no la proporcionan los motores, sino las mismas alas.

Nos interesa averiguar si la fórmula implica algún tipo de limitación en el tamaño máximo de un hipotético dragón. Vemos en ella que la fuerza de sustentación es proporcional al producto de la superficie alar por el cuadrado de la velocidad alcanzada. En una primera aproximación podemos suponer que tanto el peso del ave como la superficie y la fuerza de sus alas aumentan con el tamaño del animal; sin embargo, no lo hacen en la misma proporción. Mientras que el peso está relacionado con el volumen, y por tanto es proporcional al cubo del tamaño del ave, la superficie alar solo aumenta al cuadrado. Dicho de otra manera, si determinada especie tiene un tamaño (dimensión lineal) del doble que otra, el peso de la primera será $2^3 = 8$ veces mayor, pero su superficie alar, de la que dependen

su sustentación y su empuje, será solo unas $2^2 = 4$ veces mayor. Y tal diferencia aumenta exponencialmente, pudiendo llegar a valores tan altos que hagan imposible el vuelo.

Apliquémoslo al caso de los dragones. Como no disponemos de medidas concretas, trataremos de obtenerlas a partir de la observación y la medida de las imágenes de la última temporada en las que aparecen simultáneamente dragones y humanos (u otros objetos que permiten comparar sus dimensiones). De este modo llegamos a la conclusión de que Drogon tiene una longitud de unos 35 m y una envergadura de 70 m, con una superficie alar aproximada de 400 m². Deducir su peso resulta más complicado. Podemos obtener un valor aproximado dividiendo la imagen del dragón en fragmentos del tamaño aproximado de un elefante. Obtenemos así un volumen de unos 10 elefantes, y como un elefante africano puede pesar unas 6 t, el peso del dragón debe ser de unas 60 t (unos 590.000 N). Con estos datos ya podemos emplear la fórmula anterior: $S = k \cdot V^2 \cdot A$. Aplicando un valor estándar (1,22 kg/m³) para la constante y sustituyendo los restantes valores obtendremos $590.000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 1,22 \text{ kg/m}^3 \cdot V^2 \cdot 400 \text{ m}^2$, y por tanto $V^2 = 590.000 / (1,22 \times 400)$, o sea, $V \approx 35 \text{ m/s} \approx 126 \text{ km/h}$, lo que resulta un valor elevado, pero posible.

Consideremos ahora qué sucede en el mundo real. Según un estudio publicado en 2016 por el American Museum of Natural History, en el mundo existen entre 15.000 y 20.000 especies de aves, cuyo tamaño oscila entre los 6 cm y 2,5 g del colibrí zunzuncito hasta los 2,8 m y 160 kg de los avestruces. Sin embargo, de todas ellas, ninguna de más de 20 kg puede volar (algunos ejemplares de la avutarda kori, nativa de África, alcanzan este peso). Por lo que respecta a los murciélagos, los de mayor tamaño son los del género *Pteropus* y pueden alcanzar un peso de 1600 g y una envergadura de 1,8 m. Por otra parte, si nos remontamos al pasado vemos que desde hace 228 millones de años hasta hace 66 millones de años nuestro planeta fue habitado por los pterosaurios, los primeros animales vertebrados que desarrollaron la capacidad de volar. Los fósiles más antiguos encontrados corresponden a especies muy pequeñas, de poco más de medio metro de envergadura, pero las nuevas especies fueron aumentando su tamaño hasta llegar al *Quetzalcoatlus northropi*, de 200 kg de peso y algo más de 10 m de envergadura, con el cuerpo recubierto de pelo y un enorme pico semejante al de un pelícano. Como en las aves actuales, es probable que las especies de mayor tamaño no pudieran volar, pero en caso contrario el *Quetzalcoatlus northropi* sería el animal volador más grande que haya existido en la Tierra. Aun así, su peso sería 300 veces inferior al del dragón.

El animal más pesado de los mares, la ballena azul, alcanza las 190 t, y el más pesado en tierra, el elefante africano de sabana, puede llegar a las 12 t, pero la más pesada de las aves voladoras no sobrepasa los 20 kg. Sin duda debe haber una razón de peso (perdón por el juego de palabras) para que esto sea así. Mantener en el aire un animal tan pesado como un dragón comporta un coste energético que no se compensa con los posibles beneficios que ello pueda proporcionarle. Además, las alas, y muy especialmente los huesos de estas, estarían sometidos a un esfuerzo inmenso que probablemente no podrían resistir sin romperse. En suma, parece muy poco probable, por no decir imposible, la viabilidad de un dragón que vuele como los de la serie.

Para que los dragones puedan lanzar fuego necesitan producir tres tipos de componentes en grandes cantidades: un combustible poco pesado, oxígeno y una fuente de calor adecuada que genere una llama o una chispa. Además, los órganos internos del dragón deben poder soportar el almacenamiento de estos productos, el proceso de generación del fuego y el paso de este por el cuello y la garganta. Por lo que respecta al combustible, podría ser el metano. Si una vaca puede producir algunos cientos de litros de metano al día, un dragón debería poder obtener una cantidad

mucho mayor, aunque sería necesario que comiera hierba en lugar de carne. El oxígeno es abundante en el aire, y no debería ser problema. En cuanto a las chispas necesarias, podrían provenir del choque de piedras –preferentemente piritita y sílex– contenidas en la vía digestiva para ayudar a la trituración de los alimentos (las mollejas de las aves realizan esta función). Los problemas principales serían cómo proteger el cuello y la garganta, y cómo generar de modo continuo la inmensa cantidad de fuego necesaria para destruir castillos y ciudades.

Aunque el caso de los dragones no parece viable, en el mundo real algunos animales pueden escupir sustancias muy calientes. Es el caso del escarabajo bombardero, del cual existen más de 500 especies y se encuentra en todos los continentes excepto la Antártida, que cuando es amenazado lanza a su atacante un aerosol tóxico extremadamente caliente. El animal dispone de dos depósitos en el interior de su abdomen: en uno de ellos almacena hidroquinona (un derivado del benceno) y en el otro peróxido de hidrógeno (agua oxigenada). Cuando el escarabajo se siente amenazado, ambos productos se mezclan en una antecámara revestida con enzimas. La reacción es altamente exotérmica y la mezcla alcanza casi los 100 °C y genera 1,4-benzoquinona mediante la reacción

$$C_6H_4(OH)_2 + H_2O_2 \rightarrow C_6H_4O_2 + 2 H_2O.$$

¿Podrían existir los dragones de *Juego de Tronos*?

El hediondo gas resultante es expulsado de forma violenta en dirección a la amenaza (la punta del abdomen del escarabajo puede girar 270°).

¿Por qué el invierno de *Juego de Tronos* tarda tanto en llegar?

«Se acerca el invierno» dice Ned Stark, taciturno. Esta frase fue usada habitualmente como mantra entre los Stark para presagiar tiempos difíciles, siendo adoptada como lema por los fans de la serie. El invierno como sinónimo de dureza, de un tiempo en el que va a ser difícil sobrevivir, es una constante en la serie. Está apoyado en la peculiaridad de las estaciones del mundo de la serie, que a diferencia de las nuestras duran varios años y su prolongación es imprevisible. Así, la llegada del invierno supone con toda seguridad el inicio de un periodo difícil para la mayoría de los habitantes de Poniente, especialmente los que viven en el norte. ¿Pero a qué se deben las estaciones erráticas del mundo de *Juego de Tronos*? Vamos a proponer tres posibles respuestas.

La primera: el impacto de meteoritos. Entre las órbitas de Marte y Júpiter se encuentra el llamado cinturón de asteroides, un amasijo de rocas de tamaños muy variados, desde pequeñas partículas de polvo hasta otras de centenares de kilómetros. Los frecuentes choques entre ellas las lanzan a gran velocidad en todas

direcciones y algunas acaban llegando a la Tierra. La fricción con la atmósfera destruye las de menos de 25 m, pero las de mayor tamaño pueden llegar al suelo y entonces reciben el nombre de meteoritos. El mayor meteorito conocido que se conserva en una sola pieza es el Hoba, que pesa 60 toneladas, mide 2,7 × 2,7 × 0,9 m y se encuentra en Namibia. Se calcula que su impacto se produjo hace unos 80.000 años. Los meteoritos de mayor tamaño causan daños significativos, de alcance local para los de hasta un kilómetro, y mundial por encima de este tamaño.

Ejemplo de esto último es la extinción masiva del Cretácico-Paleógeno, que tuvo lugar hace 66 millones de años y provocó la extinción de tres cuartas partes de todas las especies de plantas y animales que existían en la Tierra. Pudo haber sido causada por el impacto de un cuerpo celeste (un asteroide o un cometa) de entre 11 y 81 km de diámetro, que habría chocado con la Tierra a unos 20 km por segundo con un ángulo cercano a 60°. El impacto generó el cráter de Chicxulub, de unos 150 km de diámetro y 20 km de profundidad, actualmente enterrado bajo la península de Yucatán, en Méjico. Las deyecciones producidas ennegrecieron la atmósfera en todo el mundo durante varios años, creando una noche continua. Del mismo modo, la variabilidad de las estaciones en el mundo de *Juego de*

Tronos podría explicarse suponiendo que su órbita se cruza con la de un cinturón de asteroides (o pasa cerca de él). Ello provocaría aleatoriamente impactos de variada intensidad que generarían los largos e imprevisibles inviernos de Poniente.

Segunda posibilidad: la erupción de volcanes. Como en el caso del impacto de un meteorito, la erupción de un volcán puede generar nubes de humo y cenizas que bloquean la luz del sol y disminuyen así la temperatura del suelo, pero este es un efecto a corto plazo. El efecto a largo plazo, el más preocupante, se debe a los compuestos de sulfuro expulsados a la estratosfera. Allí, durante meses reaccionan con vapor de agua para formar aerosoles sulfúricos que generan un velo blanquecino que aumenta la reflectividad (albedo) del planeta, haciendo que nos llegue menos energía del sol y disminuya la temperatura. Estos aerosoles pueden permanecer en la estratosfera durante meses e incluso años. Aunque sus efectos guardan cierta similitud con los del impacto de meteoritos, la actividad volcánica parece una mejor explicación de la variabilidad de los inviernos de Poniente, aunque todavía nos queda explorar una tercera opción.

Tercera posibilidad: los movimientos del planeta. La Tierra, como el resto de los planetas del sistema solar, gira alrededor del Sol siguiendo una órbita elíptica en la que este ocupa uno de los focos. Sin embargo, su

excentricidad es tan baja (0,0167) que la órbita es prácticamente circular. Además, la Tierra gira sobre sí misma con un eje que pasa por los polos. Si este eje fuera perpendicular al plano de la órbita, cada lugar de la Tierra tendría todos los días del año el mismo tiempo de exposición al Sol, pero no es así, ya que el eje de rotación está inclinado $23,5^\circ$ en una dirección fija respecto a las estrellas. De este modo, en un punto de la órbita el Polo Norte tiene su máxima inclinación hacia el Sol (el solsticio de verano del Polo Norte), y en el extremo opuesto la inclinación es en sentido contrario (el solsticio de invierno del Polo Norte). Ello hace que los días sean más largos en verano y más cortos en invierno.

Cuando hacemos girar una peonza resulta muy difícil que el eje de rotación quede exactamente vertical (aunque lo consiguiéramos, cualquier pequeño efecto externo o la pérdida de velocidad tenderá a alejarla de la verticalidad). Entonces observamos que, además de girar en torno a su eje, la peonza se mueve también generando una superficie cónica de revolución en torno al eje vertical (eje de precesión). Y si somos más observadores veremos que, además, la distancia del eje de rotación al eje de precesión varía periódicamente (se aleja y se acerca) en un movimiento de cabeceo que recibe el nombre de «nutación». Pues bien, lo mismo sucede con la Tierra. Además del movimiento de rotación (una vuelta cada 23 horas,

56 minutos y 4,1 segundos), experimenta el de precesión con un ciclo que dura 25.772 años y que hace que la posición de los polos celestiales cambie con el tiempo. Así, si actualmente vemos en el Polo Norte celestial la estrella α -Ursae Minoris (estrella del Norte), la más brillante de la constelación de la Osa Menor, futuras generaciones verán en la misma posición otras estrellas distintas.

Si el planeta de *Juego de Tronos*, en lugar de seguir una órbita casi circular, tuviera una en la que la mayor distancia al Sol fuera el doble que la más corta, entonces tendría un muy largo y extremadamente frío invierno durante el cual apenas recibiría la cuarta parte de radiación solar que en el resto de la órbita. Invierno largo explicado. Sin embargo, para explicar la variabilidad de los inviernos deberíamos combinarlo con algún elemento adicional imprevisible, como por ejemplo que el planeta esté expuesto cada pocos años a impactos de meteoritos o erupciones de volcanes. Un último aspecto que hay que tener en cuenta es que en el mundo real disponemos de una luna de tamaño considerable que actúa como estabilizadora de la inclinación del eje terrestre. Sin ella, probablemente las estaciones serían mucho más impredecibles. En *Juego de Tronos*, Poniente tiene una luna, pero no sabemos si es muy lejana o de poco tamaño. Si fuera así, podría también explicar la irregularidad de

las estaciones por la desestabilización del eje del planeta.

¿Es realista la fuerza que exhibe la Montaña en sus combates?

Juego de Tronos también es una serie muy conocida por escenas que dejan a los espectadores prácticamente traumatizados. Las muertes de algunos personajes han provocado auténticos ataques de histeria que han quedado documentados en vídeos de YouTube. Uno de los más demoledores y que exige una respuesta científica tiene lugar en el octavo episodio de la cuarta temporada, en el que se produce un juicio por combate que enfrenta a Oberynt Martell contra Gregor Clegane, conocido con el sobrenombre de la Montaña. En un giro de guion, este último atrapa a Oberynt poniéndose encima de él y le coge la cabeza con las dos manos. Tras reventarle los ojos, hundiéndolos dedos en ellos, le aplasta el cráneo con las manos. ¿Es posible que un ser humano, aunque sea tan fuerte como la Montaña, pueda llegar a hacer algo así? Una referencia al respecto se encuentra en un estudio sobre los efectos protectores de los cascos para ciclistas (publicado en 2012 en *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*). En él se usaron cráneos humanos procedentes de cadáveres que se acondicionaron y rellenaron con material adecuado para que sus características fueran lo más

¿Podrían existir los dragones de *Juego de Tronos*?

parecidas posible a las de los cráneos de las personas vivas. En una prensa se hicieron pruebas de compresión y se comprobó que para romper el cráneo sin casco era necesaria una fuerza de 2300 N (236 kgf), una cifra que viene a ser el doble de la que una persona muy fuerte puede lograr con sus manos.

En la serie ha habido otras muertes espectaculares (por llamarlas de alguna manera). Una de las primeras, y por ello de las más sorprendentes, fue la de Viserys Targaryen, hermano de Daenerys. Ávido por conseguir ser rey, es «coronado» con un chorro de oro fundido que Khal Drogo le tira por la cabeza. ¿Es la escena científicamente posible? Tendríamos que ver si la fogata que se ha utilizado para fundir el oro podría haber sido suficiente, ya que el oro funde a 1064 °C. Si lo hubiera mezclado con plomo le habría bastado una temperatura muy inferior, con la que quizás sí habría sido posible. Sin embargo, no es una muerte muy cruel, si la comparamos con otras que se muestran en la serie, ya que el cerebro humano en sus tres cuartas partes es agua, que herviría en pocos segundos, y la muerte de Viserys sería casi instantánea. Más lenta y dolorosa es la muerte, en la quinta temporada, de Shireen Baratheon, quemada en una hoguera. Habitualmente, en esta forma de ejecución se solía matar a varios reos a la vez utilizando una hoguera grande, y en realidad estos morían por intoxicación por dióxido

de carbono antes de que las llamas les alcanzaran el cuerpo. En el caso de Shireen, sin embargo, está sola y la madera está agrupada a sus pies, consumiéndose lentamente mientras sufre una larga y terrible agonía. Es una de las muertes más crueles, pero quizás poco recordadas al tratarse de un personaje secundario bastante menor de la serie.

¿En qué sustancia real se inspira el fuego valyrio?

Las explosiones también han sido las grandes protagonistas de algunas de las escenas más espectaculares de *Juego de Tronos*, especialmente las realizadas con fuego valyrio. Basta con recordar la batalla de Aguasnegras de la segunda temporada, o la explosión del Gran Septo de Baelor en la sexta temporada, para recordar lo que esta sustancia verde es capaz de hacer. Hombres volando por los aires, edificios estallando y haciéndose pedazos a gran velocidad, muerte por doquier. Es una sustancia muy peligrosa, pues basta una chispa, el calor del sol o una sacudida para provocar su violento encendido, y entonces resulta casi imposible de apagar, ya que puede arder en el agua. No hay más solución que sepultarlo en arena o esperar a que se consuma por completo. En grandes cantidades es explosivo, y su transporte debe ser realizado con cuidado, pues cualquier accidente puede inflamarlo. Sus propiedades le convierten en un arma ideal en las

batallas navales para destruir los barcos enemigos. Otra característica peculiar es que con el tiempo aumenta su fuerza. Su naturaleza está envuelta de secretismo, pues los encargados de su fabricación son los miembros del gremio de alquimistas de Desembarco del Rey, quienes lo llaman «la sustancia» y son los únicos que conocen el secreto del proceso, en el que interviene cierto tipo de magia. Cuanto mayores son la pericia y la experiencia del mago, más agresivo será el fuego.

La fabricación tiene lugar en los sótanos de la sede del gremio, en un laberinto bajo la colina de Visenya. Y aunque parezca que el fuego valyrio es completamente ficticio, su inspiración probablemente provenga del mundo real, pues existen en el mundo dos sustancias de características bastante similares.

La primera es el denominado «fuego griego». Lo usó el Imperio Romano Bizantino para defender Constantinopla, principalmente en los asedios de los años 673-678 y 717-718. Se lanzaba contra los barcos enemigos con una especie de fuelle, a modo de lanzallamas, o también dentro de unas tinajas, disparado con ballestas. Su fórmula era guardada como un secreto, pero es probable que contuviera nafta, resinas y azufre, y posiblemente cal viva (óxido de calcio), salitre o amoniaco. Se utilizó hasta 1204, cuando su fórmula se perdió para siempre durante los saqueos y la destrucción de Constantinopla en la cuarta Cruzada.

La segunda sustancia de este tipo, mucho más reciente, es el napalm. El nombre proviene de los dos componentes de su primera versión: el ácido nafténico (mezcla de ácidos carboxílicos presentes en el petróleo) y el ácido palmítico (un ácido graso saturado que se encuentra en animales, plantas y microorganismos). Aunque la fórmula ha variado, habitualmente el nombre de napalm se utiliza tanto para la versión inicial como para las nuevas. Fue desarrollado en 1942 en un laboratorio secreto de la Universidad de Harvard para el Servicio de Guerra Química de los Estados Unidos. Su diseño hace que arda incluso en el agua, es muy difícil de apagar, alcanza grandes temperaturas (llega incluso a fundir el acero), se adhiere a las superficies y penetra en trincheras, búnkeres y otros refugios. Además, a diferencia del fuego valyrio, no se enciende fácilmente, lo que hace que se pueda transportar con mayor seguridad. Fue usado abundantemente por los Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial, la Guerra de Corea y la Guerra de Vietnam (solo en esta última lanzaron 388.000 toneladas de napalm).

¿Existe un material como el vidriagón?

En caso de que alguna vez nos atacaran los caminantes blancos, nos iría bien tener a mano alguna arma fabricada con vidriagón. En el mundo de *Juego de Tronos*, el vidriagón es

muy efectivo para derrotar a estos enemigos, tal como descubre Sam, cuando queriendo defender al bebé de Gilly empuña una daga hecha de vidriagón para atacar a un caminante. Al clavar la daga, el caminante grita de dolor mientras se convierte en hielo y se rompe en mil pedazos con un estallido. Más adelante, y sabiendo el efecto que tiene el vidriagón, y con la guerra contra los Caminantes Blancos cada vez más cercana, Jon Snow ordena que se busque esta sustancia para fabricar armas. Esto le acaba llevando hasta Dragonstone, ahora en manos de Daenerys, que le permite extraer vidriagón de las minas mientras ella está concentrada en su enfrentamiento con Cersei. De nuevo en Invernia, es Gendry quien se encarga de dirigir la forja de todo tipo de armas utilizando el vidriagón. Una de estas armas tendrá un papel crucial en el final de la serie. ¿Pero existe el vidriagón en el mundo real? Pues sí. Se trata de la obsidiana, una roca volcánica extremadamente cortante, brillante y fuerte, con la que los pueblos antiguos fabricaban armas y elaboraban adornos. De hecho, según Sam, vidriagón es el nombre popular con el que se conoce la obsidiana en Poniente, pues en la segunda temporada dice: «Debe ser vidriagón, lo que los maestros llaman obsidiana».

La obsidiana es una roca ígnea dura y frágil, cuyos cantos afilados son sumamente cortantes. Suele ser de color negro, pero a veces puede

presentar tonos rojos o marrones. Se forma en ciertas erupciones volcánicas, con una lava que contenga una gran cantidad de sílice y que se enfríe rápidamente. De este modo se convierte en un vidrio uniforme. Era utilizada ya por nuestros antepasados hace más de 1,5 millones de años. Cuando los grupos de cazadores-recolectores prehistóricos recogían obsidiana y la trabajaban, dejaban escamas que permiten a los arqueólogos actuales estudiar sus movimientos, ya que las características químicas de la roca encontrada permiten determinar el origen de las piezas y, por tanto, la distancia recorrida. Actualmente se utiliza con fines ornamentales o como piedra preciosa. También hay algunos cirujanos que utilizan escalpelos hechos con obsidiana, pues su corte es más fino y causa menos daño al tejido orgánico, de manera que las heridas quirúrgicas sanan más rápidamente. Eso se debe a que su filo es hasta cinco veces más fino que el de los escalpelos de acero.

El acero es, precisamente, otro de los materiales con los que se fabrican armas en el mundo de *Juego de Tronos*. Existen dos tipos de acero: el normal y el valyrio. El normal es conocido por todos; se trata de una aleación de hierro y carbón (hasta el 2,14%, pero en general menos del 0,4%), acompañados a veces por otros elementos, como el cromo (para el acero inoxidable), el vanadio,

¿Podrían existir los dragones de *Juego de Tronos*?

el molibdeno o el níquel. Por sus excelentes propiedades, el acero es uno de los materiales más utilizados hoy día. Entre el hierro y el acero suman el 95% del metal producido en el mundo. La producción mundial de acero en 2019 superó los 1800 millones de toneladas, más de la mitad de las cuales se produjeron en China. Por sus características de dureza, resistencia y flexibilidad, el acero parece el material idóneo para

la producción de espadas. Sin embargo, el proceso necesario para conseguir una buena espada es complejo y delicado, y requiere profesionales expertos. Hay que ajustar el contenido de carbón y la temperatura para conseguir la estructura cristalina adecuada, proceder a un enfriamiento rápido en aceite o agua para aumentar su dureza, seguido de un calentamiento a baja temperatura para eliminar

tensiones internas y reducir su fragilidad.

El acero valyrio se distingue del acero normal porque las espadas y dagas que se hacen con él son extraordinariamente fuertes y resistentes. Están forjadas con fuego de dragón, lo cual ya hace que sea imposible que existan en la vida real (ya hemos establecido que los dragones no existen). Sin embargo, el acero valyrio sí está inspirado en

uno del mundo real: el acero de Damasco (o acero wootz). Este tiene su origen en el sur de India en el siglo V a. e. c., y se caracteriza por unos patrones de bandas formados por capas de carburos microscópicos de martensita (o ferrita) y perlita. En el proceso se partía de hierro poroso que era golpeado en caliente para liberar la escoria, se partía en fragmentos que se sellaban con virutas de madera y se calentaba

hasta que el hierro absorbía el carbón de la madera y se fundía. Se obtenía así un acero con un porcentaje de carbón del 1-1,5% que se forjaba para transformarlo en las espadas de Damasco y otros objetos.

Las espadas de Damasco tenían un filo muy fino y resistente, hasta el punto de que, según se decía, eran capaces de cortar en dos una pluma lanzada al aire. Algunos científicos las han estudiado para intentar

descubrir su secreto. En 2006, un grupo de ellos utilizó un microscopio electrónico de alta resolución para examinar un sable de acero de Damasco del siglo XVII, y observó que el borde afilado contiene nanotubos de carbono y nanoalambres de cementita, lo que podría ser la causa de sus propiedades. Sin embargo, tal afirmación no ha sido confirmada por nuevos estudios.