



## Comunicaciones académicas

### Ingeniería metalúrgica y defensa

José M. Torralba Castelló

Academia de las Ciencias y las Artes Militares  
Sección de Prospectiva de la Tecnología Militar

26 de noviembre de 2025

Algunos hitos importantes en el desarrollo de la Ingeniería Metalúrgica han venido de la mano de las guerras y la industria de defensa: por ejemplo, la aparición del bronce, el hierro, la fundición, el acero, el aluminio, el titanio. Los materiales, en general, y los metales en particular, han jugado siempre una influencia importante en el poder militar de un país o una civilización. El auge y apogeo de las civilizaciones se ha producido en paralelo con los desarrollos de materiales para el ataque y la defensa, por lo que es pertinente enfatizar ese paralelismo, porque también hoy el conocimiento de la Metalurgia es clave en la prevalencia de unas civilizaciones sobre otras.

Hoy conocemos muchos de los secretos de la Metalurgia, pero durante muchos siglos, el conocimiento sobre cómo extraer, refinar, alejar, transformar metales y aleaciones, estaba en manos de pocos maestros que pasaban esos secretos de padres a hijos, de maestros a aprendices. Igual que hoy en los países avanzados se fichan científicos (o futbolistas en España), se fichaban maestros metalúrgicos que permitieran a un ejército armarse con las mejores espadas y escudos. Y

cuando no podían ficharlos, a veces los secuestraban. Porque todo se limitaba a la calidad y propiedades de esas espadas y esos escudos.



Espadas y escudos de cobre y bronce barrieron de la faz de la tierra aquellas civilizaciones que se defendían y atacaban con piedras, madera y cuero. Y espadas y escudos de hierro sometieron a su vez las culturas basadas en el cobre. Y estas a su vez fueron conquistadas por las civilizaciones que controlaban cómo fabricar algo parecido al acero. Así se fueron sucediendo a lo largo de la historia la civilización egipcia, la hitita y, ya en nuestra edad media, árabes y españoles en Europa y Oriente Medio y japoneses en Asia. Las espadas de Damasco, los aceros toledanos y las catanas japonesas no tenían competencia con ningún otro material en aquellos tiempos. Los saltos tecnológicos que implicó el paso del cobre al bronce, del bronce al hierro y del hierro al acero no eran triviales y llevaron décadas o siglos dependiendo del lugar. Y durante esas décadas o siglos se ganaba o perdía la preponderancia militar o política.

Más recientemente en el siglo XX encontramos un ejemplo muy claro, y menos conocido, de esa lucha entre la espada y el escudo. Ocurrió en junio de 1967 durante la guerra de los Seis Días entre Israel y sus países árabes vecinos (Egipto, Siria, Jordania) e Irak. Más allá de la posible pericia política, táctica y estratégica del ejército israelí que les permitió ganar aquella guerra (con un balance entre muertos y desaparecidos 20 veces inferior a las bajas en el lado árabe), los israelitas contaban con un arma secreta, los proyectiles flecha de energía cinética. Proyectiles con un corazón de una aleación de wolframio de muy alta densidad y un cuerpo y alas de aleaciones más ligeras que se utilizaban para calibrar el corazón de wolframio y poder lanzarlos con los cañones de los carros de combate. Estos proyectiles no tienen carga explosiva, y basan su poder de destrucción en la elevadísima energía cinética que transferían al blindaje contra el que eran lanzados. Después de una primera generación de proyectiles de wolframio, se empezó a utilizar el uranio empobrecido, también de mucha densidad, pero

pudiendo ocasionar cáncer tanto al enemigo como a nuestros propios soldados (nuestras tropas en Bosnia y Kosovo, siguen pasando hoy revisiones médicas periódicas).

Pero la historia empieza en la Segunda Guerra Mundial donde prolifera la utilización de los proyectiles de carga hueca. Estos proyectiles se fundamentan en la disposición del explosivo, que se moldea en forma de cono hueco, donde el vértice del cono está en la dirección contraria de la punta del proyectil de acero. La superficie del cono hueco se recubre de una aleación base cobre, para que cuando explote, se funda formando un subproyectil que, junto con la potencia del explosivo, sean capaces de perforar cualquier blindaje de cualquier carro. La aparición de la carga hueca fue uno de los avances tecnológicos más importantes durante la segunda guerra mundial, ya que este tipo de proyectil era capaz de perforar e inutilizar cualquier carro de combate de la época. La espada había derrotado al escudo.

Había que pensar en algo que anulara los proyectiles de carga hueca. Para que ese sistema sea eficiente, la distancia entre el vértice del cono hueco y la punta del proyectil está calibrada, ya que se pretende que en la punta del proyectil se concentre la máxima cantidad posible de energía que impacte contra el blindaje. Si alargamos esta distancia, el pico máximo de energía se aleja de la superficie del blindaje y el daño se reduce considerablemente. Y ahí apareció la solución. Basta con colocar un sobreblindaje para desactivar la máxima eficiencia de la carga hueca. Y aparecieron los blindajes reactivos, de distinto tipo, que esencialmente, además de aumentar la capacidad de defensa a través del material, lo que hacían era desorganizar la eficiencia de la carga hueca, separando el punto crítico del blindaje principal. El escudo retomó el mando en esa pelea contra la espada.

Y con ese equilibrio llegamos a la guerra de los Seis Días, donde un bando (el árabe) contaba con carga hueca y blindajes reactivos y el otro (el israelita), además con proyectiles flecha de energía cinética. Los carros árabes no eran capaces de destruir los carros israelíes mientras que estos podían aniquilar cualquier carro árabe. Imaginemos un samurái con una catana de acero afilado contra un grupo de enemigos peleando con espadas de madera. Una situación muy desigual. En esta lucha, hay un ejemplo histórico parecido a la desigualdad entre proyectil blindaje y flecha, en el siglo X, la aparición de la ballesta. Un villano podía matar a un rey con una ballesta, ya que las corazas de la época eran incapaces de frenar una flecha que penetraba el acero sin problemas. La solución de la época fue recurrir a algo parecido a los blindajes reactivos, incorporando mallas metálicas. Hoy, la única manera de minimizar proyectiles de energía cinética son los blindajes compuestos de distintas capas de materiales (unos más densos que otros) que ofrecen planos para disipar la energía y minimizar el daño.

Durante décadas, la industria del armamento en España gravitó alrededor de las Fábricas Nacionales de Armas, y en estas la principal actividad era producir y transformar metales para conseguir la mejor materia prima para los mejores sistemas de armas. Exceptuando algunas de las fábricas, como la de Murcia o Granada que se dedican a materiales energéticos (pólvoras o explosivos), casi todas las demás fábricas importantes son (o eran –alguna está cerrada–) fábricas de armas: Trubia (Artillería), Sevilla (vehículos blindados), La Coruña y Oviedo (armas ligeras), Toledo y Palencia (municiones). En todas estas fábricas se hacía Metalurgia de primer nivel y no solo se fabricaban y transformaban aleaciones, sino que además algunas se destacaron como centro de aprendizaje para personal técnico y en la mayoría de los casos participaron en la dinamización económica de los lugares en los que estaban ubicadas. Hasta el siglo XIX las fundiciones que había en las fábricas de armas fueron fundamentales y en Trubia se montó el primer alto horno que hubo en España (en realidad dos, llamados Daoiz y Velarde). Pero desgraciadamente España no ha sabido valorar el patrimonio de su industria militar propia y algunas de estas fábricas –las que sobreviven– lo hacen en manos de empresas multinacionales de defensa. En estos tiempos en los que el presupuesto para defensa debe crecer, hemos perdido como país, otro tren para la I+D+i militar propia.

Hoy la defensa sigue dependiendo de los mejores materiales, de los mejores metales, pero por desgracia nuestras fábricas de armas ya no son un activo que podamos manejar con criterios de interés nacional propio, una vez más, por una falta enorme de visión de futuro acerca de muchas industrias estratégicas, frente al buenismo de muchos de nuestros políticos que son quienes toman las decisiones. Hoy tenemos que importar materias primas y armamento para nuestra industria de defensa cuando antes se podía fabricar.

La Ingeniería Metalúrgica siempre ha sido decisiva en defensa. Todas las aleaciones llamadas «avanzadas» siempre se desarrollaron antes que en el mundo civil en sistemas de armas (vehículos militares, barcos, aviones, misiles, drones, etc.) existiendo una gran permeabilidad entre los dos mundos, dando lugar a los materiales y tecnologías de doble uso. Por ello la línea que separa la I+D civil de la militar es muy difusa, ya que lo que es bueno para uno de los mundos, seguro que es bueno para el otro. Los nuevos compromisos de inversión en Defensa que hemos adquirido pueden ser una buena oportunidad para invertir en tecnologías duales. ■

**Nota:** Las ideas y opiniones contenidas en este documento son de responsabilidad del autor, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento de la Academia de las Ciencias y las Artes Militares.

© Academia de las Ciencias y las Artes Militares - 2025