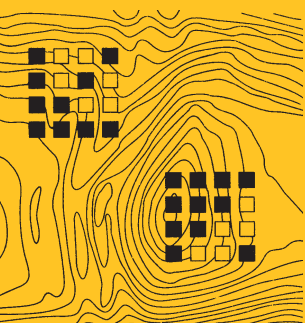


Año 2018. urtea

N.º 30. zk.



TRABAJOS DE ARQUEOLOGÍA NAVARRA

SEPARATA

La cultura metalúrgica del hierro en el Pirineo durante la Edad Media

Mertxe URTEAGA

La cultura metalúrgica del hierro en el Pirineo durante la Edad Media

Erdi Aroko burdin metalgintza usadioa Pirinioetan

The medieval iron metallurgy culture in the Pyrenees

Mertxe URTEAGA

Dirección de Cultura. Diputación Foral de Gipuzkoa. Técnico en Arqueología
murteaga@gipuzkoa.eus

Recepción de original: 10/09/2018. Aceptación provisional: 13/12/2018. Aceptación definitiva: 29/01/2019.

RESUMEN

En el Pirineo se mantuvo hasta finales del siglo XIX una cultura propia de producir hierro. Tenía lugar en hornos bajos y abiertos en los que se obtenía hierro por el proceso de reducción directa, contando con maquinaria accionada con energía hidráulica. Se conoce con el nombre de «horno catalán», «proceso catalán» o «farga catalana». Las pruebas arqueológicas obtenidas en los últimos años permiten afirmar que el mismo modelo de horno, aunque de dimensiones más reducidas, formaba parte de la cultura siderúrgica de ese territorio desde la fase previa no hidráulica, cuando se trabajaba «a fuerza de brazos». Esta fase se ha datado entre los siglos IX y XIV.

Palabras clave: proceso catalán; arqueología; Edad Media; paleosiderurgia; *haizeola*.

LABURPENA

XIX. mendearen bukaera arte Pirinioetan burdina egiteko erredukzio prozesu zuzena mantendu zen. Lurralde horretan, burdina behe eta ireki labeetan lortzen zen uraren indarraren laguntzarekin. Liburuetan aipatzen den moduan, «kataluniako labea», «kataluinako prozesua» edo «kataluniako farga» da berezko prozesu honen izena. Azkeneko urteetan jasotako emaitza arkeologikoen bidez posible da esatea Pirinioetan labe bera, neurri txikiagoekin, uraren indarraren erabilpena baino zarragoa dela; hots, burdina «eskuz» egiten zen garaikoa. Fase horretako kronologia IX. eta XIV. mendeen bitartean datatu da.

Gako hitzak: kataluniako prozedura; arkeologia; Erdi Aro; pelosiderurgia; *haizeola*.

ABSTRACT

Until the end of the 19th century, the Pyrenean region had its own ironmaking tradition based on the direct reduction process. This process took place in a low and open furnace in which iron was obtained by the direct reduction system using hydraulic energy. It is known in literature as the «Catalan furnace», «Catalan farga» or «Catalan process». Archaeological evidence obtained in recent years indicates that in this area the same model of furnace, although with smaller dimensions, was part of the ironmaking culture of the pre-water-powered phase, when work was done by manpower. This phase has been dated to between the 9th and 14th centuries.

Keywords: Catalan process; archaeology; Middle Ages; ironworking; *haizeola*.

1. INTRODUCCIÓN. 1.1. Reducción directa y reducción indirecta. 1.2. La reducción directa en hornos bajos. 2. FARGAS Y FERRERÍAS EN EL PIRINEO. 2.1. Características de las instalaciones. 2.2. El horno de las ferrerías. 2.3. El horno de las fargas. 3. LA SIDEROMETALÚRGIA PREHIDRÁULICA. 3.1. Las ferrerías no hidráulicas en las fuentes documentales. 3.2. El catálogo de escoriales de hierro de montaña. 3.3. Cronología de los escoriales de hierro de montaña. 3.4. Los hornos medievales pre-hidráulicos. 4. RECAPITULACIÓN Y CONCLUSIONES. 5. LISTA DE REFERENCIAS.

1. INTRODUCCIÓN

Es bien conocido (Richard, 1838; François, 1843) que el área de los Pirineos se ha comportado, en lo que a tradición siderometalúrgica se refiere, como un espacio particular, caracterizado por su fidelidad a la reducción directa en el proceso de obtención de hierro. Mientras que, prácticamente el resto de Europa incorporó en el siglo XVI el horno alto y el proceso de reducción indirecta en una transición iniciada en las tierras del norte hacia el siglo XII, en el área pirenaica se mantuvieron hasta el siglo XIX los hornos bajos y abiertos, en los que, como se ha indicado, perduró la reducción directa. Esta cultura de obtención de hierro se conoce en la bibliografía como «horno catalán», «farga catalana», «forja catalana», «método catalán», etc. (Tomás, 1999). Tenía lugar en hornos bajos y abiertos, de fondo cuadrado y forma de pirámide troncocónica invertida; el hierro se obtenía en una sola operación y se contaba con maquinaria accionada con energía hidráulica.

Tomás (1995) caracteriza este proceso catalán por medio de cinco indicadores:

1. Utilización de energía hidráulica para el funcionamiento de los fuelles¹, mazos, martinets y la trompa –compresor de aire que usa la fuerza del agua– que suministraba aire al horno.

1 La introducción de los fuelles en esta serie es un añadido nuestro.

2. Horno abierto en forma troncopiramidal invertida, hecho de piedra y con tres paredes² recubiertas de chapas de hierro.
3. Colocación de la tobera en una posición e inclinación determinadas.
4. Carga asimétrica del horno, capas de carbón y de mineral muy desmenuzados apilados junto a la tobera y la entrada de aire, y mineral en trozos más grandes apilados en el lado opuesto.
5. Seguimiento de normas concretas para llevar a cabo la operación, el control de la presión del viento y de la temperatura del horno, la eliminación de las escorias, etc.

El resultado era una masa de hierro de peso considerable que, según la manera en la que se había conducido la operación, resultaba hierro dulce o acero (D'Elhuyart, 1775/1985).

En la fase final, siglos XVII-XIX, las instalaciones se diferenciaron en dos grupos: por un lado, el oriental –las fargas–, caracterizado por la inyección de aire en el horno por medio de una trompa hidráulica, una innovación surgida en Italia en el siglo XVI que se adoptó con características propias en el Pirineo (Cantelaube, 2005). Por otro, el occidental –las ferrerías–, que mantuvo los fuelles como sistema de ventilación forzada hasta su desaparición. En ambos grupos se obtenían tochos de hierro de buena calidad destinados al mercado internacional, tanto europeo como americano, que competían con el hierro elaborado en los hornos altos.

1.1. Reducción directa y reducción indirecta

En los minerales de hierro (óxidos ferrosos), el elemento metálico se presenta combinado con oxígeno en diferentes grados, siendo los electrones periféricos los que se unen al oxígeno. Para separar esa unión y obtener hierro metálico, son precisos electrones suplementarios. Esta transferencia de electrones es la reacción química denominada reducción. Dicho de otra manera: el proceso reductor consiste en romper la cadena que une los átomos de oxígeno con el hierro. De acuerdo con lo señalado por Serneels (1997, pp. 9 y ss.), para ello se necesita energía (calor) y un agente reductor, es decir, un elemento químico con tendencia a combinarse con los átomos de oxígeno. En siderurgia, el carbono es el elemento que juega el papel de agente reductor. A partir de 700 °C, el carbono (C) y el monóxido de carbono (CO) son capaces de sustraer el oxígeno del óxido ferroso (FeO). Esa reacción produce dióxido de carbono, gas carbónico (CO₂) y hierro metálico. El aumento de temperatura favorece la reacción. En general, cuando se quema carbón en un horno se obtiene, por un lado, el calor

2 La limitación del forro de hierro a tres de las cuatro paredes del horno no presenta mayor relevancia a la hora de caracterizar el proceso, siendo la presencia de esa cubrición con planchas la referencia a tener en cuenta.

necesario y, por el otro, el monóxido de carbono reductor. A 700 °C, el hierro está lejos de su punto de fusión y se mantiene en estado sólido, al igual que los otros componentes del mineral; pero entre 1100 y 1200 °C, la ganga alcanza el punto de fusión y pasa a ser una escoria líquida que puede sangrarse, mientras que el hierro metálico se mantiene sólido o pastoso. Esta operación es la que recibe el nombre de método directo de reducción de hierro.

Continuando con lo indicado por Serneels, si la operación se prolonga y se aumenta la temperatura, podrá darse la difusión del carbono en el hierro, formándose una aleación, que es lo que se conoce con el nombre de arrabio. El punto de fusión de esta aleación resulta ser más bajo que la del hierro, de modo que se formarán dos líquidos en el horno. Gracias a la diferencia de densidad, se pueden separar fácilmente, sangrándolos uno detrás del otro. El hierro fundido, sin embargo, es quebradizo y no permite ser forjado. Aunque puede moldearse, el resultado no puede remplazar las aplicaciones del hierro. Para ello es necesaria una nueva operación: el afinado, que consiste en extraer parte del carbono recalentando el arrabio en otro horno y sometándolo a una corriente de aire. De esa forma, el oxígeno se combina con el carbono y forma CO². Parte del hierro se re-oxidará y se perderá, pero por esta vía se conseguirá un metal mucho más pobre en carbono y, por lo tanto, forjable. En este caso se trata del método indirecto de reducción de hierro.

Hasta hace pocos años, se pensaba que el método indirecto había llegado a Europa procedente de China a finales de la Edad Media, pero las investigaciones arqueológicas de G. Magnusson (1995, pp. 33 y ss.) en Lapphyttan (Suecia), yacimiento en el que se descubrió una instalación de este tipo datada en el siglo XII, abrieron una nueva línea de trabajo (Björkenstam, 1995). De hecho, hoy en día, el mismo tipo de horno con la misma cronología de Lapphyttan se ha reconocido también en Alemania (Stenvik, 2003, p. 167), y ha abonado la idea de una implantación más antigua y con otras connotaciones geográficas.

El proceso indirecto fue adoptado prácticamente de manera general en toda Europa en el XVI, a excepción de ciertas regiones, como ya se ha indicado.

1.2. La reducción directa en hornos bajos

El proceso de reducción directa en hornos bajos, siguiendo a Eschenlohr y Serneels (1991, pp. 49 y ss.), cuenta con la inyección de aire por la parte inferior, entrando en contacto con el carbón vegetal en combustión. El oxígeno del aire se combina con el carbono del carbón, debido al calor de la reacción, produciéndose monóxido de carbono. Junto a la zona de inyección de aire la atmósfera es oxidante, mientras que en la parte superior la atmósfera es cada vez más reductora. El aire que entra en el horno es frío, pero la oxidación del carbono produce directamente gran cantidad de calor como reacción exotérmica. La temperatura aumenta proporcionalmente según la cantidad de aire inyectada. En ese ambiente de altas temperaturas entran en juego también los minerales, los óxidos de hierro que se han calcinado previamente. La carga de minerales de hierro en el horno se hace desde arriba y según descienden

van alcanzando temperaturas cada vez más elevadas. A partir de varios cientos de grados de temperatura, da comienzo la reducción de los óxidos de hierro debido al monóxido de carbono. A partir de los 600 °C empieza la formación de FeO, otro óxido de hierro, que rápidamente se reduce a hierro metálico. La reducción progresa de esta forma hasta alcanzar temperaturas del orden de 1100 °C. Mientras tanto, los otros componentes del mineral y los óxidos de hierro no reducidos forman una mezcla que comienza a fundirse. La reacción entre los óxidos de hierro líquido y el carbono sólido puede tomar a partir de ese momento cierta importancia. El hierro metálico, mientras tanto, permanece sólido. Las partículas de hierro se van concentrando en una masa. La escoria líquida se cuela –sangrado– por gravedad y se separa de esa manera del metal. A temperaturas superiores a 1150 °C, entra en escena otro fenómeno: el hierro y el carbono pueden formar una solución sólida, es decir, ciertos átomos de carbono pueden incorporarse a los cristales de hierro de forma intersticial, resultando acero (Serneels, 2011).

El método directo de reducción de mineral de hierro en los hornos bajos permite, por tanto, obtener en una sola operación una esponja formada por la solidificación de cristales de hierro más o menos aglomerados, rodeados de escoria, carbón y otros elementos. Este metal, una vez liberado de las escorias, es inmediatamente utilizable para fabricación en forja de objetos, herramientas, etc.

2. FARGAS Y FERRERÍAS EN EL PIRINEO

Durante siglos, las fábricas hidráulicas de producción de hierro fueron muy abundantes en ambas vertientes del Pirineo, gracias a la existencia de minerales de hierro de buena calidad, bosques en los que obtener carbón vegetal y numerosos cursos de agua de los que derivar el caudal necesario para las máquinas utilizadas en estas instalaciones. Pero, a partir del siglo XIX, comenzó la decadencia de estas industrias, debido a que no pudieron competir con las grandes producciones de los hornos altos, sobre todo desde que se incorporó el convertidor *Bessemer*, que facilita extraordinariamente la operación de afinado. Los mismos propietarios de ferrerías y fargas hidráulicas fueron en muchos casos los protagonistas de la reconversión industrial, como ocurrió con la fundación en 1860 de los primeros altos hornos de Gipuzkoa en la fundición de San Martín de Urbietta en Beasain (antecedente de la actual empresa de construcción de ferrocarriles, CAF), cuyo capital inicial fue aportado entre otros por el ferrón de Igartza, también en Beasain (Agirre, Ibañez, Mora, Moraza & Zapirain, 2000).

Si bien el final de estas instalaciones es relativamente conocido (Legorburu, 2000, p. 167), no ocurre igual con sus inicios. A este respecto, los investigadores franceses defienden que la introducción de la energía hidráulica en la producción de hierro fue obra del Cister y que su difusión se llevó a cabo con la expansión de esta comunidad monástica, principalmente a partir del siglo XII (Benoit & Cailleaux, 1991). Sin embargo, para Catalunya, donde las fuentes documentales medievales son extraordinariamente abundantes en los siglos altomedievales como corresponde a la organización administrativa carolingia, Sancho (2011) recoge menciones de los siglos IX y X que pone

en relación con el aprovechamiento de caudales cercanos en instalaciones siderúrgicas³. Pero, a estas menciones escritas, añade los resultados de excavaciones arqueológicas realizadas en Fabregada (Sant Esteve de la Sarga, Lleida) a comienzos de los años 90 del siglo pasado (Sancho, 1997). En este yacimiento ha reconocido un establecimiento rural de producción de hierro situado junto a un embalse, que ha datado por fuentes documentales y registros arqueológicos en el siglo XI. En su propuesta, el uso de la energía hidráulica queda limitado en Fabregada a la mecanización del mazo, mientras que los fuelles seguían siendo manuales y alimentaban un horno bajo y abierto con sangrado de escoria. En cualquier caso, con anterioridad y en un contexto diferente al planteado por los investigadores franceses.

La mecanización de los fuelles según Sancho (1997) llegaría más tarde, a finales del siglo XIII o comienzos del XIV y, en consecuencia, las pequeñas instalaciones rurales altomedievales como Fabregada se abandonarían, siendo reemplazadas por otras situadas en zonas más ricas en yacimientos de minerales de hierro, debido a que las producciones eran de mayor volumen y necesitarían mayores cantidades de mineral.

Parece que a finales del siglo XV hubo una nueva reconversión, probablemente derivada de mejoras en los saltos de las ruedas, destacando la solución que las fuentes denominan «a la genovesa» (Urteaga, 2000). Es muy posible que fuera esa la razón del cierre de muchas instalaciones situadas junto a cauces de caudal reducido y su traslado a lugares mejor dispuestos para un mayor suministro de agua.

El programa constructivo, de equipamiento y disposición general de estas nuevas o mejoradas instalaciones de finales del siglo XV se mantendrá en líneas generales en los siglos siguientes y será sobre este modelo –más o menos definido– en el que tendrá lugar la sustitución de los fuelles por la trompa hidráulica en el siglo XVII (Cantelaube, 2005, pp. 131 y ss.), lo que dará lugar a las variantes oriental –farga– y occidental –ferrería– de las instalaciones hidráulicas de producción de hierro del Pirineo.

3 En documentación medieval del monasterio de Alaón, Sancho (2011, p. 655) recoge entre otras una cita del año 973 en la que se nombra un río que discurre junto a una «farga»: «in ipsium río qui discurrit de ipsa farga».



Figura 1. Mapa de localización de los lugares citados en el texto.

2.1. Características de las instalaciones

Fargas y ferrerías contaban con una presa o azud que desviaba el caudal necesario desde los cauces de las inmediaciones; por medio de canales llegaba hasta un depósito elevado –antepara–, desde el que se producían los saltos sobre las ruedas (fig. 2a). La construcción de la antepara fue evolucionando con los siglos, y pasó de contar con un fondo de tablazón de madera bien impermeabilizado a tener sólidas bóvedas de medio cañón en la fase final. Debía tener una altura de varios metros para permitir alojar en la parte inferior –estolda– las ruedas, cuyas dimensiones alcanzaban los 15 y hasta los 20 pies (3 m) de diámetro (Ugalde, 2002).

En las ferrerías las anteparas alimentaban dos saltos de agua, uno para la rueda que movía los fuelles o barquines; otro, para la rueda del mazo (fig. 2b). En las fargas, en lugar de la rueda de los barquines se encontraba el salto de la trompa hidráulica o caja de vientos (véase fig. 5). Adosados al depósito elevado se encontraban los talleres, con plantas adaptadas a la disposición del depósito de agua elevado (fig. 2c).

Las máquinas en las ferrerías se colocaban alineadas en un eje, en cuyo centro se situaba el horno; por la parte trasera se disponía el par de fuelles para proporcionar una inyección de aire continua que entraba en el horno a través de la tobera de cobre; hasta la parte delantera del horno llegaba la cabeza del mazo, insertada en un largo mazo de

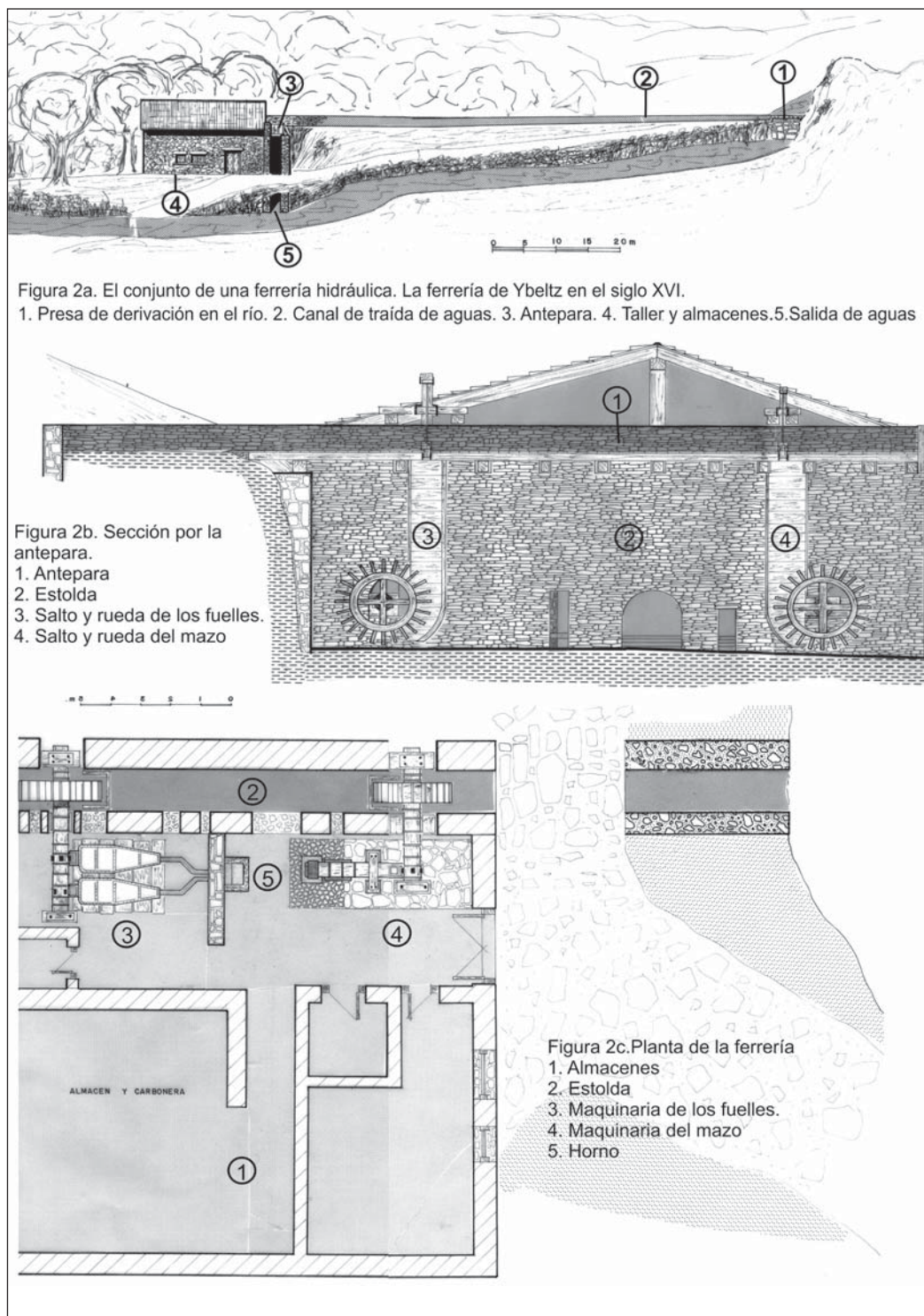


Figura 2. La ferrería de Ybeltz, siglo XVI (Asteasu-Larraul, Gipuzkoa). Imagen procedente de Urteaga (2002a, p. 262).

madera, que se levantaba conforme se movía la rueda correspondiente en cuyo eje se alojaba el árbol de levas; este árbol transmitía el movimiento. Bajo la cabeza del mazo se colocaba el yunque sobre el que se trabajaba la masa de hierro bruto –«agoa» en las ferrerías y «masser» en las fargas– recién sacada del horno (fig. 3).

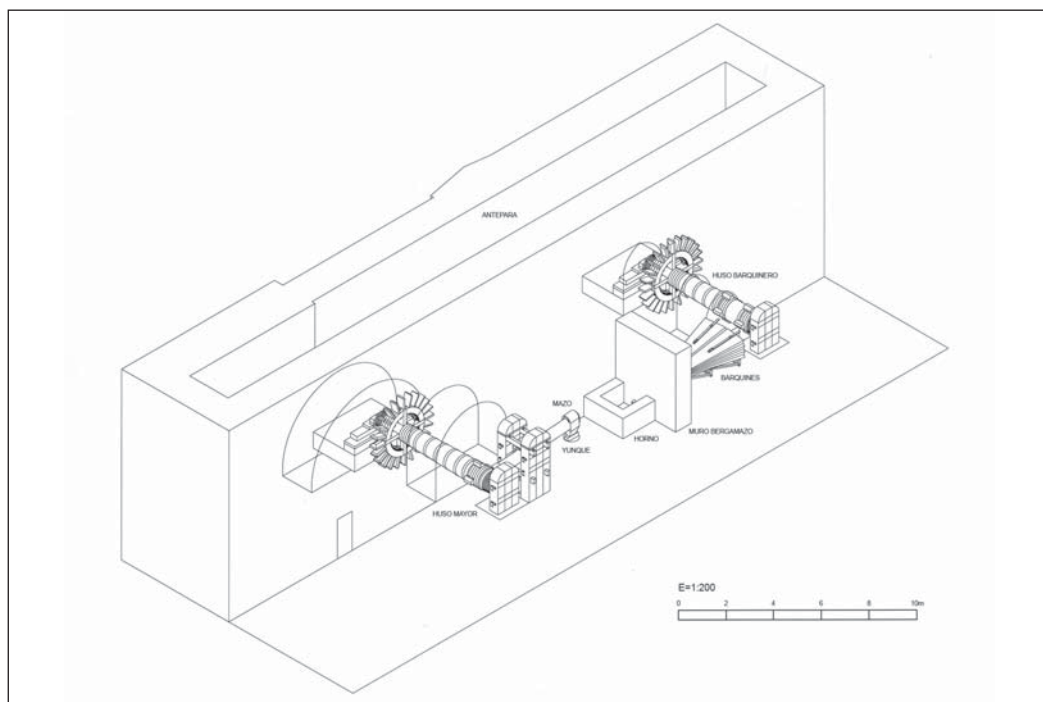


Figura 3. Reconstrucción en 3D de las principales máquinas de las ferrerías hidráulicas. Imagen procedente de Urteaga (2001, p. 248).

La presencia de la trompa hidráulica permitía en las fargas ganar espacio de trabajo, por ocupar menos superficie que los fuelles y, de esta manera, añadir un mazo de menores dimensiones: el martinete, con el que se trabajaba los tochos y se elaboraban barras y productos semi-elaborados en la misma instalación. Estas operaciones en las ferrerías se llevaban a cabo en otros edificios (ferrerías menores), que, en ocasiones, compartían la misma infraestructura hidráulica y se ordenaban a ambos lados de la antepara.

Independientemente de la forma de inyección de aire, trompa o fuelles, tanto fargas como ferrerías producían hierro en un horno de diseño similar: un horno bajo, abierto y de forma troncopiramidal invertida, donde en una sola operación se obtenía la masa de hierro en bruto que inmediatamente se compactaba bajo el mazo. Para ello se cargaba el horno con minerales de hierro, óxidos (hematites) e hidróxidos (goethita), previamente calcinados, y con carbón vegetal. La carga de mineral y carbón se realizaba de una manera determinada, que probablemente se transmitiría de una generación a otra a través de la estructura gremial. El control del proceso se realizaba desde la parte superior del horno, que se encontraba abierta como se ha señalado, y la masa metálica resultante,

de buen peso, se extraía, aprovechando la pendiente de una de las paredes. Trabajaban todo el año si contaban con caudal suficiente también en verano y, en caso contrario, lo hacían durante nueve meses.

En cuanto a las cifras de producción, aprovechando fuentes contemporáneas es posible obtener datos comparativos de finales del siglo XVIII. Coincidiendo con las encuestas sobre ferrerías iniciadas por la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País en 1765, Ramón María de Munibe –hijo del conde de Peñaflores– acudió al obispado de Mirepoix y País de Foix, con el objeto de informar sobre varias fargas (Urteaga, 2002, pp. 85 y ss.). Las informaciones permiten saber que las fargas de Languedoc y Foix hacían cuatro operaciones al día, obteniendo en cada una de ellas «agoas» de 3 quintales y medio (en este caso, los quintales son de 100 libras); es decir, 175 kg de peso. Para ello gastaban unos 900 kg de carbón y 600 kg de vena cruda, que se reducían a 450 kg, una vez calcinada.

En cantidades similares se movían las ferrerías «zearrolas» que obtenían cinco «agoas» cada 24 horas de 11,5 o 12 arrobas (entre 215 y 225 kg), para las que necesitaban cinco cargas de carbón y 21,5 arrobas de mineral (unos 400 kg)⁴. Hay que tener en cuenta que las «zearrolas» eran ferrerías de mayores dimensiones y que obtenían mayores cantidades de hierro que el resto. Según D'Elhuyart (1787/1985, pp. 90 y ss.), las ferrerías comunes se movían en cantidades menores; producían una media de cinco o seis «agoas», con un peso de 1 quintal de 150 libras (75 kg), gastándose en su obtención 3 quintales (222 kg) o 3,5 quintales (260 kg) de mineral crudo, que se reducía una cuarta parte tras el proceso de calcinación, y 5 quintales de carbón (375 kg).

2.2. El horno de las ferrerías

Se cuenta con una descripción muy precisa, remitida por Benito de Ansotegui a las Comisiones Segundas de la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País en 1770 (Urteaga, 2002, pp. 72 y ss.), que incluye planos en planta y sección con escala. Siguiendo esas informaciones, se advierte que tiene forma troncopiramidal invertida, abierto en la parte superior, con el fondo de planta cuadrada y de menor tamaño, además de desplazado en la zona de la tobera. La anchura en la parte superior es de 3 pies y 2 onzas (unos 90 cm) y una longitud de 3 pies y medio (1 m aproximadamente); la altura, 29 onzas (67,5 cm). Estaba forrado de planchas de hierro y el fondo o «sigilu», también conocido con el nombre de «sigillo», se hacía con una torta de hierro de forma circular y 3 onzas de grueso (7 cm), que se colocaba ligeramente inclinada para facilitar la salida de la escoria por el «zidarzulo». La pared de la tobera presenta dos planos distintos que confluyen en el punto en el que asoma la tobera; en la parte superior lleva el nombre de «betarri» y «urtuera» en la parte inferior. La pared opuesta, con una inclinación de 45° se conoce con el nombre de «haizearri», y de las otras dos paredes, la que contaba con el hueco para sangrado de escorias lleva el nombre de «zidarzulo». El autor de la descripción también añade que era muy importante que el horno estuviera bien aislado de la humedad.

4 Datos procedentes de la ferrería «zearrola» de Torrezar en Orozko (Bizkaia) incluidos en el *Tratado de metalurgia* (Urteaga, 2002, p. 160).

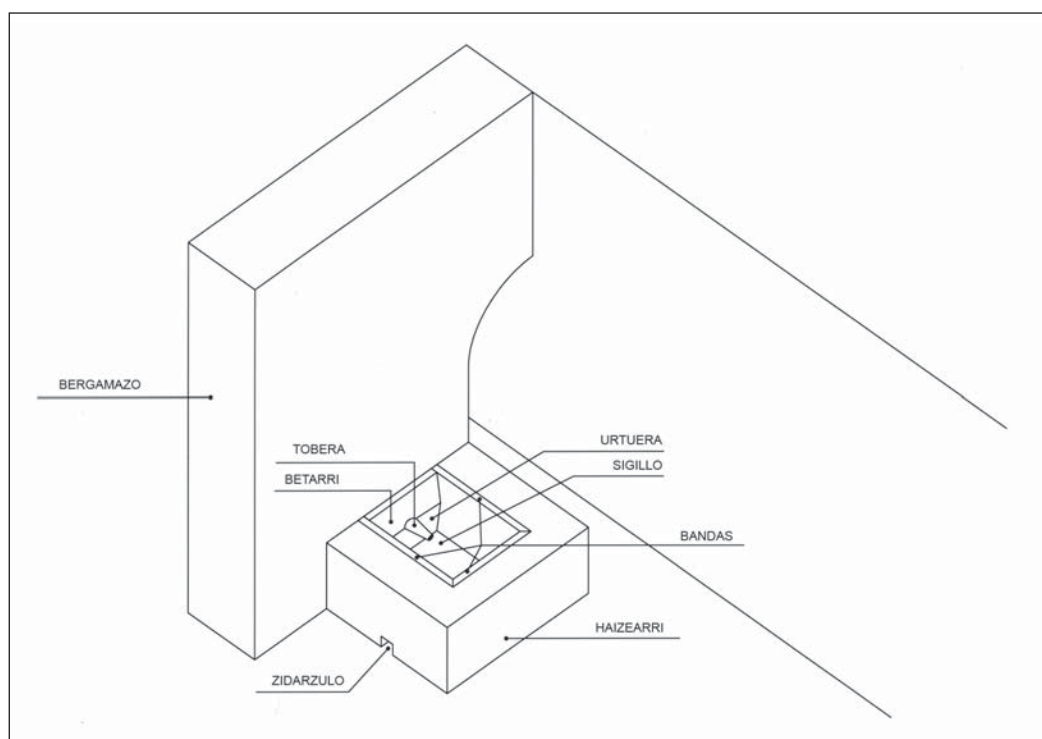


Figura 4. El horno de las ferrerías hidráulicas, según la descripción de B. Ansotegui. Imagen procedente de Urteaga, Crew, Pluzin, Herbach y Dillmann (2000, p. 61).

2.3. El horno de las fargas

El horno de las fargas, según la descripción de Munibe de 1765 (Urteaga, 2002, p. 88 y ss.), se construía en la zona más elevada y todo el interior se forraba de gruesas piezas de hierro. Tenía la forma de una «pirámide casi cuadrada, troncada e inversa», lo que se llamaba el alma del fogal. El hueco, propiamente dicho, era de 18 pulgadas de ancho (45,72 cm) en la pared de la tobera y 16 pulgadas (40,5 cm) en la del «zidarzulo», con una planta de 288 pulgadas cuadradas (0,73 m²). Alcanzaba una altura de 40 pulgadas (1 m), pero la parte del «zidarzulo» era menos elevada y terminaba en un plano inclinado hacia el interior del horno; estaba cubierta de gruesas bandas y piezas de hierro en las que los operarios apoyaban las herramientas, manejaban el fuego y sacaban la fundición. La tobera, de cobre, entraba inclinada en el horno un palmo u 8 pulgadas (20,3 cm). El fondo estaba hecho de una pieza dura y sólida de 18 a 20 pulgadas de diámetro (unos 50 cm), casi cuadrada y de 4 pulgadas (10 cm) de grueso. Los muros que rodeaban el horno eran de cantería y de casi 1 metro de espesor.

Lo relevante de las investigaciones de los últimos años ha sido comprobar arqueológicamente que ese mismo tipo de horno, pero en versión más reducida, está también presente en establecimientos medievales no hidráulicos, situados mayoritariamente en las montañas cerca de áreas mineras.

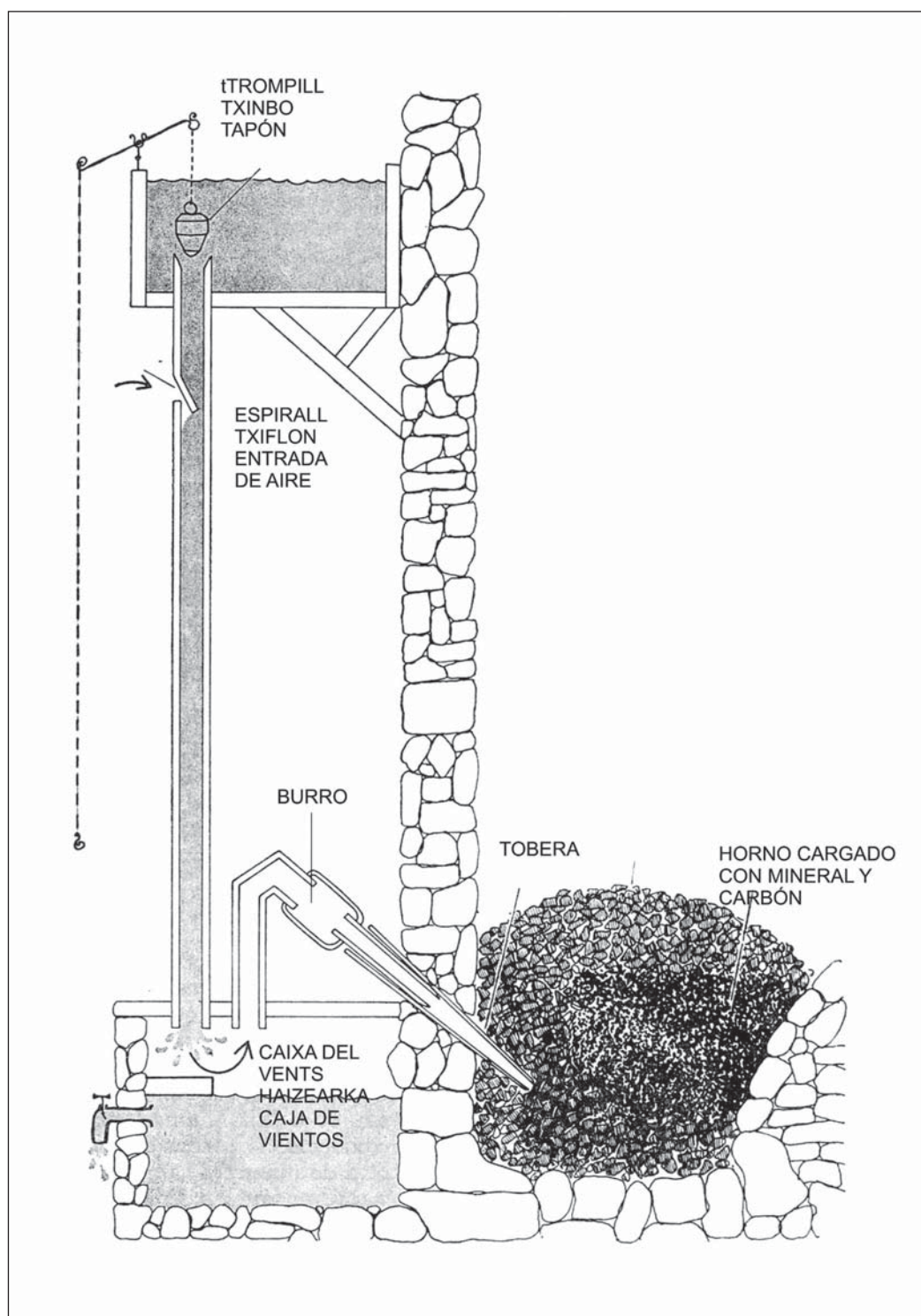


Figura 5. Trompa hidráulica y horno de las fargas. Imagen procedente de Molera y Barrueco (1983, p.12). Se han añadido los términos en euskera y castellano de los elementos con traducción en estas lenguas.

3. LA SIDEROMETALURGIA PREHIDRÁULICA

El punto de partida a tener en cuenta es la gran diferencia existente entre los testimonios arqueológicos de las instalaciones hidráulicas y los de las más antiguas no hidráulicas; las primeras se manifiestan a través de ruinas arquitectónicas de cierto porte y envergadura, mientras que para la identificación de las otras se cuenta con amontonamientos de escorias, escoriales, repartidas por zonas de montaña; las investigaciones además cuentan con itinerarios diferentes, siendo el horizonte de las «haizeolak» el que ha aglutinado el interés por la metalurgia más antigua, la no hidráulica.

Los términos vascos «haizeola» y «gentilola» fueron recogidos de un anciano en la zona de Zerain (Gipuzkoa), por el ingeniero Manuel Laborde en los años 50 del siglo pasado (Laborde, 1956). Ambas denominaciones eran usadas por los antepasados del informante para referirse a los antiguos hornos de obtención de hierro de los que habían quedado abundantes muestras en forma de acumulaciones de escoria.

Laborde incorporó el término «haizeola» al lenguaje técnico de la paleosiderurgia. Lo utilizó para identificar los escoriales de hierro situados en zonas de montaña. A partir de la situación de los escoriales y las características de las escorias estableció, además, la relación con la metalurgia no hidráulica.

La identificación de estos escoriales con la producción de hierro no hidráulica viene de antiguo; ya en el siglo XVI, el cronista Esteban de Garibay (1556/1628) señaló que las primeras instalaciones para la obtención del hierro en Cantabria se situaban en las «alturas de estas mismas montañas» y que en ellas se trabajaba a fuerza de brazos y no con energía hidráulica. El argumento utilizado se refería a que los emplazamientos de los escoriales se situaban lejos de los cursos de los ríos. Lope Martínez de Isasti (1625, p. 236), poco después, repitió la propuesta de Garibay para una fase previa a las ferrerías hidráulicas, en las que el hierro se trabajaba en las montañas «con las manos». Villarreal de Bériz (1736/1973, p. 43) y Larramendi (1756/1982, pp. 64-65) continuaron presentando la misma situación, al igual que otros historiadores del siglo XX, como Caro Baroja (1949) y el mismo Laborde (1979); con estos últimos se introduce entre los investigadores el término señalado de «haizeola», que puede traducirse como «ferrería de viento» (*haize* es 'viento' y *ola* es 'ferrería'), lo que algunos han interpretado a favor de su funcionamiento con tiro natural (Arbide et al., 1980).

3.1. Las ferrerías no hidráulicas en las fuentes documentales

Un par de documentos medievales muy conocidos en la bibliografía sobre las ferrerías hidráulicas, redactados respectivamente en 1290 y 1335, en el contexto de la villa de Segura (Gipuzkoa), resultan también de aplicación para las instalaciones no hidráulicas o «haizeola». En el documento del año 1335, el concejo de Segura (Gipuzkoa) obligó a los ferrones de su jurisdicción a realizar las ventas de hierro y los abastecimientos a través de la villa; en el mismo, se inscribe un párrafo en el que aparecen tres tipos diferentes de ferrerías: las masuqueras, las de mazo de agua y las de «omes».

[...] por razón e manera que avemos ferrerías masuqueras e otras de / maço de agua e de omes nos e otros en Necaburu e en Legazpia e en otros logares que labran la vena de Necaburu e de Hayzpuru e de Çamora e de Ocannu e de Barbaria [...] (Díez de Salazar, 1985, doc. 24).

Las de mazo de agua, como indica su nombre, resultan hidráulicas, pero también las masuqueras, como se sabe por la documentación de los siglos XV al XVIII. Las primeras serían las instalaciones que habían mecanizado solo el mazo (de mazo de agua), y las otras, las instalaciones con fuelles y mazo mecanizados (Urteaga, 1995). La última categoría, las ferrerías de «omes», como su nombre indica, serían las no hidráulicas que trabajaban a fuerza de brazos.

La otra referencia documental, también de Segura, se recoge en la carta puebla otorgada por Sancho IV a los que acudieron a fundar Segura en tiempos de Alfonso X, en la que vuelven a mencionarse las ferrerías masuqueras:

[...] E por / les faser mas bien e mas merçed, tengo por bien que las ferrerías que son en Legazpia masuqueras que estan en yermo que los fazen robos los malos omes e los robadores que / vengán mas cerca de la villa se Segura que las poblen porque sean mas abondadas e mas en salvo [...] (Díez de Salazar, 1985, doc. 12).

De las citas documentales expuestas se deducen dos cuestiones al menos de cierta entidad; por un lado, que, a comienzos del siglo XIV, convivían todavía las instalaciones no hidráulicas y las hidráulicas, y que estas últimas repiten lo apuntado por Sancho (2011) para la zona oriental del Pirineo; es decir que la mecanización completa de las ferrerías, fuelles y mazos, mediante energía hidráulica, se había producido ya a finales del siglo XIII. La mención a las ferrerías de mazo de agua comparte también la línea apuntada por esa investigadora sobre la existencia de ferrerías en las que la aplicación hidráulica se limitaba al mazo, que serían más antiguas.

La convivencia de ferrerías hidráulicas y no hidráulicas se deduce también de la cronología obtenida en los escoriales de montaña analizados arqueológicamente en los que, en algunos casos, las dataciones alcanzan el siglo XIV. Las informaciones en su conjunto abonan, en cualquier caso, la idea de una tradición siderometalúrgica compartida para instalaciones hidráulicas y no hidráulicas, que elimina las distancias historiográficas entre la «haizeola» medieval y las ferrerías-fargas hidráulicas.

3.2. El catálogo de escoriales de hierro de montaña

El interés patrimonial de los escoriales de hierro ha ido creciendo desde que Calle Iturrino (1960) publicara a mediados del siglo pasado la primera relación de la que se tiene noticia. Años más tarde, en los años ochenta, Gorrochategui y Yarritu (1990) los incluyeron en sus prospecciones arqueológicas en Encartaciones (Bizkaia) y por las mismas fechas se estudió el primer conjunto de la zona de Legazpi (Gipuzkoa) (Arbide et al., 1980). En los años 90 se pasó a realizar intervenciones arqueológicas en los mismos (Gorrochategui, Yarritu, Martín, Zapata & Iriarte, 1995; Ugarte & Urteaga, 2014), y

con el nuevo milenio llegó el aumento exponencial de los trabajos arqueológicos y la planificación de programas específicos para su catalogación y estudio (Beyrie, 2008; Franco, 2007, 2008, 2011; Ugarte & Urteaga, 2014).

Como resultado de esta actividad se conocen unos 500 escoriales de hierro de montaña catalogados, 250 de ellos se han censado en Gipuzkoa, 170 en Bizkaia, 55 en Larla (Baigorri, Baja Navarra) y 25 en Álava. Además, se han realizado intervenciones arqueológicas de diferente grado en unos cincuenta (Urteaga et al., 2018). Es preciso advertir que la cifra del medio millar de escoriales registrados hasta la fecha fue con toda seguridad muchísimo más amplia. Al igual que ocurrió en Montaña Negra (Francia) y en otros muchos entornos europeos en los que hubo una importante siderurgia moderna, los escoriales de hierro fueron aprovechados industrialmente en las fundiciones de los siglos XIX y XX. Es más, puede decirse que solo se han conservado aquellas acumulaciones de difícil acceso o de escasa entidad.

Hecha esta apreciación con los registros disponibles, se observan concentraciones en áreas determinadas, como son: los 124 escoriales del entorno de Legazpi, los 55 de Larla en Baigorri, los 54 de Galdames (Bizkaia) o los 45 de la Peña de Aia (Gipuzkoa). Esta distribución tiene que ver con la existencia de yacimientos importantes en cuanto a mineral de hierro se refiere (Urteaga et al., 2018).

3.3. Cronología de los escoriales de hierro de montaña

Hoy en día, los registros publicados de escoriales de montaña datados ascienden a 50 unidades; se ha añadido a la lista el registro de Bagoeta en Álava –un asentamiento rural–, al comprobarse que el tipo de horno descubierto en las excavaciones realizadas en el lugar puede incluirse en el grupo estudiado (Azkarate & Solaun, 2014). Así, resultan 50 unidades: 22 en Bizkaia, 13 en Gipuzkoa, 13 en Baja Navarra y 2 en Álava (tabla 1).

Los escoriales datados vienen a ser un 10% del total y se reparten a lo largo de un período que arranca en el siglo III a. C. y llega hasta finales del siglo XIV, aunque la mayor concentración se produce en los siglos XI y XII. En este amplio abanico temporal, las informaciones arqueológicas más relevantes se refieren a instalaciones encuadradas en los dos extremos del arco cronológico: por un lado, entre los siglos III a. C. y III d. C. (tabla 2), y por otro, entre los siglos IX y XIV (tabla 3).

Tabla 1. Relación de registros cronológicos publicados de establecimientos siderometalúrgicos prehidráulicos

Denominación	Municipio	Territorio	Ref. bibliográfica
Akelarra	Dima	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Arteta	Galdakao	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Estación I	Arcentales	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Artobilla II	Zaratamo	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Lekubarri	Gordexola	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Salbartondo II	Galdames	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Saukutza III	Bedia	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Basoberri	Sin identificación	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Arrastaleku	Bilbao	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Los Campillos	Galdames	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Callejaverde I	Muskiz	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Callejaverde II	Muskiz	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Peñas Negras	Ortuella	Bizkaia	Franco, Fernández, Alberdi & Etxezarraga (2014)
Arraiz	Sin identificación	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Gongeda	Alonsotegi	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Crucero	Galdames	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Biriguera I	Galdames	Bizkaia	Franco y Giner (2017)
Ilso Betaio	Arcentales	Bizkaia	Gorrochategui, Yarritu, Martín, Zapata e Iriarte (1995)
Oiola IV	Trapagaran	Bizkaia	Pereda (1997)
Oiola II (Loiola)	Trapagaran	Bizkaia	Cepeda y Unzueta (2015)
Peña Helada I	Galdames	Bizkaia	Franco, Etxezarraga y Alberdi (2015)
Peña Helada II	Galdames	Bizkaia	Franco et al. (2015)
Bagoeta	Arrazua-Ubarrundia	Álava	Azkarate y Solaun (2015)
Zepamendi	Legutio	Álava	Alberdi, Etxezarraga y Artetxe (2015)
Larla I	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Larla II	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Larla III	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Larla IV	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Larla V	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Larla VI	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Larla	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Larla VIII	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Larla IX	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Larla X	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)

Denominación	Municipio	Territorio	Ref. bibliográfica
Larla XI	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Oheta	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Harotzainekoborda	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra	Beyrie (2014)
Torre	Astigarribia (Mutriku)	Gipuzkoa	Franco et al. (2015)
Anporreta	Arrasate-Mondragón	Gipuzkoa	Franco et al. (2015)
Erdokazabaleta V	Mutiloa	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Otañu III	Legazpi	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Aizaleku V	Legazpi	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Zabarain VII	Legazpi	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Aizpee V	Zerain	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Teniola IV	Legazpi	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Larrosain	Zerain	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Erlaitz I	Mutiloa	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Erdokazabaleta 3	Mutiloa	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Basaundi II	Legazpi	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014
Teniola I	Legazpi	Gipuzkoa	Ugarte y Urteaga, 2014

Tabla 2. Establecimientos sidero-metalúrgicos con dataciones comprendidas entre los siglos III a. C. y III d. C.

Denominación	Municipio	Territorio
Zepamendi	Legutio	Álava
Larla I	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla II	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla III	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla IV	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla V	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla VI	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla VII	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla VIII	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla IX	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla X	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Larla XI	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Oheta	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Harotzainekoborda	Saint-Martin d'Arrossa	Baja Navarra
Oiola II (Loiola)	Trapagaran	Bizkaia

Tabla 3. Establecimientos sidero-metalúrgicos con dataciones comprendidas entre los siglos IX y XIV

Denominación	Municipio	Territorio
Estación I	Arcentales	Bizkaia
Salbartondo II	Galdames	Bizkaia
Saukutza III	Bedia	Bizkaia
Basoberri	Sin identificación	Bizkaia
Arrastaleku	Bilbao	Bizkaia
Los Campillos	Galdames	Bizkaia
Callejaverde I	Muskiz	Bizkaia
Callejaverde II	Muskiz	Bizkaia
Peñas Negras	Ortuella	Bizkaia
Arraiz	Sin identificación	Bizkaia
Gongeda	Alonsotegi	Bizkaia
Ilso Betaio	Arcentales	Bizkaia
Oiola IV	Trapagaran	Bizkaia
Peña Helada I	Galdames	Bizkaia
Peña Helada II	Galdames	Bizkaia
Bagoeta	Arrazua-Ubarrundia	Álava
Torre	Astigarribia (Mutriku)	Gipuzkoa
Anporreta	Arrasate-Mondragón	Gipuzkoa
Erdokazabaleta V	Mutiloa	Gipuzkoa
Otañu III	Legazpi	Gipuzkoa
Aizaleku V	Legazpi	Gipuzkoa
Zabarain VII	Legazpi	Gipuzkoa
Aizpee V	Zerain	Gipuzkoa
Teniola IV	Legazpi	Gipuzkoa
Larrosain	Zerain	Gipuzkoa
Erlaitz I	Mutiloa	Gipuzkoa
Erdokazabaleta III	Mutiloa	Gipuzkoa
Basaundi II	Legazpi	Gipuzkoa
Teniola I	Legazpi	Gipuzkoa

En el grupo más antiguo se sitúa el conjunto de los hornos de Larla, datados, como se ha indicado, entre los siglos III a. C. y III d. C. (Beyrie, 2008), sin que se constaten variaciones significativas entre los prerromanos y los romanos; pertenecen a una tipología bien conocida para los siglos que encuadran el cambio de era; son hornos bajos, semicavados en el terreno natural, con una planta estrecha y alargada dividida en dos partes diferenciadas: la entrada y la cámara de reducción, cerrada esta última con chimenea. Según las campañas de experimentación arqueológica, funcionaban con tiro natural, sangraban escorias y alcanzaban temperaturas ligeramente por encima de los 1000 °C (Beyrie, 2008, 2014, 2015).

3.4. Los hornos medievales pre-hidráulicos

A diferencia de los anteriores, los hornos reconocidos arqueológicamente en los escoriales datados en el período medieval se encuadran en un contexto tecnológico muy diferente. Siguen siendo hornos bajos, pero son abiertos, sin cámara de reducción cerrada, ni chimenea.

Las informaciones más precisas se han obtenido en los escoriales de Callejaverde I (fig. 6), Callejaverde II (Muskiz, Bizkaia), Peñas Negras (Ortuella, Bizkaia), Peña Helada (Galdames, Bizkaia), Arrastaleku I (Bilbao), Anporreta (Arrasate-Mondragón, Gipuzkoa) y Basaundi II (Legazpi, Gipuzkoa)⁵. En los últimos casos solo se ha conservado la parte inferior de los hornos, pero son similares a los mejor conservados en otros yacimientos citados.



Figura 6. El horno de Callejaverde I (Muskiz, Bizkaia); fotografía cortesía de J. A. Fernández Carvajal de Ondare Babesa, S.L. (Vitoria/Gasteiz).

Son de planta cuadrada con los ángulos redondeados; la planta en la parte baja está excavada en gran parte en el terreno natural, es de menores dimensiones, 40 x 30 cm, que el plano superior, donde alcanza los 70 x 60 cm, y se presenta desplazada ligeramente hacia

5 Los registros de Callejaverde I y Peñas Negras en Franco, Fernández Carvajal, Alberdi y Etxezarraga (2014); los de Callejaverde II, Peña Helada y Arrastaleku en Franco y Gener (2017); y, los de Basaundi II en Urteaga et al. (2018).

atrás en el eje longitudinal (fig. 7). Las paredes tienen en torno a un metro de espesor y se construyeron con piedras areniscas de tamaño medio unidas con arcilla. El plano de la base se consigue con una capa de escorias nivelada a semejanza del «sigilu». Por debajo de este plano sigue una cubeta con las paredes perfectamente alisadas, cuya función parece ser la de evitar que la parte del «sigilu» reciba humedades. El hueco de la tobera aparece a media altura en la pared trasera; detrás de ella se situarían los fuelles, cuyo cañón o confluencia en la tobera parece que apoyaba en una losa preparada al efecto. La parte superior de esa pared cuenta con un engrosamiento notable y ofrece dos planos distintos, según se trate de la zona superior o inferior del punto de colocación de la tobera, igual que las partes de «betarri» y «urtuera», vistas anteriormente. La pared opuesta cuenta con una inclinación de 45°, igual que la pared «haizearri» de las ferrerías hidráulicas (Urteaga et al., 2018). De las dos paredes restantes conviene señalar que en una de ellas se abría el hueco por el que se sangraban las escorias (Franco et al., 2015); sería el equivalente del «zidarzulo».

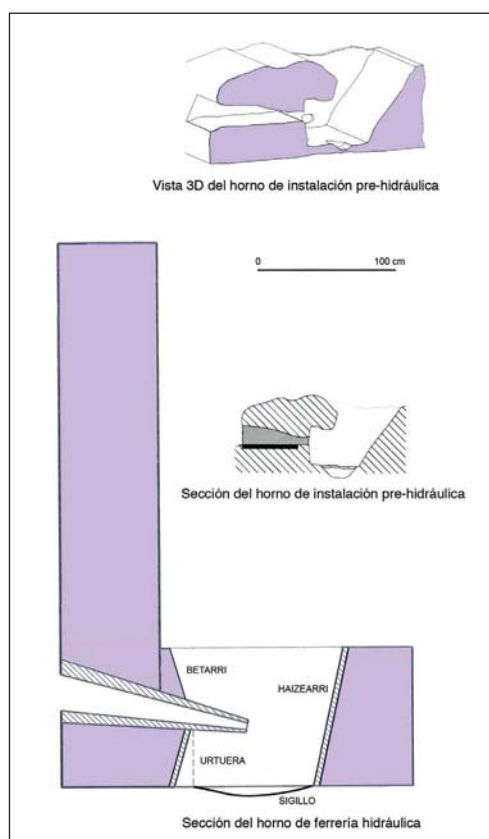


Figura 7. El horno de las instalaciones prehidráulicas medievales; comparativa con el horno de las ferrerías hidráulicas. Basado en Urteaga et al. (2018, p. 429).

Este tipo de horno venía a ser, aproximadamente, dos tercios del tamaño de los utilizados en las ferrerías y fargas; mientras que este último tenía un metro de altura, el de la «haizeola» sería de 60 cm, y las otras partes estarían dispuestas más o menos a la misma escala. Sin embargo, se observan ciertas diferencias de diseño de unas zonas a otras; así, los hornos conocidos en Bizkaia se construyeron excavándose gran parte de ellos en el suelo y contra un talud del terreno. De esa forma, el frente de excavación se usó como apoyo de una de las paredes, y el resto se construyó con piedra arenisca, fragmentos de arcilla cocida y arcilla (Franco & Gener 2017, p. 881). En los hornos de Gipuzkoa, sin embargo, solo la base fue excavada en el terreno.

El diseño, tal y como se pudo comprobar en las campañas de arqueología experimental realizadas en la ferrería de Agorregi (Aia, Gipuzkoa)⁶, tiene la virtud de crear una corriente circular de aire en el interior del horno, que facilita el alcance de temperaturas en torno a los

6 Campañas realizadas en 1994, 1995 y 1999, dirigidas por Peter Crew (P. Crew & Crew, 2002).

1300 °C en las inmediaciones de la boca de la tobera (Fluzin, Herbach & Dillmann, 2002). Es en esa zona en la que se va formando la esponja de hierro, que resulta de la reducción del mineral de hierro en contacto con el carbón vegetal. Estas temperaturas también están atestiguadas en los hornos prehidráulicos, tal y como defienden los resultados de los análisis de la composición de las escorias realizados por Simon (2014). Esta autora ha reconocido la presencia de fayalita solidificada, lo que le permite situar la temperatura de formación en los 1205 °C, además de la presencia de leucita; esta última, en su opinión, indicaría que había de 50 °C a 100 °C más de temperatura en el horno.

Hay otra serie de cuestiones complementarias que contribuyen a determinar la identidad de estas instalaciones, como son: el emplazamiento de las mismas, la provisión de mineral y su tratamiento previo, cuestiones relativas al combustible (identificación del carbón vegetal utilizado, sus cenizas, rendimientos...) y demás aspectos metalúrgicos, que no se tratarán en esta ocasión porque han sido suficientemente analizados en trabajos previos (Zapata, 1997; Ugarte & Urteaga, 2014; Serneels, 2002; Franco et al., 2015; Franco & Gener, 2017).

4. RECAPITULACIÓN Y CONCLUSIONES

A juzgar por el tipo de horno, las estructuras asociadas reconocidas, los restos de mineral y de escorias analizadas, el proceso de obtención de hierro en las instalaciones no hidráulicas era similar al que conocemos para las hidráulicas, aunque con producciones más reducidas y un funcionamiento manual. Se usaban minerales de buena calidad y fáciles de reducir, óxidos de hierro, que se calcinaban y troceaban en el lugar antes de ser introducidos en el horno. Gracias a que se trataba de un horno abierto, el control sobre el proceso podía realizarse con cierta facilidad, interviniendo cuando fuera necesario. Los hornos contaban con inyección forzada, introduciéndose el aire por la parte trasera a través de fuelles accionados manualmente. Con este aporte se conseguía alcanzar temperaturas de 1300 °C, suficientes para obtener una esponja de hierro por reducción directa y para sangrar las escorias en estado líquido. El trabajo finalizaba con la obtención de la «ago». La elaboración de los lingotes debía de realizarse en instalaciones distintas, ya que en los escoriales están ausentes los residuos característicos de los trabajos de forja.

En definitiva, el horno del llamado proceso catalán de obtención de hierro siguió a lo largo de los siglos una evolución por la que fue aumentando gradualmente de tamaño, muy probablemente debido a las mejoras en la capacidad de inyección de aire en su interior. En una primera fase, mientras se trabajaba con fuelles manuales, era de dimensiones más reducidas; pero con la incorporación de la energía hidráulica aumentó su tamaño y mejoraron sus prestaciones. En ese nuevo contexto tecnológico, las instalaciones bajaron de las montañas y se situaron junto a los ríos, un proceso ya advertido por el cronista Esteban de Garibay, allá por el siglo XVI (Garibay, 1556/1628).

Por lo que parece, además, este modelo de horno responde a una tecnología diferente a la conocida para el período prerromano y romano. No se sabe con certeza cuándo

tuvo lugar su implantación, pero una vez adoptado se mantuvo hasta el cierre de las ferrerías y fargas por la competencia de la reducción indirecta y la llegada de la Revolución Industrial.

5. LISTA DE REFERENCIAS

- Agirre, J., Ibañez, A., Mora, J. C., Moraza, A. & Zapirain, D. (2000). *Igartza: Historia y Patrimonio Cultural*. Beasain: Ayuntamiento de Beasain. (Beasaingo paperak, 8).
- Alberdi, X., Etxezarraga, I. & Artetxe, O. (2015). Prospección arqueológica sistemática para la localización y catalogación de ferrerías de monte en los territorios de Gipuzkoa y Álava. *Arkeoikuska*, 14, 411-413.
- Arbide, I., Azpiazu, J. A., Gordo, I., Salmerón, M., Urcelay, J. M. & Zubizarreta, A. (1980). *Ferrerías en Legazpi*. San Sebastián: Caja de Ahorros Provincial de Guipúzcoa.
- Azkarate, A. & Solaun, J. L. (2014). De ferro de Álava. Metalurgia altomedieval en la Llanada Alavesa (siglos VII-XI d. C.). *Kobie. Serie Anejo*, 13, 161-180.
- Benoit, P. & Cailleaux, D. (eds.). (1991). *Moines et métallurgie dans la France médiévale*. París: AEDHE.
- Beyrie, A. (2008). L'exploitation du fer dans le sud-ouest de la Gaule. L'exemple du site de Larla (Pyrénées-Atlantiques, 64). *Archéopages*, 22, 32-33.
- Beyrie, A. (2014). Aux origines de la siderurgie tarbelle. *Kobie. Serie Anejo*, 13, 125-138.
- Beyrie, A. (2015). Aux origines de la siderurgie tarbelle. *Kobie. Paleoantropología*, 34, 65-80.
- Björkenstam, N. (1995). The blast furnace in Europe during medieval times. Part of a new system for producing wrought iron. En G. Magnusson (ed.), *The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change*, (vol I., pp. 143-153). Stockholm: Jernkontoret.
- Caro Baroja, J. (1949). *Los vascos. Etnología*. San Sebastián: Biblioteca Vascongada de los Amigos del País.
- Calle Iturrino, E. (1960). *Las ferrerías vascas*. Bilbao: Artes Gráficas de la Santa Casa de Misericordia.
- Cantelaube, J. (2005). *La forge à la catalane dans les Pyrénées ariégeoises, une industrie à la montage (XVII-XIX^e siècle)*. Toulouse: CNRS. Université de Toulouse-Le Mirail. (Collection «Médiennes», serie «Histoire et Techniques»).
- Cepeda, J. J. & Unzueta, M. (2015). Ferrería romana de Loiola. *Arkeoikuska*, 14, 249-251.
- Crew, P. & Crew, S. (2002). Experimental iron working at Agorregi, 1994-1999. En M. Urteaga (ed.). *La ferrería y los molinos de Agorregi. Arqueología experimental* (pp. 43-91). Donostia-San Sebastián: Diputación Foral de Gipuzkoa.
- D'Elhuyar, F. (1985). El método con el que se trabaja el acero natural en Guipúzcoa. En *Extractos de las Juntas Generales celebradas por la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País (1774-1776)* (ed. facs., vol. V, pp. 67-70). Sociedad Guipuzcoana de Ediciones y Publicaciones. (ed. original, 1775).

- D'Elhuyar, F. (1985). Diferentes formas de trabajar el hierro. En *Extractos de las Juntas Generales celebradas por la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País (1786-1788)* (ed. facs., vol. IX, pp. 86-91). Sociedad Guipuzcoana de Ediciones y Publicaciones. (Ed. original, 1787).
- Díez de Salazar Fernández, L. M. (1985). *Colección diplomática del concejo de Segura (Guipúzcoa) (1290-1400)* (vol. I). San Sebastián: Eusko Ikaskuntza. (Fuentes Documentales del País Vasco, 6).
- Eschenlohr, L. & Serneels, V. (1991). *Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt, Les Boulies (JU, Suisse)*. (Cahiers d'Archéologie Jurassienne, 3).
- Fluzin, Ph., Herbach, R. & Dillmann, Ph. (2002). Études métallurgiques et thermodynamiques. En M. Urteaga (ed.), *La ferrería y los molinos de Agorregi. Arqueología experimental* (pp. 123-160). Donostia-San Sebastián: Diputación Foral de Gipuzkoa.
- Franco, J., Etxezarraga, I. & Alberdi, X. (2015). Los orígenes de la tecnología del hierro en el País Vasco: ferrerías de monte o haizeolak. *Kobie. Paleoantropología*, 34, 267-282.
- Franco, J., Fernández Carvajal, J. A., Alberdi, X. & Etxezarraga, I. (2014). Ferrerías de monte Callejaverde y Peñas Negras. Nueva tipología de horno plenomedieval y metodologías aplicadas a su estudio. *Kobie. Anejos*, 13, 193-206.
- Franco Pérez, J. & Gener Moret, M. (2017). Early ironwork in Biscay: Survey, excavation, experimentation and materials characterization. An integral study of the mountainside ironworks (ferrerías de monte or «haizeolak»). *Materials and Manufacturing Processes*, 32(7-8), 876-884.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10426914.2016.1221111>
- François, J. (1843). *Recherches sur les gisements et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées et particulièrement dans l'Ariège*. París: Ed. Garilian-Goëury.
- Garibay Zamalloa, E. (1556/1628). *Los quarenta libros del compendio historial de las chronicas y universal historia de todos los reynos de España*. Barcelona: Sebastian de Cormellas.
- Gorrochategui, J. & Yarritu, M. J. (1984). Prospecciones arqueológicas en Vizcaya durante 1983. Del Eneolítico a la Edad Media: asentamiento al aire libre, necrópolis y ferrerías de monte. *Isturitz: Cuadernos de prehistoria-arqueología*, 2, 171-219.
- Gorrochategui, J., Yarritu, M. J., Martín, I., Zapata, L. & Iriarte, M. J. (1995). Paleometalurgia del hierro en Bizkaia. Las ferrerías de monte altomedievales. En E. Tomás (ed.), *La farga catalana en el marc de l'arqueologia siderúrgica* (pp. 229-241). Andorra la Vella: Ministeri d'Afers Socials i Cultura del Govern d'Andorra.
- Laborde, M. (1956). Datos sobre los orígenes de la minería e industria del hierro en Guipúzcoa. En *Homenaje a D. Joaquín Mendizabal Gortázar* (pp. 225-236). San Sebastián: Sociedad de Ciencias Naturales Aranzadi.
- Laborde, M. (1979). Ferrones. En J. M. Barandiarán (dir.), *Euskaldunak, la etnia vasca* (pp. 297-360). San Sebastián: Etor.

- Larramendi, M. (1982). *Corografía o descripción general de la muy noble y muy leal provincia de Guipúzcoa*. J. I. Tellechea Idígoras (ed.). San Sebastián: Txertoa. (Ed. original, 1756).
- Legorburu Faus, E. (2000). *La labranza del hierro en el País Vasco*. Bilbao: Universidad del País Vasco.
- Martínez de Isasti, L. (1972). *Compendio historial de Guipúzcoa* (ed. facs.). Bilbao: La Gran Enciclopedia Vasca. (Ed. original, 1625).
- Magnusson, G. (1995). Ironmaking in a long-time perspective. Some important questions. En G. Magnusson (ed.), *The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change* (vol. I, pp. 29-40). Stockholm: Jernkontoret.
- Molera, P. & Barrueco, C. (1983). *Llibre de la Farga*. Barcelona: Rafael Dalmau.
- Pereda García, I. (1997). Aportación al conocimiento de la metalurgia del hierro en los siglos XI-XIII en Bizkaia: el yacimiento de Oiola IV (Trapagaran, Bizkaia). *Kobie. Paleoantropología*, 24, 69-93.
- Richard, T. (1838). *Études sur l'art d'extraire immédiatement le fer de ses minerais sans convertir le métal en fonte*. París: Lib. Sc. Mathias.
- Sancho, M. (1997). *Ipsa fabricata. Estudio arqueológico de un establecimiento siderúrgico medieval*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Sancho, M. (2011). El hierro en la Edad Media: desarrollo social y tecnología productiva. *Anuario de Estudios Medievales*, 41(2), 645-671.
- Serneels, V. (1997). La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne. En C. Doswald, A. Duvauchelle, L. Eschenlohr, W. Fasnacht, V. Schaltenbrand, M. Senn-Luder & V. Serneels, *Minerais, escories, fer. Cours d'initiation à l'étude de la métallurgie du fer ancienne et à l'identification des déchets de cette industrie* (pp. 9-16). Basel: GESAB-SAGEA.
- Serneels, V. (2002). Analyses chimiques des matières premières et des produits de l'opération de réduction dans le four basque de Agorregi. En M. Urteaga, (ed.), *La ferrería y los molinos de Agorregi. Arqueología experimental* (pp. 93-109). Donostia-San Sebastián: Diputación Foral de Gipuzkoa.
- Serneels, V. (2011). A propos de la qualité des fers produits par la méthode directe de réduction. En P. Dillmann, L. Pérez, & C. Verna (dirs.), *L'acier en Europe avant Bessemer*. Toulouse-Le Mirail: CNRS-Université Toulouse-Le Mirail. (Série Histoire et Technique).
- Simon, J. (2014). Análisis metalográficos y caracterización de materiales. J.L. Ugarte, & M. Urteaga, *Arqueología del hierro medieval. Los escoriales del distrito de Legazpi (Gipuzkoa)*. *Boletín Arkeolan*, 17, 85-97.
- Stenvik, L. F. (2003). Iron Production in Scandinavian Archaeology. *Norwegian Archaeological Review*, 36(2), 119-134.
- Tomás, E. (1995). Consideracions generals sobre el procediment català o farga catalana. En E. Tomás (ed.), *La farga catalana en el marc de l'arqueologia siderúrgica* (pp. 21-24). Andorra la Vella: Ministeri d'Afers Socials i Cultura del Govern d'Andorra.
- Tomás, E. (1999). The Catalan process for the direct production of malleable iron and its spread to Europe and the Americas. *Contributions to Science*, 1(2), 225-232. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.

- Ugarte, J. L. & Urteaga, M. (2014). Arqueología del hierro medieval. Los escoriales del distrito de Legazpi (Gipuzkoa). *Boletín Arkeolan*, 17.
- Ugalde, Tx. (2002). Las máquinas hidráulicas de la ferrería de Agorregi (Aia, Gipuzkoa). En M. M. López Colom & M. Urteaga (eds.), *La ferrería y los molinos de Agorregi. Historia de una restauración* (pp. 241-284). Donostia-San Sebastián: Diputación Foral de Gipuzkoa.
- Urteaga, M. (1996). Siderurgia medieval en Gipuzkoa. Haizeolas, ferrerías masuqueras y ferrerías mazonas. En *I Jornadas sobre minería y tecnología en la Edad Media peninsular* (pp. 543-558). León: Fundación Hullera Vasco-Leonesa.
- Urteaga, M. (2000). The bergamazo in the hydraulic ironworks of Gipuzkoa, Basque Country. En C. Cucini & M. Tizzoni (eds.), *Il ferro nelle Alpi* (138-145). Bienno: Comune di Bienno.
- Urteaga, M. (2001). Arqueología de la producción del hierro: las ferrerías hidráulicas en Gipuzkoa. En *L'obtenció del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX. Actes del 6^e curs d'arqueologia d'Andorra 2000* (pp. 230-256). Andorra: Ministeri de Cultura.
- Urteaga, M. (2002). *El tratado de metalurgia de las Comisiones Segundas de la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País, 1765-1773*. Donostia-San Sebastián: Diputación Foral de Gipuzkoa.
- Urteaga, M., Alberdi, X., Etxezarraga, I., Martín Suquía, F., Ugarte, J. L. & Urkiola, M. (2018). The *haizeola* and the origins of the «Catalan method»: the medieval iron metallurgy culture in the Pyrenees. *The Journal Archeologické rozhledy*, 70, 421-434.
- Urteaga, M., Crew, P. S., Fluzin, Ph., Herbach, R. & Dillmann, Ph. (2000). Restitution ethnoarchéologique et conduite des procédés. Forges d'Agorregi, Pays basque, Espagne. En *Arts du feu et productions artisanales. XX^e Rencontres internationales d'Archeologie et d'Histoire d'Antibes* (pp. 53-72). Antibes: Editions APDCA.
- Villarreal de Berriz, P. M. (1736/1973). *Maquinas hidráulicas de molinos y herrerías y gobierno de los arboles y montes de Vizcaya* (ed. facs.). Madrid: Sociedad Guipuzcoana de Ediciones y Publicaciones de la Real Sociedad Vascongada de los Amigos del País.
- Zapata, L. (1997). El uso del combustible de la ferrería medieval de Oiola IV: implicaciones ecológicas y etnobotánicas. *Kobie. Paleoantropología*, 24, 107-115.