

IMPORTANCIA HISTÓRICA Y LINGÜÍSTICA DEL HIERRO

El hierro fue usado por el pueblo hebreo. Ya en la Biblia (Génesis IV, 22) se menciona: "Sil-là, segunda mujer de Lamech, engendrará también a Tubalcaín que fue artífice de trabajar de martillo toda obra de cobre y hierro". Tubalcaín descendiente de Caín, sería el octavo hombre después de Adán. Los comentaristas bíblicos le atribuyen una antigüedad de 3150 a 3200 años antes de Cristo.¹ Precisamente este nombre de Tubalcaín va a producir la acepción árabe de **TUBAL**² que significa escoria de hierro. En el Deuteronomio, se relata la victoria del pueblo hebreo, acaudillado por Moisés, sobre Og, rey de Basan, al otro lado del río Jordán, que dormía en un enorme lecho de hierro. Igualmente en el libro de Job, se hace referencia al hierro que se empleaba como punzón para escribir en libros (tablillas).

Parece ser que el primer hierro empleado por el hombre tiene origen meteórico, y es tan antiguo como el cobre mismo. Así las primeras acepciones para dicho metal fueron: **MEN**, **TEHSEL** y **BAR-EN-PET**, que significaban metal caído del cielo o metal del cielo. La palabra asiria **AN-BAR**, representada por dos pictogramas, el de fuego (**BAR**) y el de cielo (**AN**), es quizá la más sencilla representación de un meteorito, y se aplicaba al hierro. Como podemos observar en todas ellas se hacía referencia a algo que procedía del cielo. Con ese significado, en sumerio era **KU-AU**, en semita **BAR-ZILI**, en babilonio **PAR-ZEL**, en asirio **PAR-ZIL-U**, en acadio **PAZ-ZIL-U** y **PAR-ZILL-U**³, y en hebreo **BARZEL**⁴. El sufijo el, il, o ill, es común en las lenguas asiáticas desde el Cáucaso a la alta Mesopotamia, y permite situar allí el origen del hierro. Los reyes Hititas empleaban como un alto honor lo que denominaban "hierro negro del cielo". De este término derivará el árabe firzilum, y farzala, en el sentido de grilletes, algo de hierro empleado en sujetar y aprisionar.

En Egipto aparece más tarde. El primer objeto surge entre los bloques de la gran pirámide de Gizeh, en el 2900 a.C. Su contenido en níquel es del 7,5%, característico del hierro meteórico. También en una pirámide de la VI dinastía en Abidos, pero en ningún caso da pie a que se suponga una posible metalurgia del hierro. Siempre es meteórico y se le denomina **BIZ-N-PT**, con el significado de "metal del cielo". Los beduinos del Sinaí, cuando conseguían hacerse una espada con hierro meteórico, creían que eran invulnerables y que nadie podía derrotarles porque llevaban algo divino. Cuando Cortés preguntó a los jefes guerreros aztecas de dónde sacaban sus cuchillos de hierro, éstos sólo miraban al cielo. Para las civilizaciones precolombinas el hierro meteórico tenía un valor mucho más alto que el propio oro, dado que conllevaba un sentido especialmente divino.

Las tribus centroafricanas de la zona interlagos, lugar de nacimiento de la metalurgia del hierro en África, lo llaman **BUTARE**, y **U-BUTARE**, con el significado de piedra U, posiblemente la misma piedra que aparece en los escritos cuneiformes sumerios. Cuando los primeros exploradores polares, se relacionaron con las civilizaciones esquimales de Groenlandia, se encontraron con gran sorpresa que también usaban cuchillos de hierro; eran de origen meteórico.

¹ Se lee también en la Biblia: "El Señor os hace salir de Egipto como de un horno donde se funde el hierro", dice Moisés a los israelitas (Deuteronomio IV, 20).

² Es curioso que el nombre de TUBAL se aplicara antiguamente en las islas británicas (Cornualles) a ciertas herramientas mineras. Su origen no parece ser la difusión a través de comerciantes fenicios, sino que derivaría de tubba.

³ Persson afirma en "Eisen un Eisen-bereitung in ältester Zeit, Etymologisches und Sachliches" (Bulletin de la Société Royale de Lettres de Lund, 1934, 111), que este vocablo derive de BAR-GAL, con el significado de "gran metal".

⁴ En los textos bíblicos (Jeremías 6:29-30., y Ezequiel 22:18,20) se hace referencia al trabajo de los metalúrgicos, mencionando al hierro como BARZEL, mientras que el libro de Salomón al hierro "reblandecido" lo nombra SAHOUM.

¿Por qué la referencia a una piedra tan especial, a la que daban atributos religiosos, como se demuestra en su metalurgia? Posiblemente porque le concedían poderes divinos, ya sea por sus propiedades, o por su origen meteórico. Parece evidente que un metal "caído del cielo", debería tener un significado especial para el hombre primitivo. Si encima tenía propiedades peculiares, tales como su dureza, que le hacía quebrar otras armas, y que daba poder al que lo poseía, tenía que aparecer en todas las leyendas y religiones antiguas. A través de ellas, podemos leer cómo un dios o su delegado vence a las fuerzas del mal, representadas por gigantes, serpientes, u otros monstruos, gracias a la intervención de armas de hierro. Así lo hace el dios cananeo Baal, con sus dos garrotes, el védico Indra, el germánico Thor (Tanner, Donner), con su martillo lanzable, o Wotan con su lanza. ¿Quién fabrica el arma de hierro en las mitologías? Por lo general se le atribuye a un herrero divino; un humano no podía conseguir las temperaturas necesarias para fundir el mineral. Por eso el herrero, tiene una personalidad especial en la antigüedad. Este herrero, tendrá un símbolo: el martillo, mediante el cual conferirá al hierro su propiedad fundamental, la dureza. El herrero habita en zonas especiales, prohibidas para otros mortales, y para poder conferir esas propiedades deberá renunciar, por ejemplo, al amor. Ese tipo de renunciaciones no se circunscribía únicamente al herrero como tal, sino a todo aquél que trataba de los metales y les confería propiedades, esto es a todo metalúrgico.

En el año 2000 a.C. tenemos al hierro extendido y su uso generalizado por todo el suroeste de Asia. También lo usaron los esquimales y los chinos, sin embargo en Egipto y en Europa, la cultura del hierro comenzó más tarde. Los yacimientos arqueológicos datados antes del año 2000 a.C. en la zona mediterránea de oriente próximo, proporcionan aproximadamente 500 objetos de hierro, sin embargo los de bronce catalogados por esas fechas eran muchos millares.

¿Por qué siendo el hierro un elemento tan antiguo como el cobre, la Edad del Hierro se retrasa casi dos mil años respecto a la del Bronce? La respuesta es muy sencilla: los hornos empleados para fundir el metal en la Edad de Bronce alcanzaban como máximo 1200°C, mientras que el hierro funde por encima de los 1500°C.

Los primeros hallazgos de hierro fundido, no meteórico, son los de Tell Asmar en Mesopotamia, y Tall Chagar Bazaar, actualmente en el norte de Siria. Están datados entre el 2700 y 3000 a.C.. ¿Qué metalurgia del hierro empleaban entonces los fundidores mesopotámicos? Primero llenaban el horno (una cueva en la roca, o un agujero cavado en el suelo) con una mezcla de hematites o magnetita y carbón vegetal. Prendían la mezcla e insuflaban aire por unos orificios laterales a modo de las actuales toberas. En la primera metalurgia americana, empleaban largas cañas con borde de cerámica, insuflando aire y dióxido de carbono a pleno pulmón. A los 1200°C se obtenía una masa esponjosa de hierro mezclado con una escoria de óxido de hierro no reducido, y silicato férrico procedente de la ganga silícica. Después, sacaban la mezcla, la dejaban enfriar y a golpe de martillo extraían la escoria. En resumidas cuentas, disponían de un lingote de hierro poroso con hebras de escoria que no habían podido eliminar y a partir de él, calentando la esponja de hierro y golpeándola producían los diferentes objetos de hierro. Un hierro mucho más blando que el bronce, fácilmente atacable por la corrosión y lo más importante, no se podía emplear en la fabricación de armas y herramientas. Por eso no pudo sustituir al bronce, retrasándose la Edad del Hierro.

En la metalurgia africana, los hornos eran similares a los grandes hormigueros. Realizados con arcilla, con gran contenido de cuarzo, feldespato y mica, que le confería gran dureza, tenían la forma de troncos de cono y hasta dos metros de altura. Se revestían por fuera de lianas, que servían a los metalúrgicos primitivos para agarrarse y cargar el horno por la boca con carbón vegetal y fundamentalmente hematites. Las toberas se realizaban rodeando un palo con arcilla que se cocía, y al extraer el palo se formaba un tubo, a veces terminado en un ensanchamiento, situándose en la base del horno. Dentro de la base, se realizaba un agujero a modo de crisol cubierto con hojas, ramas y arbustos, adornándolo exteriormente con guirnaldas y al que le daban un significado religioso. Al

parecer existía la creencia de que la escoria se separaba del hierro fundido a través de las hierbas y arbustos. No empleaban fuelles. Se encendía el horno introduciendo por una tobera en el centro de la base del tronco de cono, un trozo de carbón incandescente. El oxígeno que entraba por las toberas se combinaba con el carbón incandescente, formándose monóxido de carbono, que actuaba como reductor extrayendo el oxígeno del óxido de hierro y formándose dióxido de carbono. Ahora bien, el monóxido de carbono sólo actúa como reductor a partir de los 800°C. A partir de 1150°C, los materiales no férricos funden formándose escorias que flotan por su menor densidad. La fusión del hierro comenzaba más tarde, cerca de los 1500°C, difundándose a través de las escorias, y formando una masa esponjosa. De aquella se retiraba por martilleo al enfriarse, y nuevamente se recalentaba para favorecer dicha separación. Esta metalurgia surge en el primer milenio antes de Cristo.

Hemos dicho que los egipcios conocen al hierro más tarde pese a que tenían una civilización más avanzada. La primera referencia a dicho metal data del año 1300 a.C. en unas inscripciones encontradas en la gran pirámide de Khufu. En ellas se describe el regalo de un sable de hierro al rey Ramsés II, por parte de los reyes Hititas, con la promesa del envío de un cargamento de dicho metal. ¿Por qué no progresó la civilización del hierro en Egipto? Por dos motivos. Primero porque para ellos el hierro era un metal vil, pues en su mitología Set había matado a Osiris con un arma de hierro, de forma que cuando se oxidaba dicho metal cubriéndose de manchas rojas (óxido férrico), los egipcios creían ver manchas de sangre de Osiris. El segundo motivo lo podremos encontrar en la avanzada tecnología del bronce que poseían. Se sabe que disponían de unos tratamientos especiales para conseguir la aleación que consideraban secreto militar y empleaban para construir y fundir armas de guerra. Dicha fórmula se perdió en tiempo de los Ptolomeos, aunque hay estudios basados en los análisis de muestras de la época que indican que esos bronceos tenían un 10,34% de estaño y estaban muy martillados. Sin embargo la ausencia de armas de hierro en Egipto va a causarles muchos problemas bélicos respecto a los pueblos vecinos que sí estaban equipados de ese modo. La moda del hierro llega al país más tarde, y a la fuerza, y de ese modo el primer cuchillo egipcio de "hierro al carbono" forjado en el país data aproximadamente del año 800 a.C. Este hierro egipcio procedía de Nubia, en donde existían arenales negros con magnetita en granos, cuya riqueza en hierro llegaba a ser del 60%.

Entre el año 1300 a.C. y el 1200 a.C. se origina una caída total en la producción de objetos de bronce en las culturas de Oriente próximo y una enorme abundancia de objetos de hierro. La edad del Hierro surge con un ímpetu desconocido. Un estudio realizado por el profesor Snodgrass de Cambridge sobre abundancia relativa de objetos de bronce y hierro en los yacimientos arqueológicos griegos entre el 1050 a.C. y el 900 a.C. muestra las siguientes proporciones:

Cuchillos de bronce:	ninguno	Cuchillos de hierro:	más de 15
Espadas de bronce:	una	Espadas de hierro:	más de 20
Puntas de lanza de bronce:	ocho	Puntas de lanza de hierro:	más de 30

Como podemos observar el predominio de bronce sobre el hierro era muy acentuado. ¿Qué motivos tuvieron que darse para que de pronto, en un intervalo de no más de 50 años, la mayoría de los utensilios fueran de hierro y no de bronce como lo habían sido durante 2000 años? Hay dos fundamentales. Primero la súbita escasez del estaño. Entre el año 1200 a.C. y el 1100 a.C. se producen una serie de invasiones desde el mar, de pueblos como los Zakkara y los Filisteos, que junto con los piratas Licios, arrasan la costa, y paralizan el comercio del estaño. El estaño llegaba a Egipto y a Grecia desde las islas Cassitérides y desde Iberia, y el único estaño del que dispondrán los fundidores de bronce procederá de Irán (reino de Elam).

Por otra parte se produce un notable avance tecnológico en la metalurgia del hierro, efectuado sin duda alguna por casualidad, simple serendipia. Hemos mencionado que las escorias se extraían del hierro esponjoso por simple martilleo, pero posiblemente un día se observó que recalentando el lingote

la escoria se hacía viscosa cerca de los 1200°C, separándose mejor. Durante este recalentamiento el lingote se va a encontrar en contacto directo con el carbón al rojo blanco y con el monóxido de carbono producido a esa temperatura. En ese momento y condiciones, el carbono se va a difundir a través de la masa esponjosa del hierro cambiando totalmente su estructura y propiedades. Primero surgirá el hierro dulce y al aumentar la difusión, el acero. Un hierro con un 0,2% de carbono en su composición va a tener tanta resistencia como un cobre con un 2% de estaño, y si el porcentaje de carbono aumentaba hasta el 1% la resistencia de éste ya era superior a la de cualquier bronce; era el acero. Puesto que la difusión se realizaba perfectamente entre los 1000°C y los 700°C, nuestros primitivos forjadores no necesitaban temperaturas más altas de las que se obtenían por los procedimientos clásicos.

Hay una serie de hallazgos arqueológicos que van a apoyar todo este desarrollo, aunque muy pocos han sido analizados y estudiados microscópicamente por encontrarse muy deteriorados. Un cuchillo del siglo XII a.C. procedente del yacimiento de Idalión, en Chipre, fue sometido a carburación para aumentar su dureza. En el norte de Israel, en el yacimiento del monte Adir, junto con cerámica del siglo XII a.C. aparece un pico de 39 cm de longitud cuya dureza sometida a diferentes test es comparable a la cualquier acero actual.

En el año 1000 a.C. y 900 a.C. la metalurgia del hierro al carbono se pone de moda. Todo se hace de hierro y ya nadie se acuerda del bronce. El hierro pasa a ser el metal por excelencia, y todas las características aplicadas a los metales de uso común, van a surgir en este elemento. Algo similar a lo que le había ocurrido al cobre al sustituir al oro. Debemos tener en cuenta todo ese contexto para relacionar la terminología del hierro y explicar uno de los grandes misterios lingüísticos: su nombre.

El hierro llega a Europa a través de los Dorios, al invadir Grecia desde Anatolia y derrotar a los Aqueos, y enseguida se expansiona por la zona mediterránea. El temple y el revenido eran operaciones metalúrgicas conocidas en la antigua Grecia ya en el siglo VII y VI a.C. Así, en un pasaje correspondiente al libro noveno de la Odisea, cuando Ulises y sus compañeros deciden cegar y dar muerte a Polifemo, se puede leer: *"Así como el herrero para dar el temple que es la fuerza y la dureza del hierro, sumerge en agua fría una gran hacha o azuela que produce un fuerte sonido silbante embriujándola, de igual manera chirriaba el ojo del cíclope en torno a la estaca de olivo"*. Los griegos en su mitología atribuían a los cíclopes, herreros de Hefaios, el descubrimiento del hierro y los Chalibs, eran sus hábiles trabajadores. Sófocles, en su *Ajax*, denomina al hombre duro y testarudo como de "hierro templado". Evidentemente el enfriamiento rápido del hierro para templearlo debería producir grietas en muchos objetos, por lo que se hizo necesario el recalentamiento o revenido. Con todo ello habían conseguido que el hierro adquiriera una notable dureza, y esa idea persiste en toda su civilización.

La denominación del hierro en las diferentes culturas y lenguas, sus orígenes y etimología ha sido uno de los problemas más discutidos porque no existe una correlación idiomática como ocurría con otros elementos. Desde las primitivas acepciones mesopotámicas en las que existía el común denominador como de algo venido del cielo, y que los seres supremos ponían en manos de los hombres para darles poder y fuerza, hasta las actuales, no hay ninguna conexión.

Homero llama al hierro **SIDEROS** (σιδηρος). Este término parece emparentado con el lituano **SVIDU** y **SVIDETI** o **ŠVIESUS** con el significado de brillar y brillante, que en checoslovaco es **SVĚLU**, en serbocroata **SVIJETAO**, en Bohemio **SVĚLY**, en polaco **SWIETHY** y en ruso **SVETLYJ**; por otra parte en latín **SIDUS-SIDERIS**, es estrella. En lituano **ZVIGTI**, es luz, que en checoslovaco es **SVĚP**, mientras que estrella en aquella lengua es **ZVAIGZDĚ** y en polaco **GWIAZDA**. Por eso aquello que da luz es, en ruso **SVECA**, en bohemio **SVICE**, en letón **SVECE** y en lituano **ZVAKE**. Vemos pues que la idea de estrella, luz, y algo que brilla está completamente relacionada. Todo eso nos recuerda el posible origen meteórico. Sin embargo cuando Homero lo

describe en la Odisea (I, 184), lo acompaña del adjetivo **ONAIT**, $\omega\nu\alpha\iota\theta$, que significa a la vez negro y brillante. Posiblemente estas cualidades externas que dieron origen a este nombre tengan su raíz en el hierro llovido del cielo, el meteórico negruzco y brillante.

La raíz **FER**, no existe en indoeuropeo y surge después de la separación de celtas e italiotes, cuando comienza a ser usada por aquellos la acepción **FER** para el hierro. Del **SIDEROS** griego, al **FERRUM** latino parece no haber relación alguna. Aunque los celtas usaran el **FER**, y en antiguo bretón **FER** significase algo duro y tenaz, Mazoch hace derivar el hierro latino de la voz toscana **FARREL**, que aludía al hierro, justificando a través de la colonización romana el que en otras zonas se usara el **FER** como algo duro como el hierro.

El español **HIERRO**, el galaico-portugués **FERRO**, el francés **FER** así como el italiano **FERRO** y el rumano **FIER**, derivan del latino **FERRUM**. El hierro se extendió rápidamente por todas las culturas y se empleó en todo tipo de utensilios, de forma que todo lo metálico o con características metálicas, era de hierro. Así, tal como el **AYAS**, **AYAH** y **AES** se aplicó al metal desde el indoeuropeo, es lógico que a través de la acepción como metal se produzca el nombre del hierro.

Vamos a fijarnos en el término **AES-AERIS** latino aplicado al cobre, bronce y metal en general. El adoptarlo para el hierro, implica referirse a un metal diferente, pues es negro y no amarillo, y más "fuerte". Pues bien, en los libros védicos el hierro aparece como **KRISHN-AYAS** (metal negro) en contraposición con el **LOHIT-AYAS** (metal rojo, cobre o bronce). Por otra parte, en sánscrito **ISIRA**, es fuerte. La combinación de **AYAS** y de **ISIRA**, producirá la mayoría de las denominaciones modernas y contemporáneas del metal. Así, en viejo inglés era **AR**, en el inglés medio **IRE**, precursor de **IRON** inglés, en irlandés **IARN**, y en norirlandés **IARAMM**. Si pasamos a su denominación en las viejas lenguas europeas, observaremos una mayor coincidencia. En gaélico era **IARUM**, en viejo bretón **HOIARN**, en galés **HAEARN**, en viejo inglés **IREN**.

En celta también se le denominó **ISARNO**, y en galo **ISERNO**. En gótico **EISARN**, en viejo noruego **ISARN**, igual que en viejo sajón, precursores del alemán **EISEN**, en cambio en holandés es **ITJER**. También en viejo noruego era **JARN (IARN)**, que dará el danés **JOERN** y el sueco **JÄRN**.

Por lo tanto el **IRON** actual inglés y el **EISEN** alemán proceden de las voces indoeuropeas que denominaban al cobre con el concepto de metal. Así podríamos recrear una sucesión de transformaciones:

<i>AUR</i>	◦	<i>AER</i>	◦	<i>AYAS/AR</i>	◦	<i>IARUM</i>	◦	<i>IREM</i>	◦	<i>IRON (Inglés)</i>
		<i>ARI</i>		<i>ISIRA</i>	◦	<i>ISARNO</i>	◦	<i>EISARN</i>	◦	<i>EISEN (Alemán)</i>

Existe otra acepción bastante común para el hierro en los países del este europeo. En lituano es **GELEČIS**, en letón **DZELZOS**, en viejo prusiano **GELZO**, en ruso **ZELEZV** (en dicho idioma **ZESTKIJ**, es duro) en polaco **ZALAZO**, en bohemio **ZELEZO**, en serbocroata **ZELJEZO**, en checoslovaco **ŽELČO**. Todos tienen la misma raíz, y ésta procede del griego **JALKOS**, para el cobre. Vemos por lo tanto que también en esta vía, el hierro sustituye al cobre en la denominación del metal.

El **FER** latino, que no es mediterráneo como algunos creen y dado que se empleaba usualmente en Bretaña, podría estar relacionado con el **HOIARN**, nombre del hierro en viejo bretón y el **HIARUM** gaélico. La búsqueda de las primeras acepciones se encuentra en estas circunstancias ante un verdadero vacío y todo lo que se puede hacer es formular hipótesis fundamentadas en transformaciones lingüísticas y relaciones históricas, geográficas y sociales.

Los árabes, presentan una curiosa relación antropológica en la denominación del hierro, en función de sus propiedades, específicamente de su dureza. Así el hierro duro, propio para hacer armas será **DZAKAR** (hombre), mientras que el blando y esponjoso, impropio, era **ÂNIT** (mujer), o sea le daban una condición sexuada, con las cualidades consiguientes. También han llamado al hierro **HADID**⁵, derivado de Hadda (filo), debido a su empleo como arma. En ese sentido tiene la misma raíz que muchos términos que se han usado para nombrar la sílice. Los etíopes también lo emplean así. Los árabes al acero, llaman **FULAD**, que daría el **FAULEX**, usado en el medioevo.

En chino se conoce como **TIE** o **T'IEH**. Su ideograma está formado por tres grupos, en el que destacan el representativo del metal (el oro), y el que indica la dureza. En japonés es **TETSU**, y junto al ideograma del oro y a su derecha, aparece el indicativo de perder (una mano abierta de la que parece caer algo), significando que el hierro surge del oro cuando éste pierde sus características. Debemos recordar que el oro es el metal por excelencia en China y Japón por su brillo y color amarillo, parecido al del sol, y Japón (Nihon, Nipon) significa el origen del sol, dado que para los chinos era por donde salía.

En las raíces semíticas y harari, de las que derivarán múltiples lenguas africanas, el hierro se identifica con el metal que brilla, válido también para el cobre. Se conocía como **BRÁT**, derivado de **BRÄQ**, que da luz. En dicha lengua vemos que **BERÄNA** es brillar. En somalí es **BIRR**, mientras que en las lenguas de África oriental es **BIRT}**, y **BIRÄTI**. Sin embargo esta idea del brillo respecto al hierro, se relaciona más con el origen meteórico como fuente del primer hierro en las culturas africanas, extraordinariamente vinculado a sus mitologías.

En euskera es **BURDINA**, mientras que **BURDI** es carro, lo cual propiciaría una conexión agrícola, sin embargo, las raíz Br* en muchas variantes (Bar*, Ber* etc.) de las lenguas semíticas, están relacionadas siempre con algo que brilla, algo claro, limpio y resplandeciendo como ya se ha mencionado en el caso de la plata. En las lenguas caucásicas (georgiano) es **RKINA**.

El hierro, por su dureza, se empleó para fabricar armas, y por lo tanto tenía que ser asociado al dios de la guerra, Marte, así como a su planeta. No es de extrañar por lo tanto que fuera representado por un círculo con una flecha que simbolizaba el escudo y la espada en posición de ataque.

El hierro sustituye al bronce y al cobre como metal por antonomasia en todos los aspectos, en sus utilidades y también en el nombre. Era más duro, más tenaz, más resistente y también más abundantes sus minerales. Al principio no ocurrió así, y sin embargo el acero es actualmente signo de dureza y de fortaleza. Vemos que fue precisamente la dureza la propiedad que va a influir no solamente en dar nombre al elemento, sino también en sustituir la edad del cobre/bronce por la del hierro.

En euskera es **BURDINA**, mientras que **BURDI** es carro, lo cual propiciaría una conexión agrícola, sin embargo, las raíz Br* en muchas variantes (Bar*, Ber* etc.) de las lenguas semíticas, están relacionadas siempre con algo que brilla, algo claro, limpio y resplandeciendo como ya se ha mencionado en el caso de la plata. En las lenguas caucásicas (georgiano) es **RKINA**.

El hierro, por su dureza, se empleó para fabricar armas, y por lo tanto tenía que ser asociado al dios de la guerra, Marte, así como a su planeta. No es de extrañar por lo tanto que fuera representado por un círculo con una flecha que simbolizaba el escudo y la espada en posición de ataque.

El hierro sustituye al bronce y al cobre como metal por antonomasia en todos los aspectos, en sus utilidades y también en el nombre. Era más duro, más tenaz, más resistente y también más abundantes sus minerales. Al principio no ocurrió así, y sin embargo el acero es actualmente signo de dureza y de fortaleza. Vemos que fue precisamente la dureza la propiedad que va a influir no solamente en dar nombre al elemento, sino también en sustituir la edad del cobre/bronce por la del hierro.

⁵En la alquimia de Abufalah's, se le menciona como HADIDA.

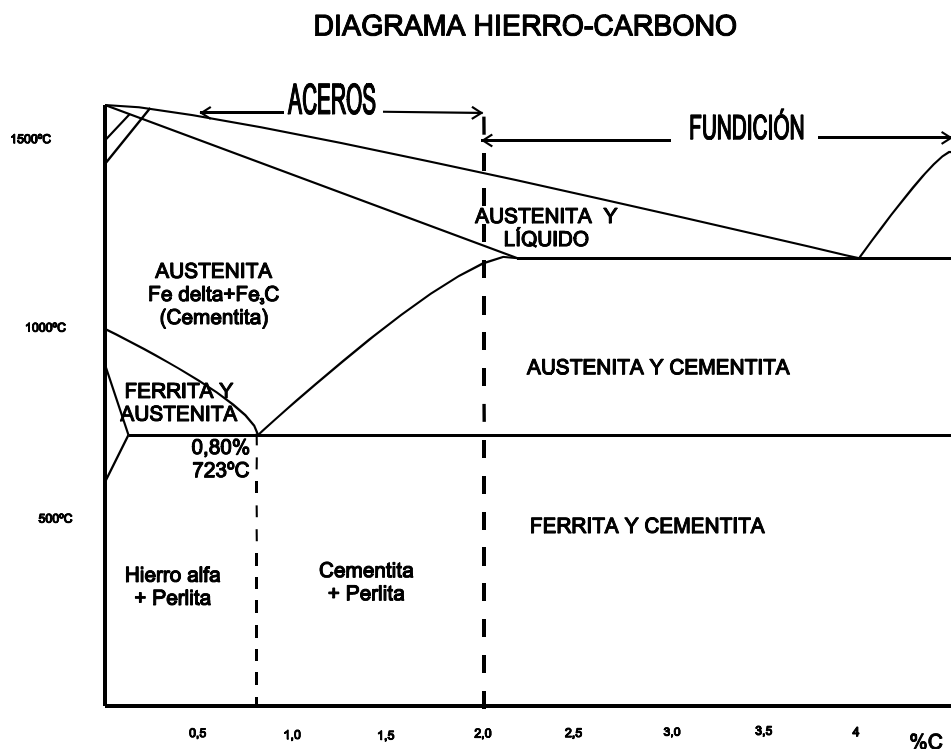
Vamos a intentar explicar químicamente los procesos que tuvieron lugar, para justificar la evolución de los mismos. Dos procesos químicos van a influir fundamentalmente, por una parte la difusión del carbono en el hierro que reducirá el punto de fusión y aumentará su tenacidad y resistencia, y por otro el cambio de estructura interna en la cristalización del metal. Su alteración, ya por martilleo, ya por enfriamiento rápido y postcalentamiento, modificará la relación hierro-carbono, y por esa circunstancia, variará sus propiedades

La dureza fue la clave del cambio. Si comparamos la tenacidad y resistencia del cobre y del hierro, podremos darnos cuenta mejor de esa circunstancia.

HIERRO	RESISTENCIA	COBRE	RESISTENCIA
Hierro esponjoso	2812kg/cm ²	Cobre puro	2250kg/cm ²
Hierro endurecido por martilleo	7030kg/cm ²	Bronce (11%Sn, 89%Cu)	4218kg/cm ²
Hierro al carbono (1,2%C) (1000 a.C.)	9842kg/cm ²	Bronce después de martillado en frío (3.000 a 3.500 a.C.)	8436kg/cm ²
Hierro al carbono, martillado	17225kg/cm ²		

Por lo tanto el bronce era superior al hierro en la dureza, hasta que se produjo la difusión del carbono. Esta difusión no sigue una relación lineal, llegando a obtenerse al cabo de nueve horas hierro con el 2% de carbono. Lo que sí en cambio mantiene una relación lineal dentro de un campo pequeño, es la variación de la resistencia con el porcentaje de carbono, por lo menos hasta el 1%.

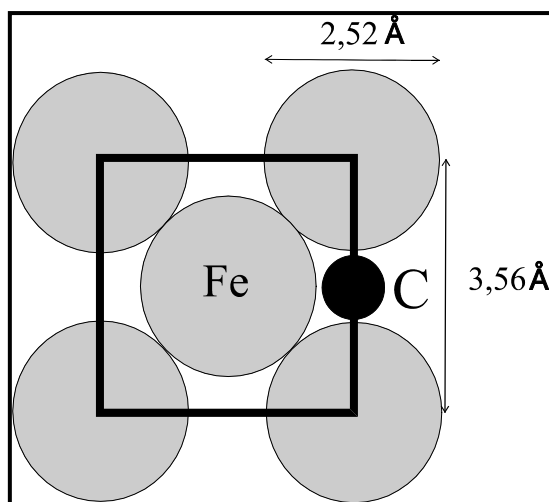
La mejor manera de comprender la modificación de sus propiedades es estudiando su diagrama de fases; eso es la variación de estructuras con la temperatura y el tanto por cien de carbono.



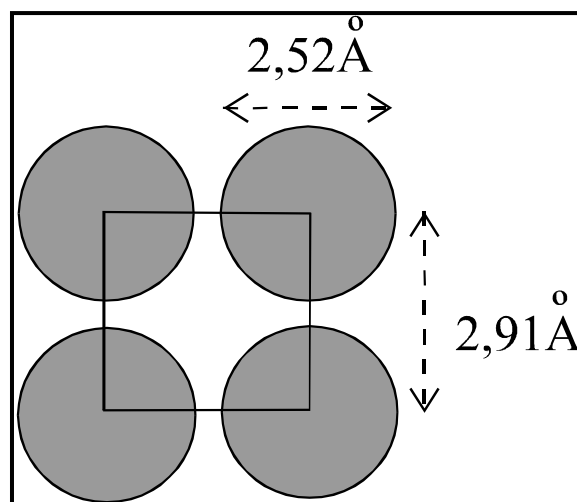
Podemos situar en la zona 1 y 2 la mezcla de hierro y carbono, entre los 1200 y 1000°C, temperatura conseguida en los hornos hundidos en Tierra, o en montículo, aplicando aire insuflado por

fuelle. La forma del hierro en la que va a cristalizar se denomina AUSTENITA, y corresponde a una mezcla de hierro γ con red cúbica centrada en las caras y un carburo de hierro Fe_3C , denominado CEMENTITA. Este tipo de red, con átomos de hierro en los vértices y en el centro de las caras, corresponde a una arista de $3,56\text{\AA}$ y siendo el radio del hierro $1,26\text{\AA}$, por lo tanto deja un hueco en cada lado de cerca de 1\AA , que puede albergar átomos de carbono, cuyo radio es de $0,91\text{\AA}$, como se aprecia en el dibujo. Se forma una solución sólida intersticial, en la que los carbonos están distribuidos al azar. La solubilidad del carbono en el hierro γ es del 4,3%, pero varía con la temperatura. Así a 1150°C es ya de 1,9%, alcanzando en el límite el 0,9%. Esta forma no es magnética como es lógico al estar su temperatura por encima del punto Curie (766°C).

Ahí está la justificación de la difusión del carbono en el hierro. Sin embargo existe un problema y es que al enfriarse, el carbono precipita en forma de CEMENTITA, Fe_3C , cuya red rómbica no es compatible con la del hierro, y tampoco cabe en los huecos. Lo que los herreros hacían sin saber, golpeando la masa esponjosa del hierro con sus martillos era romper la red de la CEMENTITA; de esa forma el carbono sí cabía en la red. Estamos en la zona 3. Pero el problema se agravaba, porque al seguir enfriándose lentamente y pasar a las zonas 2 y 4, según el porcentaje de carbono, la solubilidad del carbono desciende hasta el 0,9%, ya que el hierro cambia de estructura y pasa a una red cúbica centrada en el cuerpo con el nombre de FERRITA (hierro α). La mezcla de FERRITA y CEMENTITA, se denomina PERLITA⁶. La red cúbica centrada en el cuerpo, con átomos de hierro en los vértices de cada cubo y uno en su centro, implica una arista de $2,91\text{\AA}$, y por lo tanto el hueco que queda en cada lado para insertar al carbono es de casi $0,4\text{\AA}$ y no puede alojarlo. La CEMENTITA aumenta la dureza del hierro, pero al tener una red diferenciada, también incrementa su fragilidad, produciendo grietas, y terminando por romperse.



Hierro γ con carbono ocluido

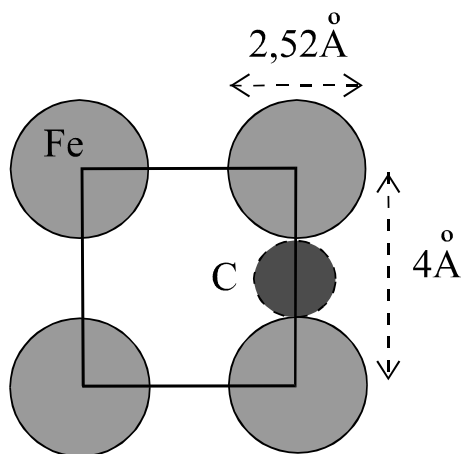


Hierro α incapaz de absorber carbono

Por otra parte, la CEMENTITA, está en equilibrio con sus partes, en una reacción exotérmica, y por lo tanto al descender la temperatura se favorecerá la formación de hierro y carbono. Naturalmente este proceso tiene un límite, ya que si la temperatura es excesivamente baja, la rigidez del medio impedirá la deformación que acompaña a dicha reacción.

⁶ El nombre de PERLITA se debe a que dicha mezcla tiene una estructura de grano muy fino con brillo semejante al de las perlas, y es especialmente frágil.

Red tetragonal del hierro α ,
sobresaturada con carbono
(MARTENSITA)



¿Cómo hacer para conservar el carbono dentro de la red del hierro, aunque no cupiera en principio, evitando así que se formara gran cantidad de cementita? Sencillamente no dejando que el edificio cristalino se construya lentamente. Si el enfriamiento se produce rápidamente, la propia red cúbica centrada en el cuerpo atrapa a los átomos de carbono; en esto consiste el temple. La FERRITA, con carbono incluido en su red, se denomina MARTENSITA.⁷, que no es más que una disolución sobresaturada de carbono en hierro α , cuya red tetragonal, es mucho más dura y resistente que la FERRITA. En esto consiste el temple.

En el templado la clave era la velocidad de enfriamiento, para no dejar cristalizar perfectamente la red cúbica centrada en el cuerpo, por eso hacían falta aguas especialmente frías. Si la temperatura pasaba de 1200°C a 700°C , en 60 segundos, lo que se obtenía era PERLITA de "grano grande", esto es con cristales grandes, lo cual producía mayor separación entre la FERRITA y la CEMENTITA. En cambio si el enfriamiento se producía en un segundo, ya se conseguía la MARTENSITA. Por eso tuvieron fama aquellos aceros y aquellas espadas tratadas con aguas de sierra, como los aceros suecos y las espadas toledanas o de damasco⁸.

Sin embargo, parece claro que la red deberá estar distorsionada. Hacía falta que el carbono se acomodase mejor, y para eso debería volver a calentarse pero nunca por encima de 727°C , temperatura a la cual tendríamos una red cúbica centrada en las caras. Al calentar el sistema se le proporciona energía suficiente para que se separen algo los átomos, y si luego se martillea bien, tendremos un acero perfectamente apto para hacer la mejor espada. Es el revenido. No es dúctil, ya que lo impide el carbono con un tamaño muy diferente al del hierro, pero lo que disminuye en esa propiedad, lo aumenta en tenacidad. Además el nuevo y lento calentamiento o recocido, favorece la disociación de la CEMENTITA. Esta nueva estructura recibe el nombre de SORBITA, por su capacidad para absorber el carbono a baja temperatura.

La historia y la leyenda muestran una serie de espadas famosas, desde la Notung de Sigfrido, pasando por la Escalibur del rey Arturo de Inglaterra, y la Durandal de Rolando, hasta las Tizona y Colada del Cid Campeador⁹. Parece evidente que el secreto de estas espadas, que rompían pero no eran partidas, era un buen temple y un mejor revenido. También debemos tener en cuenta otro factor, y es que el cambio de estructura provoca igualmente una variación en la densidad. Así y sin tener en cuenta la masa de carbono encerrada, en el caso de una red cúbica centrada en las caras, con arista $3,56 \text{ \AA}$, la densidad será de $8,18 \text{ g/cc}$, mientras que si la red es cúbica centrada en el cuerpo, con arista de $2,91 \text{ \AA}$,

⁷ Propuesto en honor de Adolfo Martens, fundador de la metalografía alemana que también dará nombre a procesos y aparatos químicos siguiendo la misma tónica que la AUSTENITA, que lo hizo por Guillermo R. Austen, a requerimiento de Osmond, en 1896 en el *Bullet. d'Encourag. de l'Industrie* 1896, 738.

⁸ Precisamente el origen de los damasquinados, dibujos característicos, está en las huellas que las redes de la cementita dejan en la del hierro. Estos aceros se hacían tenaces por forjado en frío, de forma que el martillado puntual rompía la red de la cementita, dispersándola, y dándole el aspecto de diseño que provocará el damasquinado.

⁹ En la hoja de la Tizona hay dos aceros diferentes, uno suave en el interior y otro muy duro en el exterior. Para ello el temple por inmersión en sal muera tuvo que hacerse en dos fases, una entre 890 y 925°C y otra desde 780°C . De esa forma en el interior había un grano fino y muy tenaz, mientras que en el exterior, con perlita y martensita que le daba la dureza, y por lo tanto con gran contenido en carbono en la hoja externa que curiosamente le daba un brillo metálico blanquecino muy intenso.

es de 7,49g/cc. Si además el revenido amplió la red para acomodar mejor al carbono, tendremos un hierro con menos densidad. Por lo tanto, una espada con predominio de SORBITA, no sólo es más dura y tenaz, sino también más manejable, lo cual era fundamental si tenemos en cuenta que el peso medio de aquellas armas era próximo a los 50 kg.

La primera gran obra de la metalurgia del hierro fue la columna de Delhi, en la India, datada en el 300 a. C. que pesaba nada menos que 6,4 toneladas, aunque realmente no puede competir con las colosales obras de la metalurgia del bronce, tales como la campana de Moscú, de 190 toneladas, o la del templo Fokosi, en Miako (Japón), con casi el millar de toneladas.

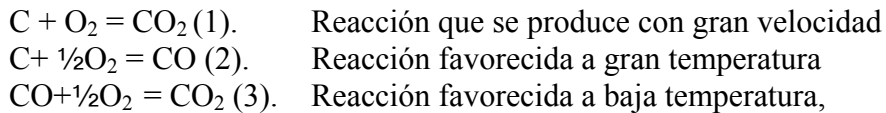
Hemos visto que la temperatura es clave para conseguir un buen acero, pues las fases del hierro dependen de la misma. ¿Pero cómo podía hacer el herrero, o el metalúrgico primitivo para poder controlarla? Sencillamente por el color que adquiría la mezcla hierro/carbono. Se debe tener en cuenta que el herrero cuando efectuaba la forja en caliente lo que martillaba era la mezcla de austenita y cementita, y ésta sólo existe por encima de los 727°C independientemente del porcentaje de carbono. Por encima de los 1200°C, el color de la mezcla es blanco (rojo blanco), que pasa a amarillo al bajar a los 1000°C, y a naranja a los 800°C, por lo tanto antes que se oscureciera debería forjarse en caliente, para romper la cementita y convertirla en partículas esféricas que se mezclaran mejor en la red. El antiguo metalúrgico sabía que si se quería obtener una especial dureza, debería templarse desde el amarillo. Para instrumentos con filo, lo tomaba desde un púrpura, y las hojas de espada, desde el azul claro o violeta. El templado implicaba enfriarla rápidamente hasta el negro, y en el recocido no se podía alcanzar el rojo. Con estas normativas se conseguía trabajar perfectamente, obteniendo el acero más tenaz. Debe tenerse en cuenta, que las condiciones del forjado del metal dependen de su deformabilidad, y eso a su vez lo hace de la temperatura.

En la forja en frío las roturas suelen ser superficiales. Las fracturas o grietas producen un abultamiento o curvatura que da lugar a esfuerzos de tracción secundarios. También pueden producirse huecos y bandas de deslizamiento, que algunas veces llegan a conseguir la rotura de la pieza. Si la forja se hace en caliente, la producción de huecos y bandas de deslizamiento es mucho más grave, pues anuncia la aparición de cavidades internas. Hay zonas calientes y zonas frías en contacto, y las variaciones de conductividad y de dilatación van a dar lugar a tensiones y deformaciones internas que se pueden solucionar elevando un poco más la temperatura.

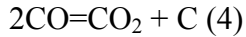
El control de la temperatura es fundamental en la química de la obtención del hierro, pues influirá en el proceso de reducción. Hemos visto que en los hornos antiguos, el mineral, hematites o magnetita, se mezclaba con carbón vegetal, se tapaba el "alto horno" o "bajo horno", según la época metalúrgica, y se prendía e insuflaba aire cerca de su base por medio de fuelles o tubos de arcilla que darían nombre a las actuales toberas.

La metalurgia del hierro del hombre primitivo, sólo empleaba como sustancias químicas el mineral de hierro, carbón vegetal y oxígeno del aire. El objetivo del carbón vegetal era "sacar" el hierro del mineral. Es evidente que en este proceso el mineral reducía peso, por eso Geber, antes del siglo X d. C. lo llamó reducción. ¿Cómo lo conseguía? El proceso podemos contemplarlo bajo una perspectiva química más moderna. Su metalurgia, se orienta en el sentido de conseguir el compuesto más estable, medido a través de la menor energía libre de formación, o energía libre de formación más negativa (el signo menos nos indicaría el carácter exergónico, o desprendido). Sin embargo en la mayoría de los procesos la energía de formación de una sustancia depende de la temperatura. Ésta es la clave del uso del carbono como agente reductor. A temperatura normal no conseguiría arrancarle el oxígeno al hierro, pero sí a alta temperatura, ya que formaría un compuesto con aquél, más estable.

El carbono puede reaccionar con el oxígeno según tres procesos:



y la combinación de 3 y 1:



Según la temperatura a que se encuentre la parte del horno que contiene el mineral y el carbono en capas, se producirán diferentes reacciones, y el agente reductor será distinto. Quiere decir que a alta temperatura el óxido del metal se va a encontrar con el monóxido de carbono como agente reductor, mientras que a baja temperatura será simplemente el carbón vegetal.

Vamos a estudiar la variación de energía libre en aquellas reacciones junto con la posible reducción de los óxidos de hierro con la temperatura a través de los diagramas de Ellingham, realizados en 1944.

¿Por qué la energía libre puede variar tanto con la temperatura, fundamentalmente en el caso de la formación de óxidos del carbono?

Dado que $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, esto es la variación de energía libre de Gibbs (de ahí la G), depende de la de entalpía (ΔH , H de heat, calor en inglés) y de la de entropía (ΔS , la S es la letra que experimenta mas cambios), relacionada con la temperatura absoluta. Si esta última variación es grande, el término $T\Delta S$ será el que rija el diagrama de Ellingham. Sólo en la reacción (1), en la que el número de moles de gases no varía, la variación de entropía es muy pequeña, y la gráfica será una recta casi horizontal. La (3 y 4), con $\Delta n < 0$, y disminución de volumen, tienen pendiente positiva, mientras que la (2), con $\Delta n > 0$, y aumento de volumen, la tiene negativa.

Los procesos de formación de óxidos metálicos tienen siempre gráficas $\Delta G/T$ con pendiente positiva. Esto quiere decir, que el carbono o carbón vegetal en nuestro caso, o el monóxido de carbono, siempre podrán reducir a los óxidos metálicos; basta con buscar la temperatura adecuada a la cual el valor de ΔG del C o CO esté por debajo de la del óxido.

