

## EL ACERO VALYRIO, DESDE LA FANTASÍA Y LA CIENCIA FICCIÓN

---

FÁTIMA TERNERO FERNÁNDEZ  
*Universidad de Sevilla*

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. LA CIENCIA FICCIÓN

La Ciencia Ficción empezó a hacerse popular en los años cuarenta y cincuenta del siglo pasado con autores, hoy ya clásicos, que disponían de sólidos conocimientos científicos. Entre estos cabe citar a Isaac Asimov, Arthur Clarke, Carl Sagan o Gregory Benford. A menudo estos autores unían a sus capacidades como escritor, las de divulgador científico. Según Asimov una de las funciones principales de la ciencia ficción es especular con amenidad sobre “la respuesta humana a los cambios científicos y tecnológicos”. En este sentido, el ámbito de la ciencia ficción ciertamente es muy distinto del de la verdadera Ciencia, que es su fuente de inspiración necesaria.

El interés por la ciencia ficción como género narrativo reside en su amenidad y en sus inteligentes especulaciones acerca del futuro. La ciencia ficción hace cuestionarse «¿qué sucedería si...?» partiendo de premisas consideradas sorprendentes o demasiado avanzadas para que ser consideradas realistas. Pero también, por otra parte, la ciencia ficción nos ofrece una fuente inagotable de maravillas asombrosas como nuevos seres o mundos, las nuevas culturas, nuevas tecnologías, nuevos materiales.

Los grandes descubrimientos en ciencia y tecnología han sacudido a las sociedades que los promovieron. Pero debe tenerse en cuenta que, en general, el avance en ciencia y tecnología se debe a la acumulación de pequeños cambios, que solo tras un largo lapso de tiempo se traduce en

cambios radicales de la sociedad. La imaginación puede ayudar a anticipar esos cambios por venir, y, en ocasiones, predecir el futuro de una manera asombrosa. Ejemplos de estas predicciones son: los viajes a la Luna que Julio Verne anticipó casi cien años antes, en su *De la Tierra a la Luna* (1865). La ciencia ficción también ha especulado sobre la antimateria, el diseño genético, o la nanotecnología antes que la propia ciencia.

Es muy posible que precisamente en esos fenómenos maravillosos resida la fuente de atractivo que los jóvenes encuentran en la ciencia ficción. Si a todo ello, se une el despliegue de efectos especiales habituales en el cine es innegable el fuerte poder de persuasión que la ciencia ficción posee y de su conveniente introducción en las aulas. De hecho, ya en el siglo pasado la ciencia ficción se empezó a introducir en currículos de las universidades anglosajonas, iniciativas que fueron seguidas, con cierto retraso, en nuestro país (en 1991, Antonio Ara González publicó sus experiencias en un instituto de enseñanza secundaria canario: “Sobre la utilización de cuentos de ciencia ficción como recurso pedagógico para la enseñanza de la física y otras ciencias”).

## 1.2. ENSEÑAR Y DIVULGAR CIENCIA A TRAVÉS DE LA CIENCIA FICCIÓN

No todo el camino está libre de riesgos. Dada su naturaleza artística, la ciencia ficción no tiene entre sus objetivos ser exacta y correcta en el uso que predica de la ciencia y de la técnica. A menudo, le basta utilizar la ciencia para captar el interés y provocar reflexión y obtener conclusiones sobre hechos científicos o tecnológicos. La traslación al ámbito docente debe poner en contraste qué es cierto y qué es especulativo, lo que constituye una tarea de sumo interés por sí misma.

Así pues, la utilización de la ciencia ficción en las aulas se presenta como un recurso, interesante y atractivo, para motivar y hacer reflexionar a los estudiantes. Pero también, como herramienta de análisis tanto de cuestiones puramente científicas como de determinados aspectos de la ficción que resultan erróneos o irreales. En este sentido se persigue desarrollar la visión crítica de los estudiantes hacia la ciencia ficción; inculcando la necesidad de saber distinguir los aspectos con base científica de aquellos que radican en la imaginación del autor, para no dar por válidos argumentos que no son posibles. Evitar de esta manera el

“analfabetismo científico”. En este capítulo nos centraremos en un aspecto muy concreto de la ciencia ficción: los materiales fantásticos y de ficción que a menudo se incluyen en sus argumentos, bien como piezas clave, bien como piezas meramente descriptivas de un futuro tecnológicamente muy avanzado o dominado por la magia. Los géneros fantásticos o de ciencia ficción (ya sean libros, películas o series de televisión) están plagados de materiales fantásticos con propiedades asombrosas; ellos serán nuestro objetivo.

### 1.3. MATERIALES FANTÁSTICOS

Hubo un tiempo en que el hombre solo conocía un puñado de materiales, todos ellos brindados por la naturaleza. Tiempo después el hombre supo modificar las propiedades de algunos de ellos, aplicando calor. Así obtuvo el barro cocido y algo más tarde el vidrio. Los metales vinieron después. Los primeros en ser conocidos fueron proporcionados directamente por la naturaleza; ese fue el caso del oro. El resto tuvo que ser extraído de las rocas, aplicando también calor.

Los metales, sin duda, han moldeado las civilizaciones humanas. En su día, por sus singulares propiedades, muy probablemente fueron considerados objetos mágicos, ajenos a este mundo. Dado que pocas veces pueden encontrarse de forma libre, su extracción ha constituido un extraordinario reto para las grandes civilizaciones. La técnica de la extracción de los metales y su posterior procesado no constituye una tarea sencilla por lo que es lógico entender que solo pudo conseguirse con tesón y buena dosis de ensayo y error. Cuando una sociedad conseguía un hito, era lógico que no compartiera ese secreto con otras civilizaciones o sociedades, pero sí el producto obtenido, que se convertía, ipso facto, en una rentable fuente de ingresos por comercio con las culturas de su entorno.

¿Por qué resultaron tan difíciles estos logros? ¿Tiene que ver esta dificultad con la escasez de la materia prima? ¿Por qué los métodos fueron reinventados en momentos distintos de la historia en puntos distintos del planeta?

Todas estas cuestiones, pese a su gran interés y a su enorme importancia en la historia de las civilizaciones humanas, caen fuera de los currículos

de las asignaturas básicas de Ingeniería y Ciencia de los Materiales. Más lejana aún queda la posibilidad de abordar materiales que ni siquiera son reales, por pertenecer al terreno de la fantasía o de la ficción. Sin embargo, se trata de temas que interesan fuertemente a los alumnos y que sirven para captar su atención hacia otros asuntos menos agradables.

La información que se proporciona en lo que resta de capítulo puede servir para hacer una introducción de la historia de los metales, de su secuencia de descubrimientos y la relación de esta con la dificultad del procesado. Todo conducente a la tecnología del acero, nuestro principal aliado tecnológico. Como gancho motivador de todo este recorrido utilizaremos el popular «acero valyrio».

#### 1.4. EL ACERO VALYRIO

El acero valyrio, es el material metálico popularizado por la serie televisiva “Juego de Tronos” y por las novelas en las que está basada, la serie de novelas de “Canción de hielo y fuego”. Con esta excusa se puede introducir la historia de cuándo y cómo fue posible obtener hierro a partir de sus minerales y cuándo fue posible tratarlo para que las propiedades finales fueran superiores a las del bronce.

El refinamiento de las técnicas de procesado posteriores nos llevará a estudiar las microestructuras características de los aceros y nos permitirá discutir un precedente histórico real, “el acero de damasco”, en el que está basado el “acero valyrio” de la ficción.

## 2. OBJETIVOS

En este trabajo se propone establecer las pautas de un posible seminario interactivo con los alumnos, con un propósito tremendamente sugerente: prestar atención a algunos de los materiales de la ficción, para tratar de dilucidar si son realmente fantásticos o, en cierto modo, ya existen o podrían existir, y en todo caso, servir de fuente de inspiración para desarrollar otros materiales, perfectamente reales y útiles, que posean algunas de sus características excepcionales.

El objetivo principal de este trabajo es, pues, desarrollar espíritu crítico en los alumnos para ayudarles a discernir qué materiales de los presentados en los géneros de fantasía y ficción podrían realmente existir, ya existen de algún modo o no podrán existir de ninguna de las maneras.

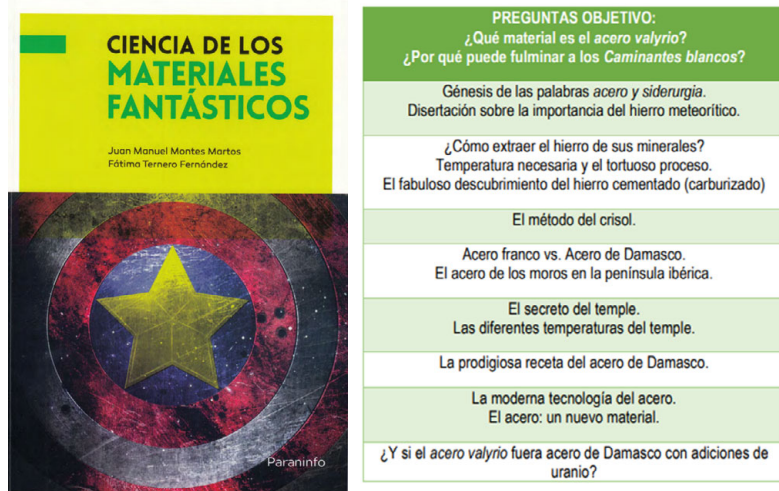
Concretamente, en este trabajo se ha seleccionado el denominado «acero valyrio», popularizado por la serie televisiva «Juego de Tronos». El estudio se apoyará en el capítulo sobre ese material recogido en el libro de «Ciencia de los Materiales Fantásticos». El interés en este trabajo se centra en un material fantástico concreto: el «acero valyrio», extraído de la serie televisiva «Juego de Tronos», para confrontarlo con su referente histórico que constituye el «acero de Damasco». Esta confrontación permitirá introducir aspectos históricos y tecnológicos asociados con la tecnología del acero, que quedan habitualmente fuera del currículo. El objetivo último es captar la atención e interés de los alumnos por las disciplinas de Ciencia y tecnología de los materiales, buscando la complicitad de sus series, películas y libros favoritos.

### 3. METODOLOGÍA

Los alumnos deberán leer el capítulo «El acero valyrio» del libro elegido material de apoyo, «Ciencia de los materiales fantásticos». (Figura 1, izquierda) (Montes y Ternero, 2019).

Tras la lectura de dicho capítulo se solicitará a los alumnos que planteen preguntas claves relacionadas, para que ellos mismos las respondan. Para facilitar este punto, se establecerán una serie de temáticas o apartados sobre los que preguntar, tal como se recogen en la Figura 1 (derecha). Dos preguntas consideradas cruciales será planteadas por el profesor: (1) «¿Qué material es el acero valyrio?» y (2) «¿Por qué pueden fulminar a los Caminantes Blancos?» Estas serán las preguntas que deban poder contestarse al término del Seminario.

**FIGURA 1.** (izquierda) Libro de divulgación, uno de cuyos capítulos servirá de apoyo para el desarrollo del seminario. (derecha) Bloques temáticos en los que se estructura el capítulo y sobre los que cabe plantear preguntas.



Al hilo de las preguntas planteadas, y de acuerdo con el criterio del profesor, este deberá introducir ciertos aspectos relevantes que adornen o completen las respuestas a las distintas preguntas planteadas. También añadirá alguna pregunta si algún bloque no merecido la atención de ellos alumnos y ha quedado sin preguntas.

Una vez contestadas todas las preguntas, se deberá haber conseguido una idea bastante adecuada de la importancia de los aceros y de su problemática tecnológica, todo ello desde una perspectiva histórica en la que los problemas que la tecnología debería resolver para obtener buenas propiedades se van presentando de manera gradual. Descubrir así, la importancia de la proeza que supuso para el ser humano el dominio del acero.

El acero es un material paradigmático y especialmente importante en nuestra tecnología actual. El «acero valyrio» es, simplemente, un subterfugio que usaremos para desarrollar los aspectos que consideramos relevantes de la historia y evolución tecnológica del acero.

Al concluir debería quedar claro el antecedente histórico y real del acero valyrio, en el que el autor se inspiró, a qué se deberían sus singulares

propiedades, muy superiores a las del acero convencional, y de paso, también a qué podría deberse su fulminante efecto sobre los temidos «Caminantes blancos» de la ficción.

## 4. RESULTADOS

En lo que sigue vamos a extraer algunas ideas importantes a destacar de cada uno de los bloques temáticos en que se estructura el capítulo. Este análisis servirá al profesor para plantear preguntas adicionales o incorporar datos interesantes y relevantes.

### 4.1. GÉNESIS DE LAS PALABRAS ACERO Y SIDERURGIA

El hombre conoció por primera vez el *hierro* a partir de meteoritos.

Se han encontrado objetos de acero en tumbas egipcias (hacia el 3500 a.C) que procedían necesariamente de meteoritos pues aún no se sabía cómo extraer hierro a partir de sus minerales.

El término «siderurgia», con el que se conoce a la industria del acero, comparte raíz con las palabras «sidéreo» o «sideral», que describen lo concerniente a los cielos (de donde procedían los meteoritos y donde vivían los dioses). El hierro fue considerado un metal divino.

### 4.2. DISERTACIÓN SOBRE LA IMPORTANCIA DEL ACERO METEORÍTICO

El acero meteorítico era más resistente que el bronce y menos pesado. El acero meteorítico no era un acero al carbono, sino una aleación de hierro y níquel, que le confería unas extraordinarias propiedades de resistencia mecánica y también a la corrosión, razón por la que ha podido llegar a nuestros días en perfecto estado de conservación.

Desgraciadamente, los meteoritos son muy escasos. Esto, unido a la escasez de bronce, volvió imperativo conseguir extraer hierro a partir de sus minerales (curiosamente muy abundantes), como ya se hacía con el cobre. Pero esta labor no resultó nada fácil.

### 4.3. ¿CÓMO EXTRAER EL HIERRO DE SUS MINERALES?

La extracción del hierro de sus minerales, mezcla de óxidos de hierro y de otros compuestos, no es fácil. Por supuesto se requieren altas temperaturas (lo que exige necesariamente el trabajo de un fuelle de aire), y, sobre todo, la intervención de un agente químico (monóxido de carbono) que arranque el oxígeno de los óxidos liberando así al hierro metálico. Esta es la tarea que realiza perfectamente el monóxido de carbono. Desde el punto de vista químico, el proceso es simple:

Óxido de hierro + monóxido de carbono → dióxido de carbono + hierro

### 4.4. TEMPERATURA NECESARIA Y TORTUOSO PROCESO PARA LA EXTRACCIÓN

¿Cómo llegaron a encontrar esta vía? Por casualidad. Motivados por conseguir temperaturas más altas, mezclaban los minerales con leña que, al arder en condiciones de poca aireación, además de calor, liberaba también monóxido de carbono. Se trataba, pues, de un efecto secundario crucial.

Así, los minerales se convertían en piezas de un hierro poroso que ahora denominamos «hierro esponja», que se compactaba mediante martilleo sobre un yunque («hierro forjado»).

Desgraciadamente, tras este laborioso esfuerzo, las propiedades obtenidas de este hierro resultaban mucho peores que las del bronce.

En este momento todo estaba en contra del hierro: el bronce podía fundirse y verterse en moldes a temperaturas mucho menores. Y esta situación no cambió durante los dos milenios que siguieron al descubrimiento de cómo extraerlo de sus minerales.

Hacia el año 1200 a.C., los hititas descubrieron un modo ingenioso para hacer que las propiedades del hierro superaran a las del bronce.

### 4.5. EL FABULOSO DESCUBRIMIENTO DEL ACERO CEMENTADO

El proceso que descubrieron los hititas fue lo que hoy llamamos «carburation» o «cementación»; el primer paso hacia la consecución del acero. Realmente, no obtuvieron acero masivo, sino «hierro acerado».



La clave, tal como ahora sabemos, es la incorporación de pequeñas cantidades de carbono en el interior del hierro. Para superar las propiedades del bronce, los herreros tuvieron que ingeniárselas para introducir hasta un 0.4% de carbono en el hierro, lo que no resulta nada fácil.

Una vez conformada el arma de hierro forjado, se introducía en un crisol de barro completamente rodeada de carbón de leña molido, se sellaba el recipiente, y se mantenía al rojo vivo durante varias horas (por eso es conocido como «método del crisol»).

La pieza resultante tenía una cubierta o piel muy dura, acerada, en tanto que el interior se mantenía sin alteración (por efecto del calor, el carbono del carbón de leña se difunde desde la superficie hacia el interior de la pieza de hierro, formando una capa dura de acero (hierro y carbono).

Este proceso de carburación, con algunas mejoras, todavía se emplea en la actualidad y es útil porque permite conformar fácilmente la pieza, y endurecerla una vez ya está conformada.

#### 4.6. ACERO FRANCO VERSUS ACERO DE DAMASCO

La cementación fue el método habitual para convertir la superficie del hierro forjado en acero, desde los tiempos de los hititas hasta toda la Edad Media.

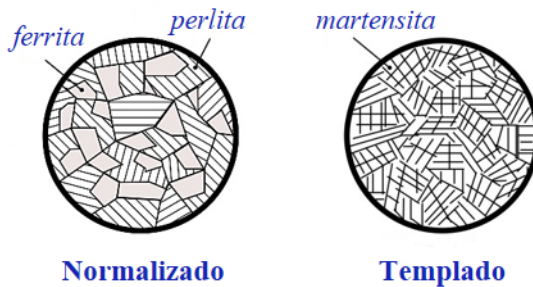
Para las espadas, el proceso descrito no era suficiente. Se requería varios ciclos de cementar, estirar la pieza, plegarla, cementarla, con objeto de que el carbono (y el beneficio que introducía) llegara hasta el interior de todo el material que conformaba la pieza.

#### 4.7. EL SECRETO DEL TEMPLE

En algún momento de la historia se descubrió que la resistencia y dureza de las espadas todavía podía mejorar si, tras además del proceso descrito anteriormente, era luego calentada a alta temperatura, y luego enfriada bruscamente introduciéndola en agua o aceite. El proceso se denomina en castellano «temple». Esta palabra proviene del término latino *temperare*, que significa «moderar, entibiar o suavizar la fuerza de algo». (Las palabras «atemperar» e «intemperie» tienen la misma etimología.)

Hoy sabemos, que el proceso de temple desencadena la formación de una fase extraña llamada martensita que es la responsable del endurecimiento del material. La figura 2 muestra el cambio desencadenado por el temple en la estructura interna observada a través del microscopio (microestructura) de un acero del 0.35% de carbono.

**FIGURA 2.** (Izquierda) Microestructura inicial de un acero del 0.35% C (hipoeutectoide) en la que se observan cristales de ferrita embebidos en perlita (formada por laminillas alternadas de ferrita y cementita). (Derecha) Microestructura obtenida tras el proceso de temple, en la que solo se observa martensita.



Las espadas de los cruzados que se aventuraron a la reconquista de las tierras santas tenían esta tecnología metalúrgica de acero templado (conocido como «acero franco» o «acero cristiano»). Las espadas de los cristianos eran pesadas, rectas y de un brillo blanquecino.

Las espadas de su enemigo, las tropas del sultán Saladino, estaban fabricadas con una tecnología muy diferente y en muchos sentidos superior (la del «acero de Damasco»). Eran espadas más ligeras, muy tenaces, de filos muy cortantes y duros y de un color azulado.

Los cruzados pensaron que las singulares propiedades de esas espadas se debían a la presencia de algún ingrediente secreto. Conseguido, por la fuerza, el material a partir del cual los herreros sirios fabricaban sus espadas (unas tortas de hierro llamadas «wootz»), se lo entregaron a sus herreros. De poco sirvió. Cuando los herreros cristianos calentaban esas tortas y comenzaban a forjarlas a martillo, se desmoronaban rápidamente, haciéndose añicos.

#### 4.8. LA PRODIGIOSA RECETA DEL ACERO DE DAMASCO

La tecnología del acero de Damasco era secreta, naturalmente. Doblemente secreta podríamos decir. Por un lado, estaba la receta (secreta) de cómo obtener el material de partida, lo que se hacía en otra parte del mundo (la India). Por otro lado, estaba la receta (secreta) de dar forma de espada a esa materia prima. Tan secreto fue todo que la receta no llegó a nuestros días. Lo que hoy sabemos es una reconstrucción (ingeniería inversa) a partir de las piezas de acero de Damasco que han llegado a nuestros días.

Los sucesivos intentos por descubrir su secreto que siguieron siglos después ayudaron en la comprensión del papel que representaba el carbono en las propiedades del acero.

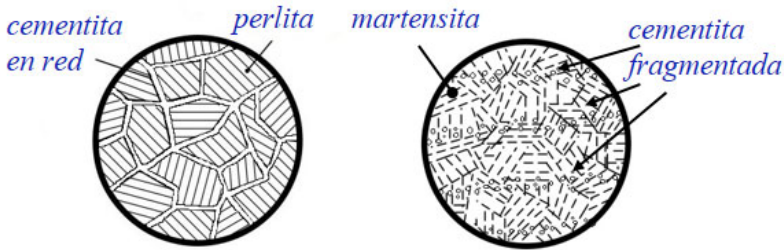
Hoy sabemos que el acero cristiano era un acero hipoeutectoide (con contenido de carbono inferior al 0.77%), mientras que el acero de Damasco era un acero hipereutectoide (con contenido de carbono superior al 0.77%).

En los talleres de la India, que fabricaban el wootz, se había encontrado un modo de introducir grandes cantidades de carbono en el hierro. (El proceso no fue reinventado en Europa hasta muchos siglos después).

El procesado de este wootz requería temperaturas mucho más bajas de las que habitualmente empleaban los herreros cristianos (por eso nunca funcionaron sus intentos de forja). Además, el proceso debía añadir una etapa de martilleo encargado de romper el endoesqueleto de cementita en red, característico de los aceros hipereutectoides y responsable de que sean frágiles.

La figura 3 muestra el cambio microestructural interno de un acero con alto contenido de carbono (por ejemplo, 1.5%), desde su microestructura inicial que otorga al material carácter frágil, hasta la segunda, que concede las propiedades características de un genuino acero de Damasco.

**FIGURA 3.** (Izquierda) El wootz, por su alto contenido de carbono presenta internamente una microestructura de granos de perlita perfilados por una red continua de cementita. El material resulta extremadamente quebradizo y poco tenaz. (derecha) Sometiendo a temperaturas entre 650 y 850 °C, y martilleando reiteradamente, la red de cementita es fragmentada, globulizada y dispuesta en forma de hileras. Tras el proceso de temple se obtiene una estructura martensítica trufada de los glóbulos de cementita en hileras. Esa es la microestructura característica de un acero de Damasco.



¿Cómo llegaron los herreros sirios a encontrar las claves del complicado proceso de fabricación del acero de Damasco? Sin duda, a través del ensayo y error. ¿Algún inconveniente? Claro, su procesado más laborioso y largo lo convertía en un material mucho más costoso, al que solo tenían acceso las tropas de élite de los ejércitos.

#### 4.9. EL ACERO DE LOS MOROS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

La península ibérica tuvo una Edad Media muy diferente del resto de Europa, y en ella convivieron reinos cristianos y moros. El Al-Andalus de la aquella España estaba gobernada por reinos y califatos muy poderosos y ricos, por lo que, naturalmente, tuvieron acceso a la tecnología del acero de Damasco. La Tizona del Cid, su arma más querida, estaba hecha con ese acero.

Los maestros herreros de todo Al-Andalus dominaron la tecnología del acero de Damasco, destacando los de la ciudad de Sevilla, que llegó a ser uno de los grandes centros de producción de armas hechas con ese acero. También se fabricaron con él magníficos espejos, aprovechando su perfecta superficie y su muy blanco reflejo (solo igualable al de los mucho más costosos espejos de plata).

#### 4.10. EL ACERO MODERNO

Hoy día no utilizamos la receta del acero de Damasco porque resultaría demasiado costosa, no apta para un uso generalizado. Las exigentes propiedades que hoy esperamos del acero se han logrado por otras rutas más simples y más baratas.

Con hornos especiales (más altos) que permitían temperaturas más elevadas, por fin se consiguió fundir el hierro. El hierro fundido podía verterse («colarse») en moldes, por lo cual se llamó «hierro colado» o «fundición». Las piezas así obtenidas, resultaban más baratas y duras que el hierro forjado, tan duras, sin embargo, que resultaban quebradizas.

Esa fragilidad, sabemos hoy, es debida al altísimo contenido de carbono de ese hierro, en un porcentaje superior al 2% y a menudo cercano al 4%. Hasta mediados del siglo XIX no fue posible controlar el contenido de carbono de manera eficaz y barata, de modo que el acero siguió siendo un metal caro, reservado para espadas, muelles y componentes estructurales críticos de máquinas, puentes y edificios.

El ingeniero Bessemer, en 1850, pensó que la solución al problema pasaba por disminuir el contenido de carbono de las funciones. Su solución fue ingeniosa y simple: fundir el hierro y hacerlo pasar a través de un chorro de aire, de modo que el oxígeno reaccionara con el carbono liberando dióxido de carbono. Bessemer comprobó en su laboratorio que mediante los adecuados controles podía producirse acero en cantidad y a un costo muy competitivo.

#### 4.11. EL ACERO UN NUEVO MATERIAL

Conocida la forma de obtener acero barato, el objetivo siguiente fue el de mejorar sus propiedades con la adición de otros metales («aleando»).

En 1882, Hadfield descubrió que añadiendo manganeso al acero (un 12% en masa), se obtenía una aleación más dura, muy apta para ser empleada para el triturado de metales. En 1900, se descubrió que una aleación de acero que contenía wolframio y cromo mantenía su dureza a altas temperaturas, incluso al rojo vivo, por lo que resultaba idónea para maquinaria de corte y mecanizado.

La vulnerabilidad a la corrosión se protegía pintándolo, pero también recubriéndolo con capas de un metal menos vulnerable a la corrosión, como el níquel, el cromo, el zinc, el cadmio, el estaño o el aluminio. En 1913, Brearley descubrió, por azar, que un acero con contenido de cromo, almacenada a la intemperie, no perdía su brillo porque no se oxidaba. Llamó a esa aleación «acero inoxidable».

En el presente, existen innumerables aceros de aleación para determinados trabajos, que incluyen, por ejemplo, molibdeno, níquel, cobalto y vanadio (hay catalogados más de 2000 tipos de aceros). Las propiedades siguen mejorándose constantemente. Hoy día también se añaden tierras raras buscando diferentes efectos. El acero sigue siendo un material objeto de estudio en la actualidad.

#### 4.12. ¿ES EL ACERO VALYRIO UN TIPO DE ACERO DE DAMASCO?

El propio autor de las novelas reconoce que esa fue su fuente inspiración. Desde luego este acero reúne características únicas (flexibilidad, dureza de filo, aspecto superficial) que lo hacen muy diferente del acero convencional (el acero hipoeutectoide).

¿Bastaría eso para explicar el supuesto poder que la serie le atribuye, por el que sería capaz de fulminar a los «Caminantes Blancos»? No, naturalmente. Ni su filo, ni su excelente flexibilidad, ni la belleza de sus sinuosas marcas podrían justificar el fulminante efecto que poseen sobre esos seres. La solución científica pasa por añadir al acero algún elemento aleante que pudiera provocar tan notorio efecto sobre esos seres de otro mundo. ¿Podrían los sabios valyrios haber añadido algún elemento radiactivo como el uranio?

### 5. DISCUSIÓN

En las dos ocasiones en las que se ha llevado a cabo esta experiencia en forma de Seminario, las preguntas formuladas por los alumnos resultaron completas y permitieron discutir la mayoría de los detalles de interés. Solo algunos aspectos relaciones con las microestructuras de los aceros hipo e hipereutectoides requirieron aclaraciones por parte del

profesor. El debate surgido (acalorado en algún momento relativo a determinados aspectos de la ficción) fue extremadamente enriquecedor.

El segundo Seminario fue más dinámico aún. La estrategia empleada fue la misma, pero el auditorio fue inicialmente segregado en dos grupos que compitieron entre sí. La rivalidad, favorecida por el conteo de puntos tras cada pregunta, se tradujo en un escenario divertido y muy ilustrador.

## 6. CONCLUSIONES

Los objetivos marcados fueron plenamente satisfechos. Tras la experiencia, el interés por los materiales en los alumnos ha crecido de manera importante, como han demostrado las altas cotas de participación y la tormenta de ideas presentadas por ellos. La inclusión a través de esta vía de elementos habitualmente ausentes en el currículo tradicional confirma que esta es una estrategia acertada. La discusión sobre las dos soluciones históricas para el problema de optimización del acero de las espadas (la solución occidental y la oriental) constituye un buen ejemplo ingenieril de que las soluciones a veces no son únicas. Se trata de un bonito ejercicio que los alumnos han agradecido grandemente.

## 8. REFERENCIAS

- Asimov, I. (1989) *¿Ciencia y Ciencia Ficción?* España, Madrid: Ed. SM.
- Verne, J. (1865). *De la tierra a la Luna*.
- Montes, J.M. y Ternero, F. (2019). *Ciencia de los Materiales Fantásticos*. Ed. Paraninfo