



Gestión del paisaje. Patrimonio, territorio y ciudad
Paisaiaren kudeaketa. Ondarea, lurraldea eta hiria
Landscape management. Heritage, territory and city

TRABAJO FIN DE MÁSTER
MASTER-AMAIERAKO LANA
FINAL MASTER'S DISSERTATION

Análisis de los materiales de las ferrerías de Bengola (Munitibar) y Urtubiaga (Ea)

Estudio arqueométrico del hierro vizcaíno postmedieval en el contexto hidráulico
preindustrial (SS. XIV-XVIII)

Eneko Orueta Iradi



2017/2018

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea



Gestión del paisaje. Patrimonio, territorio y ciudad
Paisaiaren kudeaketa. Ondarea, lurraldea eta hiria
Landscape management. Heritage, territory and city

Autorización del director/a para la presentación del Trabajo fin de máster

El/la Dr/a ... (director/a)....., **Kepa Castro Ortiz de Pinedo**....., profesor/a del máster “Gestión del Paisaje. Patrimonio, territorio y ciudad” autoriza la presentación del Trabajo fin de máster titulado

“Análisis de los materiales de las ferrerías de Bengola (Munitibar) y Urtubiaga (Ea). Estudio arqueométrico del hierro vizcaíno postmedieval en el contexto hidráulico preindustrial (SS. XIV-XVIII)”

.....
.....
que ha sido realizado por**Eneko Orueta Iradi**.....
bajo su dirección.

En Bilbao .., a...**27**. de ...**septiembre**.... de **2018**



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea



Agradecimientos

La realización del presente Trabajo Fin de Master no habría sido posible sin la colaboración de algunas personas, que han influido de una u otra manera en el proceso. Primeramente, querría mencionar a los dos directores del mismo, Julene Aramendia y Kepa Castro, por haber decidido hacerse cargo de la dirección del proyecto, a pesar de la dificultad de una propuesta de este tipo. Así mismo, quisiera destacar la ayuda de Juan Manuel Madariaga, quién me abrió la oportunidad de realizar este trabajo con la propuesta de ambos directores y el grupo de investigación IBeA.

También ha sido fundamental la disponibilidad de los depósitos del Arkeologi Museoa de Bilbao para obtener una base material que pueda ser trabajada en el TFM. Quiero destacar el excelente recibimiento de los técnicos del museo, Sonia Anibarro y Etor Telleria, que estuvieron dispuestos a ayudarnos en todo lo posible a la hora de buscar, preparar y recoger las muestras para el trabajo.

En cuanto a los materiales, la mayoría de estos provenían de campañas realizadas por la empresa de arqueología Ondare Babesa S. L., por lo que contactamos con ellos para que nos explicaran mejor los yacimientos de origen de las muestras utilizadas. Quiero agradecer a José Ángel Fernández y a su equipo todo lo trabajado en las excavaciones y la recuperación patrimonial y destacar su buena disposición a compartir la información que tenían de las mismas para entender mejor el contexto con el que nos encontrábamos.

En la preparación de la parte analítica, participaron varias personas a las que quiero mencionar por su inestimable colaboración. Por un lado, Álvaro Rodríguez y José Manuel Valle, docentes en el máster de Gestión del Paisaje en el que se enmarca el proyecto, quienes me pusieron en contacto con el laboratorio de Ciencias de los Materiales de la Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gazteiz. Por el otro, Pedro Luis Benito y Javier Parada, profesores de dicha escuela, que pusieron a mi disposición el instrumental disponible para preparar las muestras y me ayudaron en todo lo que necesité.



Índice

1. Introducción	5
2. Objetivos	14
3. Descripción de los contextos arqueológicos	17
4. Materiales y método	29
4.1. Proceso de muestreo	29
4.2. Descripción instrumental.....	31
5. Resultados y discusión	35
5.1 Análisis de componentes principales (PCA).....	36
5.2 Ratios de óxidos	38
6. Conclusiones	47
7. Bibliografía.....	49
8. Anexo	52



1. Introducción

A lo largo de la historia del Cantábrico Oriental, la producción de hierro, desde su extracción hasta su comercialización y/o uso, ha sido un eje vertebral para el desarrollo de este territorio, en conjunción con industrias estrechamente relacionadas y de importancia similar, como la industria naval. Esta histórica especialización regional, la cual se mantuvo en vigor hasta su desaparición final hacia el siglo XX, se dio de manera desigual a lo largo de todo este territorio, siendo Bizkaia la zona donde creció con más notoriedad.

Desde los primeros forjados medievales hasta las grandes industrias siderúrgicas modernas, Bizkaia se convirtió en el principal referente de este sector a nivel internacional. Sus yacimientos de hierro, de una gran calidad, eran muy accesibles y se podían encontrar a lo largo de gran parte de la región. Además, la versatilidad de usos del hierro y su importancia como recurso estratégico para los poderosos lo convirtió en un elemento clave que complementaba con otras muchas producciones e industrias, por lo que su utilización fue siempre extendida e intensa, con el consiguiente crecimiento incesante de su mercado comercial. Esta predisposición tanto natural como coyuntural convirtió a Bizkaia en el centro siderúrgico europeo durante varios siglos, incluyendo una prolongada etapa pre-industrial que consolidó dicha producción en el mercado interior -local, peninsular y colonial- y exterior –principalmente los grandes emporios de Inglaterra y Países Bajos- (URIARTE AYO, 2003: 313; GRAFE, 2005: 118-123).

Esta importancia tan notable no corresponde con el estado de la investigación y la falta de divulgación alrededor del hierro, especialmente en períodos concretos como el de la tecnología hidráulica. A este problema hay que sumarle el hecho de que la poca investigación arqueológica y documental que se ha realizado tiene origen en intervenciones, registros o controles de urgencia, realizados sin coordinación entre ellas y, la mayoría de las veces, de manera casual (TORRECILLA, 2004: 718). Ambas coyunturas son especialmente dadas en el caso de las producciones preindustriales de hierro vizcaíno con técnicas hidráulicas, por lo que se cuenta con un escaso registro de materiales. Además, estos pocos restos peligran si no son hallados, debido a las adversas condiciones de conservación en un ambiente tan húmedo.



Se puede considerar, por lo tanto, que las ferrerías hidráulicas y el sistema productivo relacionado, los cuales vivieron un crecimiento continuado, aunque inconstante, son muy desconocidas para este contexto que va desde las postrimerías de la Edad Media hasta al menos los siglos XVIII-XIX.

El desarrollo histórico-técnico del hierro en el territorio vasco es en gran parte una incógnita para los historiadores, que tradicionalmente y de manera muy general achacan a este territorio cierto estancamiento e incluso una crisis de atraso tecnológico respecto a otras regiones europeas a pesar de su gran rendimiento a lo largo del tiempo (TYLECOTE, 1987: 345). En los últimos años, algunos investigadores han rechazado esta imagen negativa de la siderurgia hidráulica vasca, la cual se achaca a varios argumentos como el modelo de propiedad o la preferencia por políticas proteccionistas en vez de la innovación. Desde esta posición distinta se defiende la preferencia de los locales por este sistema productivo hidráulico frente al novedoso alto horno debido a la baja inversión y mantenimiento que exigía a los inversores para tener una producción competitiva en los mercados extranjeros, aunque existieron intentos de introducir este tipo de nuevas técnicas de manera ocasional (ARAGÓN RUANO, 2011a: 236-237).

Más allá de los estudios puramente arqueométricos, hay muchas cuestiones desde la historia y la arqueología que resolver y a las que estas informaciones pueden ayudar mucho. Este tipo de investigaciones se realizan en un inicio a una escala de problemáticas locales, aunque los estudios comparados y dinámicas teóricas extrapolables nos permiten expandir su horizonte a otros ámbitos.

Hay interés en resolver algunas preguntas que existen en el debate histórico actual sobre el sistema hidráulico en la región cantábrica oriental, en la que se incluye Bizkaia. Una de ellas, con probabilidad la principal, es el desconocimiento de sus límites cronológicos: no hay seguridad en cómo se produjo exactamente la introducción del martillo hidráulico en sustitución gradual –aunque nunca completa- de los complejos tradicionales, como las



haizeolak o ferrerías de monte, más propias del período medieval. Por un lado, se defiende un desarrollo muy temprano, quizás hasta autóctono, del uso de la energía hidráulica, mientras que por el otro hay autores que defienden posiciones a favor de una introducción exógena más tardía.

Aunque el uso del molino hidráulico se conocía desde la época romana, y la molienda utilizando dicha energía ya se había utilizado a lo largo de la Edad Media, su desarrollo aplicado tanto al sistema de martillos como a los fuelles fue más tardío. Existen con anterioridad varias referencias en la documentación utilizando términos en latín [*mollendinae ferri*, *molendinum quod ibidem materiam massae*, *martinetus* en Francia, *malleatores* (...) *hamry dicuntur* en Bohemia, *molendinum* (...) *hamor dictum* en Eslovaquia], muy similares a los nombres utilizados para las futuras ferrerías de la zona, en otras partes de Europa: *martinete* en el mundo latino, *hammer* y derivados en el mundo germánico. Pero son, de nuevo, límites muy difusos y los investigadores desconocen el por qué de estas evoluciones en el sistema productivo y el cómo llevaron a proliferar este tipo de ferrerías en los valles fluviales (PLEINER, 2000: 282).

Las investigaciones históricas realizadas hasta ahora parecen indicar que para el siglo XIV ya se utilizaba la rueda hidráulica en un sistema integral en esta región de la Península Ibérica. La expansión del sistema de la forja catalana fue fundamental para el surgimiento de las denominadas ferrerías mayores, donde se forjaban lingotes de hierro, mientras que a partir del siglo XVI fueron surgiendo las ferrerías menores o tiraderas, donde se estiraban los lingotes producidos en los complejos mayores. Esta división jerárquica condujo gradualmente a una mayor mecanización a través del sistema hidráulico, hasta el punto que las dos tipologías desaparecieron a cambio de versiones integrales en la producción, llamadas *zearrolas*, las cuales se prolongaron durante todo el período que la energía hidráulica siguió en vigor. A esto se le debe añadir las especializaciones regionales y la acción de los propietarios e inversores, que definían en qué dirección debía dirigirse la producción y cómo las ferrerías se adaptaban técnicamente a estas circunstancias (ARAGÓN RUANO, 2011b: 116-118).



Es por ello que las evidencias de los últimos años parecen confirmar que las ferrerías hidráulicas no seguían sistemas productivos rígidos e inalterables con la misma maquinaria y técnica durante todo el período que se utilizaron, aunque la mayor parte del tiempo esta se basase en el procedimiento directo mientras en otras zonas de Europa se iba implantando el alto horno. Aunque existieron intentos de transformación hacia este método indirecto, el esquema básico se mantuvo durante largo tiempo e incluso vivió momentos de recrecimiento repentino debido a hechos puntuales como los diversos conflictos militares a lo largo del siglo XIX. Solo la llegada del método Bessemer a mediados de ese mismo siglo supuso una ruptura completa con el sistema hidráulico tradicional (ARAGÓN RUANO, 2011a: 257-259).

A falta de una cronología más exacta del proceso de desarrollo, consolidación y posterior declive de las ferrerías hidráulica, las variedades tipológicas que se han encontrado en los estudios arqueológicos y de patrimonio construido apuntan a que a lo largo de los siglos XIV y XVIII se siguieron soluciones bastante singulares para la configuración de estos complejos productivos. La diferencia entre estas estructuras se daba tanto en su sistema hidráulico de canales, depósitos y suministro de agua como distribución interna de las funciones: oficinas, carboneras, zonas de horneado, espacio para fuelles, localización del martillo y yunque, etc. (VV. AA., ARKEOIKUSKA; ARBIDE ELORZA y URCELAY URCELAY, 1995: 305-306).

Europa siempre se caracterizó por su gran cantidad de yacimientos de hierro, los cuales tenían una importante accesibilidad para sistemas de extracción sencillos y directos como las minas a cielo abierto. La variedad de características regionales en la propia naturaleza variable de composición y forma del hierro, como el tradicionalmente mencionado hierro poco fosfórico de Bizkaia, dio lugar a soluciones adaptadas y especializadas a cada zona.

Esta abundancia permitió a su vez que hubiese una mayor tendencia a establecer mercados pequeños a nivel local, capaces de abastecer de instrumentos básicos con suficiencia a cada comunidad, que gradualmente se fueron ampliando a grandes rutas transcontinentales que llevaban el hierro a los grandes mercados de la época o a territorios muy deficitarios en hierro. La rentabilidad de este comercio fue notable ante el incipiente desarrollo del capitalismo



mercantil, principalmente por la demanda de sectores clave relacionados, como el militar o el naval, lo que convirtió a la siderurgia en una de las principales industrias de la época (MARTINÓN-TORRES y REHREN, 2008: 658-660).

En este contexto, Bizkaia, junto a los territorios colindantes, fue el principal centro productivo de hierro europeo durante largo tiempo. Existe un gran debate alrededor de cuando este proceso se estanca y declina a favor de la entrada de nuevos hierros a partir del siglo XVII, como el báltico, en los emporios de Inglaterra y Países Bajos. Algunos achacan este problema al estancamiento tecnológico de los centros productivos mientras los altos hornos de mayor rendimiento se extendían por otras zonas de Europa, mientras que otros ven una mayor injerencia de la crisis política y económica que está viviendo la Monarquía Hispánica después de la Guerra de los Treinta Años, que terminó con su hegemonía en el continente y la sumió en una larga recesión. Con todo ello, podría ser interesante observar si con el fin de la primacía del hierro de la zona escogida, su producción se sostendría en niveles similares a lo largo del tiempo hasta el gran ascenso industrial vizcaíno del siglo XIX o viviría un retroceso inevitable (GRAFE, 2005).

Todavía quedan muchas incógnitas por responder alrededor de la cuestión, para lo que las diferentes disciplinas históricas no siempre son suficientes. El estudio de la producción del hierro desde diversos campos, incluyendo, por ejemplo, la geología, la sociología, la arquitectura y la geografía entre otros, puede ahondar en esos apartados fundamentales, desde la caracterización de proveniencias y variaciones del hierro en relación a sus fuentes geológicas naturales hasta la creación de modelos reconstruidos de gestión para comprender la industria y el comercio alrededor de este sistema.

Hay que destacar estudios arqueometalúrgicos como los realizados por el *Laboratoire Métallurgies et Cultures* [Iramat-LMC], que siguen el modelo colaborativo entre grupos de investigación, extendido en Francia, y combinan la labor de especialistas con distintos orígenes, pero con intereses comunes en el estudio de los metales. Cabe destacar que no solo buscan caracterizar el hierro antiguo para dar respuestas a problemáticas concretas, sino que



también ponen atención en el estudio de su degradación por corrosión y posibles vías de preservación en diferentes contextos (NEFF, REGUER y DILLMANN, 2013; BAYLE et al., 2015).

A pesar de estos nuevos aportes interdisciplinares que van llegando gradualmente, hay un enfoque fundamental, ajeno a los estudios arqueológicos tradicionales, que debería tener una importancia particular para los estudios del hierro. La arqueometría, como disciplina analítica, tiene recorrido en las investigaciones arqueológicas internacionales. Los estudios peninsulares, en cambio, presentan una situación bastante diferente para los enfoques arqueometalúrgicos. Estos están todavía poco implementados en la academia de la Península Ibérica, ya que se realizan de una manera demasiado utilitaria para otras investigaciones, muy centradas en períodos concretos con escasa o ninguna documentación escrita, como pueden ser la Prehistoria o la Alta Edad Media, y carentes de problemáticas propias en bastantes casos (GENER MORET, 2014: 17-19).

Sin embargo, se trata de una aplicación con muchas posibilidades para la obtención de datos clave, una fuente de información fundamental para la arqueología y la historia que realmente quiera tener vocación interdisciplinar. La química analítica permite, entre otras cosas, reconocer las pautas y características tras el trabajo metálico en el artefacto in-situ y ser interpretadas, un salto cualitativo y cuantitativo necesario para la investigación. Para estos proyectos se cuenta con toda una serie de métodos e instrumentos de medida que pueden documentar muchos datos sobre la evolución de estos artefactos, sin olvidar las aportaciones de los compañeros de otras disciplinas (KILLICK y FENN, 2012: 566). Siempre hay que tener en cuenta que los usos de estas técnicas deben darse en el contexto de un proyecto con una estrategia bien definida y que responda a los objetivos preestablecidos para la investigación.

Visto el estado de la cuestión y las limitaciones que la arqueología tradicional tiene, se propone un enfoque multidisciplinar desde la química analítica y la quimiometría para ampliar las posibilidades de investigación y adquirir una información que de otra manera sería difícil de obtener solamente con la arqueología. Existen varios casos de estudio que establecen hoy en día importantes antecedentes para el estudio del hierro preindustrial en contextos muy



diferentes, pero con técnicas y planteamientos similares a los que esta investigación quiere ofrecer.

La aplicación de técnicas espectroscópicas a objetos arqueológicos de hierro ayuda en varios sentidos: permite determinar la composición de la aleación con la que se ha realizado, de la corrosión que está afectando al material o de las impurezas atrapadas dentro del metal con todos los datos técnicos que contienen. Sin embargo, no hay que olvidar que su deposición en un suelo concreto durante un largo período puede llegar a alterar la pieza debido a reacciones químicas o influencia de otros elementos presentes (GENER MORET, 2010: 222)

Los primeros trabajos preliminares de análisis sistemático con este tipo de método analítico fueron realizados por Buchwald y Wivel, quienes estudiaron 900 piezas escandinavas de hierro y escorias de distintas épocas y sentaron las primeras bases técnicas para la caracterización del hierro (BUCHWALD y WIVEL, 1998). Uno de los estudios más interesantes viene precisamente del entorno del Iramat-LMC, en el que se realiza una propuesta metodológica para el análisis arqueométrico de las inclusiones de escoria en materiales de hierro de diferentes orígenes y cronología con el que establecer el desarrollo evolutivo de las técnicas del proceso indirecto, en sustitución del proceso directo previo, basándose en las variaciones elementales de la aleación durante el tránsito de la Edad Media a la Edad Moderna, (DILLMANN y L'HÉRITIER, 2007). Esta investigación ha servido de ejemplo para otras aplicaciones similares en cronologías parecidas, como son los casos de los estudios realizados desde el Instituto de Arqueología de la University College London, los cuales han profundizado aún más en la cuestión con estudios de proveniencia y variabilidad a través de esas inclusiones (BLAKELOCK et al., 2009; HUMPHRIS et al., 2009; CHARLTON et al., 2012), o el de los yacimientos coloniales en el río Ipanema, que sin embargo han obtenido resultados poco concluyentes (MAIA et al., 2015).

Estos elementos acumulados en las inclusiones de escoria han sido analizados en varios de estos estudios previos, que los han englobado bajo el término de *Compuestos No Reducidos* [Non-Reduced Compounds, NRC], que transforman a óxidos a partir de los datos elementales



obtenidos mediante Microscopia Electrónica de Barrido-Espectroscopia de Energía Dispersiva o SEM-EDS (DILLMANN y L'HÉRITIER, 2007: 1813). Aunque esta visión ha supuesto un importante precedente para otras investigaciones, el cálculo de peso total de estos compuestos es una cuestión de debate, ya que mientras Dillmann y L'Héritier calculan el peso de todas las inclusiones localizadas y analizadas, con el consiguiente problema de descartes de muestras irrelevantes o cuyos resultados no sean válidos por problemas derivados, el trabajo de Blakelock soluciona esta cuestión descartando las inclusiones que no entren en una horquilla de tamaño concreta (BLAKELOCK et al., 2009: 1747-1748).

Otra variable a tener en cuenta es el estudio de la proveniencia de los artefactos de hierro a través de sus inclusiones de escoria, que pueden enlazarse estadísticamente con la composición química de las escorias de fundición y así poder determinar incluso el origen de estas piezas respecto al lugar donde se realizaron. Esto es especialmente interesante en situaciones en las que los productos de hierro recorren largas distancias desde sus centros de producción (CHARLTON et al., 2012: 2280-2281).

La investigación todavía debe profundizar en todas estas cuestiones aquí presentadas para poder definir mejor que procesos de innovación y estancamiento pudieron producirse.

En el presente Trabajo Fin de Máster se tienen en cuenta todos estos antecedentes generales alrededor de la investigación del hierro y la necesidad de realizar un acercamiento desde la química analítica, específicamente la arqueometría, para obtener la mayor cantidad de datos posible alrededor de esta cuestión y realizar una caracterización del metal lo más completa posible. Gran parte de estas conclusiones fueron adelantadas, desde una perspectiva completamente arqueológica, en el Trabajo Fin de Grado realizado al finalizar el grado (ORUETA IRADI, 2017). Es por ello que el TFM quiere reunir más enfoques y mira hacia esa vocación interdisciplinar promovida por varios de los estudios, tanto locales como extranjeros, a los que se han acudido para buscar referentes y metodologías comparables en otros contextos.

Gestión del paisaje. Patrimonio, territorio y ciudad
Paisaiaren kudeaketa. Ondarea, lurraldea eta hiria
Landscape management. Heritage, territory and city



El método en el caso de este TFM difiere principalmente por la utilización de un equipo de micro-fluorescencia en vez de un microscopio electrónico de barrido con un espectrómetro de energía dispersada acoplado, por lo que, aunque se consiguen también resultados elementales del mismo, carece de la visión tan nítida y cercana que el microscopio permite dar de la superficie estudiada.



2. Objetivos

El presente estudio tiene como **objetivo principal** caracterizar y secuenciar la producción del hierro vizcaíno en el contexto hidráulico preindustrial desde un enfoque analítico, novedoso y necesario, para reconocer así las distintas fases y características por las que la producción de este hierro fue transcurriendo. El criterio de búsqueda se basó en las excavaciones que se han realizado en estos centros productivos durante las últimas décadas, recogidos en los informes oficiales (VV.AA., ARKEOIKUSKA). Se han escogido para este caso en concreto materiales de dos yacimientos arqueológicos, las ferrerías hidráulicas de Bengola [Munitibar-Arbatzegi-Gerrikaitz, sigla FBE] y de Urtubiaga [Ea, sigla UBU], en base a los fondos que el Arkeologi Museoa de Bilbao tiene recogidos de la provincia de Bizkaia.

Para lograr esta meta, se ha querido trabajar en la secuenciación, caracterización y determinación del material escogido de esos fondos del museo a través de la arqueología, acompañado por una aplicación arqueométrica.

Los elementos de hierro que se encuentran en contextos definidos tienen un gran potencial para aportar información añadida gracias al trabajo conjunto de la arqueología y la química, el cual responde a varias cuestiones que podemos considerar los **objetivos específicos** del Trabajo Fin de Máster. Algunas conclusiones puede que vayan adelantando respuestas a estas preguntas, mientras algunas quizás se vayan definiendo en futuros trabajos en este mismo sentido.

Primeramente, la investigación arqueométrica nos presenta datos de contenido técnico sobre los materiales analizados, comprendiendo diferentes aspectos de su elaboración y uso. Las técnicas llevadas a cabo para la metodología analítica son las que acaban definiendo el procesamiento de estos datos, por lo que la selección de cuál se va a utilizar es una decisión fundamental. Pero para ello hay que entender cómo la práctica analítica es necesaria en dicha investigación. Por ello, uno de los intereses de este TFM es observar si la experimentación realizada en el presente estudio es de utilidad fundamental y precedente de cara al futuro y



cómo los resultados pueden ser concluyentes en su aplicación y reproducibles para otros estudios.

Estos análisis permiten caracterizar técnicamente los materiales pertenecientes a un sistema productivo concreto. En este sentido, la integración de la arqueometría en el estudio de la materialidad arqueológica se ha mostrado como una de las grandes aportaciones al campo de las últimas décadas. La arqueología y sus diversas variantes siempre han intentado establecer modelos de evolución tecnológica alrededor de la cual se conformaban horizontes culturales concretos.

Gracias a la labor de la ciencia analítica aplicada, podemos acercarnos mejor a la aplicación de teorías de transmisión y transformación cultural entre tecnologías, incluida la del hierro. A pesar de ello, existen pocos desarrollos para explicar los estancamientos y la escasez de cambio tecnológico, un hecho que se da perfectamente en diferentes períodos de la historia y que necesita su propio trabajo (MARTINÓN-TORRES y KILLICK, 2015: 6-8).

Otro de los intereses de esta investigación es la de aumentar la perspectiva a otras regiones fuera del entorno vizcaíno y vasco. Se ha estudiado parte de esa bibliografía externa, tomando casos de estudio concretos, así como obras generales sobre la cuestión que permiten ampliar los límites para tomar otras referencias. De esta manera se abre la posibilidad de realizar futuras comparativas en ámbitos ajenos al tomado por este estudio, especialmente en otras regiones siderúrgicas del continente europeo o zonas con alta dependencia de importaciones de hierro, como las colonias.

Así mismo, el TFM responde al marco académico en el que se ha elaborado y en el que pretende dar respuesta a estas cuestiones. Se trata de un proyecto para finalizar los estudios de posgrado del *Máster en Gestión del Paisaje. Patrimonio, Territorio y Ciudad* que se imparte en la Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Este es un máster inter- y multidisciplinar, en el que colaboran docentes de distintos campos como arqueología, arquitectura, biología, química, geología y geografía. Gracias a esta dinámica que concierne a diversas especialidades



se han podido sentar las bases de este TFM, combinando a través del máster la formación en arqueología e historia con el uso de técnicas que se muestran en el apartado químico para aplicarlo a este caso de estudio en particular.

Este programa de estudios surge a su vez en el contexto de una Unidad de Formación e Investigación de la UPV, conocida como *Global Change & Heritage*, la cual aparece debido a la unión transversal de tres grupos de investigación consolidados: Ikerkuntza eta Berrikuntza Analitikoa (IBeA), Grupo de Investigación en Patrimonio Construido (GPAC) e Hidrogeología, Geotecnia y Medio Ambiente (HGI). Las tres entidades pretenden de esta manera realizar estudios sobre patrimonio cultural y natural, así como de los impactos ambientales que ocurren sobre estos mismos, a través de investigaciones colaborativas e interdisciplinarias. Su enfoque dinámico a varias escalas sobre el Patrimonio material, junto a las posibilidades teóricas y técnicas que tienen en consideración, lo hacen un contexto idóneo para llevar a cabo una investigación como la que se realiza en este TFM.

Los grupos enlazados por esta UFI ya han presentado algunos estudios arqueometalúrgicos con anterioridad, ya sea para su caracterización o su conservación. Por parte del GPAC, estos estudios se enfocaron en secuenciar arqueológicamente el hierro aparecido en algunos de los yacimientos altomedievales investigados por el grupo, como son los casos de Bagoeta y Gazteiz, en los que se aplicaron algunos análisis arqueométricos (AZKARATE GARAI-SOLAUN et al., 2011; AZKARATE GARAI-SOLAUN y SOLAUN BUSTINZA, 2014: 165-170). Por parte de IBeA, se han utilizado varios tipos de análisis como cromatografías, espectroscopia de fluorescencia de Rayos-X o espectroscopia Raman, de los cuales existe una consolidada experiencia de trabajo previo, para también estudiar restos de hierro arqueológicos, pero en este caso con la intención de establecer el estado de conservación de estos materiales (VENERANDA et al., 2016; VENERANDA et al., 2017).



3. Descripción de los contextos arqueológicos

A partir de esta sección del TFM, se presentan dos partes principales que componen el conjunto del estudio realizado desde las dos disciplinas que participan en el mismo. A partir de ahora se describe tanto la fuente y circunstancias de las muestras que han sido seleccionadas como la metodología escogida para su análisis dentro de las posibilidades existentes para el marco de este trabajo. En la primera parte, se presenta el contexto arqueológico en el que se han tomado los materiales y el muestreo de los mismos, relacionados con la coyuntura anteriormente desarrollada. En la segunda, se hace un mayor hincapié en el método de selección y su relación, así como el método de análisis elegido, y finalmente los resultados de dicha experimentación con sus correspondientes conclusiones.

El tipo de yacimiento elegido para buscar los materiales han sido los propios centros productivos como tal, las ferrerías hidráulicas. Se tratan de estructuras que siguen un esquema similar en la mayoría de los casos, aunque la distribución es muy diversa según el caso. Hay que tener en cuenta que no todas las ferrerías hidráulicas evolucionaron igual, ya que algunas quedaron en desuso previamente al desarrollo de las últimas ferrerías hidráulicas integrales antes del siglo XIX o tuvieron que adaptarse a las circunstancias con distintas soluciones. Por ejemplo, se han encontrado multitud de respuestas al sistema de abastecimiento material, desde aberturas en la parte inferior de los muros a complejos voladizos con pasarelas.

Por lo general, las ferrerías de este tipo se sitúan en terrenos desnivelados y dividen su planta cuadrangular en un taller y unas carboneras de número variable, separadas por un muro cortafuegos. El sector del taller suele estar paralelo al túnel hidráulico. Este espacio es dividido por un muro conocido como bergamazo, un elemento adosado con aberturas para permitir la salida de aire de los barquines y que responde a la disposición del horno. Estos hornos aparecen tanto rehundidos en el suelo como contruidos de manera variable, no muy lejos del martinete o mazo para la forja con su propio cepo y el yunque de golpeo también encepado (véase figura 1). Así mismo, se incluyen adicionalmente, en algunos casos, habitaciones auxiliares como posibles oficinas, dormitorios para los ferrones y lugares con



piletas de abastecimiento de agua. Muchos de estos espacios y otros elementos relacionados que aparecen en todas las ferrerías hidráulicas estudiadas arqueológicamente necesitan todavía de un mayor trabajo y comprensión (TORRECILLA GORBEA, 2004: 719-723).

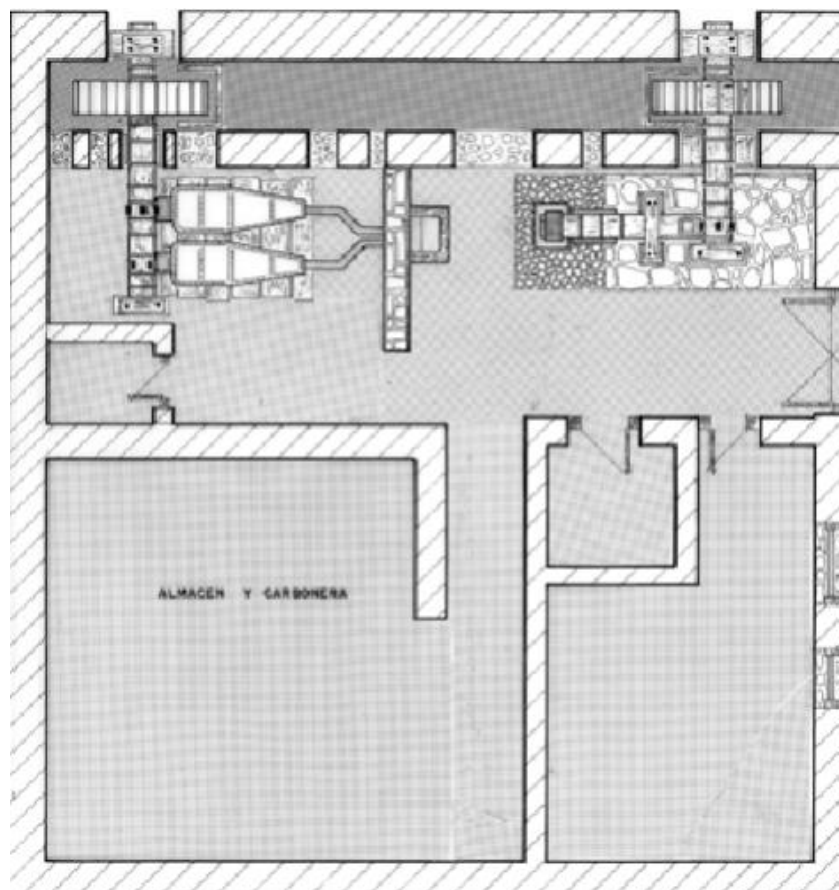


Figura 1. Ejemplo sobre plano de una posible configuración de la ferrería hidráulica. Se pueden observar los elementos previamente mencionados en el mismo. Fuente: www.arkeolan.com

En este apartado arqueológico del TFM se destacan las ferrerías hidráulicas a partir de donde se han seleccionado las muestras. La cantidad de materiales conservados de este tipo, localización y cronología es bastante escasa para el territorio vizcaíno, principalmente debido a la facilidad para oxidarse que el hierro tiene en un ambiente tan agresivo para él.

La ferrería-molino de Bengola es un caso excepcional para el depósito del museo, ya que es la única que acumula gran cantidad de piezas de hierro y escorias que encaja en los límites cronológicos establecidos en este trabajo. La ferrería-molino de Urtubiaga solamente



presenta unas pocas piezas para la última etapa del siglo XVIII debido a que no se ha acometido una campaña arqueológica en profundidad, pero fueron seleccionadas debido a la cercanía geográfica y cronológica para comparar sus respectivas piezas. Ambos centros productivos se encuentran en la misma comarca, cercanas al históricamente importante puerto de la villa de Lekeitio. El resto de yacimientos conocidos presentaban materiales excesivamente modernos o no han llegado a dar evidencias que acabasen depositadas en el museo.

- **Ferrería-molino de Bengola**

La ferrería-molino de Bengola se sitúa en el municipio de Munitibar-Arbatzegi-Gerrikaitz (Bizkaia), concretamente en los límites del núcleo de Gerrikaitz junto a la ribera del arroyo Gontzugarai, tributario del río Lea. Gerrikaitz y su especialización en la producción de hierro ya eran mencionadas en el fuero de 1366. La primera referencia sobre esta estructura ferrona en la historia se produce en 1398, dentro de un diploma que delimitaba los terrenos que pertenecían a la Colegiata de Cenarruza y la villa de Munitibar respectivamente. No vuelve a aparecer en la documentación histórica hasta mediados del siglo XVII en adelante, concretamente en 1638, cuando solamente es referenciada como molino, pudiendo denotar un cambio de función. Estuvo en utilización hasta principios del siglo XX. Ante la falta de fuentes sobre el lugar, es imposible poder determinar cuándo se produce esta transformación funcional (FERNÁNDEZ CARVAJAL, 2007: 408; FERNÁNDEZ CARVAJAL y VARÓN HERNÁNDEZ, 2010: 294).

A pesar de su cercanía con la población, se encontraba en un progresivo abandono tras muchos años de desuso, lo que motivó una iniciativa de recuperación y puesta en valor de la ferrería, que estaba ya declarada como zona de presunción arqueológica. La intervención se realizó en un amplio sector alrededor del edificio actual, con el objetivo de caracterizar la evolución histórica de este centro de producción y las transformaciones que vivió. Durante la primera campaña, se documentaron y valoraron la conservación de los primeros elementos arqueológicos de esta estructura que fueron apareciendo: un suelo de piedras y losas de caliza y el canal de abastecimiento de agua.



Para ello, se realizaron tres sondeos diferentes en suelos de escasa estratigrafía. En el primero, correspondiente a ese suelo junto al sistema hidráulico de la ferrería, apareció una superficie de tierra arcillosa con numerosas escorias bajo las losas. En el segundo, se documentaron depósitos de caliza junto a más partes de escoria, así como detalles que podrían indicar empedrados previos al visible. Finalmente, en el tercero, se intentó buscar rastros del canal hidráulico infructuosamente, aunque se encontró una estructura irregular de dos filas de mampostería de calizas de tamaño variable según la altura. Se puede afirmar que en esta campaña los datos fueron escasos y poco concluyentes respecto a la ferrería, aunque se tratasen de elementos renovados a lo largo de la larga utilización del complejo estudiado (FERNÁNDEZ CARVAJAL, 2007: 408-410).

La realización de una excavación más exhaustiva vino con la segunda campaña tras cuatro años de estudios documentales y una primera intervención, motivada por la decisión de crear un centro de interpretación en el yacimiento. Se excavaron los restos del canal de abastecimiento, el túnel hidráulico y parte del depósito de agua, tras lo que la excavación se amplió en extensión a lo largo de dos grandes sectores, occidental y oriental, a ambos lados del túnel. En estos sectores se han podido hallar los restos de dos martinetes con su correspondiente yunque, así como los hornos asociados.

Estas dos zonas pertenecen a dos ferrerías diferenciadas con instalaciones propias y que probablemente no fueron coetáneas, aunque la escasez de datos no ayuda a establecer su esquema productivo y las fases cronológicas de ocupación y uso. Los depósitos pertenecientes a estas fases además han dado muy pocos materiales. Además, se han observado adaptaciones y transformaciones a lo largo del tiempo en las estructuras encontradas, principalmente a lo largo del canal de abastecimiento, quizás debido a sus cambios funcionales de ferrería a molino, con una utilización final para actividades agropecuarias.

A estos problemas se le suman el mal estado de conservación, reformas del túnel que afectan a parte de las ferrerías, la falta de estratigrafía bien relacionada y la sedimentación progresiva



por parte del agua que continuó recorriendo a través del canal. Por todo ello, se realizaron análisis de Carbono-14 para caracterizar dos elementos en íntima relación con las zonas fabriles: una sobre los restos de madera del martinete en la ferrería occidental [CNA597: 750±25 BP/1225-1283 CalAD] y la otra sobre los de la base del yunque oriental [CNA596: 365 ±25 BP/1451-1526 CalAD]. Los resultados no pueden considerarse marcadores de dos fases distintas, aunque puede que el cambio de ubicación se deba a una readecuación o reforma de una ferrería a otra (FERNÁNDEZ CARVAJAL y VARÓN HERNÁNDEZ, 2010: 291-295).

La tercera y última campaña en Bengola se trató de una pequeña actuación de control de obra, realizada por la inminente construcción del centro de interpretación de energías renovables. Se retiraron los niveles de escombrera y se cimentaron las estructuras arqueológicas para preparar su integración en las nuevas instalaciones. A pesar de lo rutinario de este trabajo, durante el mismo se detectaron dos muros de mampostería adosadas a una ferrería, los cuales se consideraron una reforma del túnel hidráulico para seguir utilizándolo en la última etapa de la ferrería y en la primera del molino (FERNÁNDEZ CARVAJAL, 2012: 275).



Figura 2. Ferrería occidental de Bengola. Vista general del sector y del yunque (derecha) y el horno en particular (izquierda). Fuente: Ondare Babesa S. L. en Arkeoikuska.



➤ *Interpretación de las fases de Bengola:*

Desde el grupo que ha llevado a cabo las diferentes campañas sobre la ferrería de Bengola, perteneciente a la empresa de arqueología y documentación histórica Ondare Babesa S.L., se realizó un primer acercamiento al estudio de las fases, a pesar de lo complejo y complicado que se presentaba el yacimiento. Se pudieron definir hasta cuatro fases a grandes rasgos.

1º fase: inicio de la actividad en la ferrería occidental (Siglos XIII-XIV/Siglos XV-XVI)

Esta primera fase documentada, en la que se inicia la actividad ferrona como tal en las instalaciones de Bengola, se ha podido definir a través de las fuentes escritas disponibles y las dataciones de radiocarbono. Ambos datos permiten afirmar que Bengola sería una de las ferrerías hidráulicas más antiguas de su entorno. No se ha llegado a documentar actividades previas a esta arqueológicamente.

Los análisis y la investigación arqueológica adscriben como primera ferrería perteneciente a estos siglos a la que se encuentra en el sector occidental, incluyendo sus hallazgos internos como la cimentación del martinete, el yunque, el horno y los suelos (véase figura 2). La distribución de estos elementos es similar a los de otras ferrerías, pero difiere en algunas características como la falta de muro bergamazo, la disposición contraria del martinete a la común y la pendiente de acceso a la ferrería en general.

La aparición de dos postes y algunas transformaciones parecen sugerir algún tipo de reforma u abandono de la ferrería occidental para instalar, en cierto momento, una nueva en el lado oriental del túnel hidráulico. Se plantean dos posibilidades: una simultaneidad en los hornos de ambas estructuras, aunque el martinete se trasladase, o el cambio completo de la actividad de un lugar a otro (FERNÁNDEZ CARVAJAL, 2010: 295-296).

2º fase: actividad de la ferrería oriental (Siglos XV-XVI/Siglo XVII)

Nuevamente, la fase se ve definida en su inicio y fin por la datación por radiocarbono y la documentación. La nueva ferrería también contiene una base para el martinete y otra para el yunque, así como un horno, junto a readaptaciones realizadas al túnel hidráulico en su lado



oriental (véase figura 3). En general, los elementos son similares a los de su antecesora en el lado occidental. Su abandono para la industria siderúrgica se produciría en unas circunstancias económicas muy concretas.

Si se compara con las ferrerías posteriores al siglo XVIII que han sobrevivido, no recibió algunas de las readaptaciones que se dieron en el paso a las *zearraolas* de sistema productivo integral que aprovechan mejor la distribución e instalan más ingenios, si no que permaneció como ferrería tiradera hasta su desuso anterior al cambio (FERNÁNDEZ CARVAJAL, 2010: 296-297).



Figura 3. Ferrería oriental de Bengola. Vista general del sector (izquierda) y del yunque (derecha arriba) y el horno en particular (derecha abajo). Fuente: Ondare Babesa S. L. en Arkeoikuska.

3º fase: nuevo uso como molino (Siglo XVII/Siglo XIX)

El salto y el túnel que conducían la fuerza hidráulica sobrevivieron al uso original de las estructuras anexas y fueron reaprovechadas para un molino al que se le adosó una vivienda, corroborado en la numerosa documentación existente, así como en la excavación in-situ. El trazado y las características del sistema de abastecimiento permaneció con muchos cambios a lo largo de esta etapa mientras dicho molino estuvo en funcionamiento (FERNÁNDEZ CARVAJAL, 2010: 297).



4º fase: adaptación del molino como centro agrario (Siglo XIX/Siglo XX)

El molino fue reformado para disponer de una estolda, una estructura abovedada para la recogida de aguas, así como de una nueva sala de molienda, además de renovar el túnel hidráulico de nuevo. La función del lugar se pluraliza para las diferentes actividades agropecuarias a su alrededor. Esta conforma la última fase de ocupación hasta el abandono definitivo de todas las estructuras existentes hasta nuestros días (FERNÁNDEZ CARVAJAL, 2010: 297).

- **Ferrería-molino de Urtubiaga:**

La ferrería-molino de Urtubiaga se encuentra en el municipio de Ea (Bizkaia), ascendiendo tierra adentro desde el núcleo de población y bordeado por el río Argin, también denominado popularmente Ea. La documentación revela que esta existía desde tiempos medievales, aunque la actual no sería la misma ferrería. Aunque los trabajos arqueológicos no han sido tan intensos en este yacimiento, sí que ha sido objeto de algunas intervenciones a destacar. Todavía es un lugar que requiere de una mayor profundización e investigación, aunque es un entorno prometedor debido al buen estado de conservación que presenta para la realización de acciones de puesta en valor de patrimonio histórico construido.

La primera acción se realizó debido a los intereses municipales en el entorno de la ferrería, ya conocida de antemano como lugar de presunción arqueológica. Tras una fase previa de limpieza vegetal, se realizó la documentación topográfica pertinente de las estructuras en el contexto de Urtubiaga. El apartado arqueológico se limitó a desbrozar los muros y realizar una primera observación de cuán conservado estaba el lugar. Al observar que el techo se encontraba en condiciones pésimas, se procedió a su retirada y se aseguró el suelo con una tarima de madera asegurada por una viga debidamente apoyada para que no afectase a los muros. Esto permitió aumentar la visibilidad notablemente para posteriores trabajos (ANIBARRO SÁNCHEZ, 2010: 246-248).



Posteriormente, se llevó a cabo la segunda campaña como tal con apoyo de las ayudas de la Diputación Foral de Bizkaia. Se procedió a la excavación de la zona del taller de la herrería y las habitaciones del martinete, los barquines y la oficina, con lo que se pudo empezar a estudiar las relaciones cronológicas y espaciales entre estas secciones.

Destacan varios de los elementos hallados en este espacio: un horno rehundido con una pared provisional que posiblemente podría extraer para evacuar las escorias, los apoyos para los fuelles y el muro bergamazo con algunas modificaciones, así como un muro cortafuegos, un pozo de cestero moderno y posterior que ocupaba gran parte de la superficie de la antigua herrería (véase figura 4). De la argamasa del muro cortafuegos se extrajeron varios carbones para realizar tres dataciones por radiocarbono calibradas [1680-1730 CalAD -que encaja con la fecha de construcción de la herrería moderna en 1725 según la documentación-, 1810-1930 CalAD y post. 1950 CalAD], aunque las tres horquillas conseguidas son poco fiables y solo confirman la relativa modernidad de la herrería (AURREKOETXEA FERNÁNDEZ, 2013: 168-173).

Se continuaron las excavaciones en una segunda campaña arqueológica, aunque no se lograron demasiados avances respecto al año anterior y se focalizaron en el exterior del entorno. Se llevaron a cabo la retirada de más escombros de la estructura para revelar algunas partes fundamentales del sistema hidráulico que mantenía en funcionamiento la herrería. Es por ello que se restauró parte de los volúmenes originales del depósito de aguas, el túnel hidráulico y la salida del agua desde el taller, amortizados por esos escombros. Estos debieron ser contemporáneos a los hallazgos de la campaña pasada, así que no se profundizó en la búsqueda de evidencias de la herrería anterior (FERNÁNDEZ CARVAJAL, 2016: 195).



Figura 4. Agujero del horno en la pared (izquierda) y el último rastro de la producción en el horno: colada de escoria (derecha). Fuente: Arkeoikuska.

➤ *Interpretación de las fases de Urtubiaga:*

1º fase: anterior a la nueva ferrería (antes de 1725)

La estratigrafía permitió reconocer algunos pocos elementos que deben ser previos a la construcción de la ferrería fechada en 1725, aunque todavía no han sido debidamente excavados y documentados. Tampoco se pudo asegurar cuantos elementos considerados posteriores pertenecen a ese taller anterior y son reutilizados –como el canal de abastecimiento-, pero si hay algunos estratos apoyados en las estructuras modernas (AURREKOETXEA FERNÁNDEZ, 2013: 170-171).

2º fase: construcción de la nueva ferrería (1725)

Entran dentro de esta etapa todas las instalaciones ferronas y sus contextos en relación, ya que fueron situadas con el establecimiento de la ferrería para su funcionamiento. Se destacan de entre estos el atípico horno rehundido de la ferrería, típicos del oeste vizcaíno, mientras que en esa zona eran más típicos los hornos elevados orientales y guipuzcoanos, el sistema de apoyo para los barquines de dos muros rebajados en paralelo al bergamazo, junto a dos apoyos circulares en el espacio entre estos muros. También aparecen las bases del martinete y del yunque (véase figura 5), unos encepados de madera que eran sujetadas con viguetas cruzadas, también conservadas (AURREKOETXEA FERNÁNDEZ, 2013: 169-170).



Figura 5. Vista general de la sala del mazo de la última ferrería, donde se adivina la distribución de los elementos. Fuente: Arkeoikuska.

3º fase: funcionamiento de la ferrería (1725/1838-1863)

La documentación ha dado un período final a la vida industrial de este taller, gracias a una venta de la misma realizada en 1838 y la realización de un censo en 1863 que ya confirma su cambio de uso, por lo que pudo tener hasta casi 135 años de uso. Como hito en esta época, se realiza una reforma importante en 1750 para construir unas casas adosadas a la ferrería. Se aprovechó para incluir la oficina en el centro del espacio del mazo, frente al horno colmatado de escoria y sobre el muro cortafuegos, cuyo aparejo gótico, que podría haberlo datado en el siglo XVI como hipotético elemento de continuidad, motivó las dataciones que desecharon dicha teoría (AURREKOETXEA FERNÁNDEZ, 2013: 166-179).

4º fase: final de la ferrería y adaptación en taller cesterero (1838-1863/princ. siglo XX)

Aunque el molino parece que continuó en funcionamiento un tiempo más tras el abandono de la actividad ferrona, su uso cambió completamente. La estratigrafía presenta escombros, parte del desmantelamiento y amortización de las instalaciones de la ferrería. Tras ello, la sala del mazo fue adaptada para construir un pozo de agua, que humedecería las varas de cestería



(véase figura 6) para el nuevo negocio allí instalado reaprovechando el túnel hidráulico tras rebajarlo. El pozo cortó los restos previos depositados. (AURREKOETXEA FERNÁNDEZ, 2013: 166).



Figura 6. Nivel del taller cestero en el interior de la ferrería, con la última carga todavía depositada. Fuente: Arkeoikuska.

5º fase: usos varios y abandono definitivo (mediados del siglo XX)

Tras su corta vida dedicada a la industria cesterá, se va produciendo un abandono gradual pero definitivo del espacio, con actividades documentadas a través de testimonios orales como el establecimiento de un gallinero o su utilización como vertedero. Tras ello, este lugar se dejó a su suerte, en estado de ruina (AURREKOETXEA FERNÁNDEZ, 2013: 165).



4. Materiales y método

4.1. Proceso de muestreo

Para escoger y procesar los materiales de hierro que van a ser utilizados en la fase analítica, y a pesar de presentarse algunos problemas y limitaciones a lo largo del proceso, se ha seguido una estrategia que hemos considerado correcta:

Tras repasar en los informes de las ferrerías que han recibido intervención arqueológica (VV. AA., ARKEOIKUSKA), labor que ya se realizó en parte a lo largo del Trabajo Fin de Grado que precedió a este TFM (ORUETA IRADI, 2017), se solicitaron al Arkeologi Museoa de Bilbao los fondos de varias ferrerías que encajaban en el marco histórico y productivo elegido. A pesar de la considerable cantidad de intervenciones que se han producido en el territorio vizcaíno, los materiales entregados son escasos y están desigualmente distribuidos. De una docena de yacimientos potenciales, solo un par de ellos encajaban en el perfil requerido, tanto en tipología de materiales como en cronología con las requeridas: Bengola y Urtubiaga.

Ambos yacimientos tienen artefactos y escorias depositadas de manera desigual, siendo Bengola el de mayor cantidad y complejidad estratigráfica, aunque Urtubiaga se conserva mejor y sus primeras fases se han estudiado con mayor claridad. A partir de estos fondos se han seleccionado algunos de los objetos encontrados más numerosos y representativos de entre sus materiales metálicos, concretamente clavos de hierro. De esta manera no se realizan analíticas destructivas sobre los artefactos más escasos y con un mayor valor histórico-técnico, evitando así su pérdida parcial o integral para futuros trabajos, pero se puede comprender mejor la composición particular de unos objetos finalizados en la cadena de producción.

En total se seleccionaron treinta piezas que podrían presentar un mejor estado de su núcleo para realizar las analíticas, intentando tomar una muestra representativa y distribuida de toda la estratigrafía disponible. Después de la entrega de los clavos tras los necesarios permisos oficiales, su cortado se realizó en la Escuela de Ingenieros de Vitoria-Gazteiz mediante una cortadora metalográfica. Durante el cortado se pudo realizar un segundo descarte, ya que algunos clavos se encontraban excesivamente oxidados y no pudieron resistir el proceso. Se



realizaron algunos pulidos cuando se consideró necesario y se observó bajo microscopio metalográfico la superficie de los cortados, comprobando la nitidez con la que se podría estudiar con el instrumental del grupo de investigación en el que se ha realizado el TFM.

Finalmente fueron llevados al laboratorio de IBeA en el Parque Tecnológico de Zamudio para proceder con las analíticas a partir del equipamiento allí disponible. Previamente recibieron un número de inventario individualizado interno, que no corresponde exactamente, aunque esté basado en, con la clasificación que tienen en el museo ya que estos están embolsados por grupos y no han sido debidamente individualizados con un número propio (véase tabla 1).

Durante las analíticas se priorizó la realización de un análisis por cada clavo para cubrir la mayor extensión de estratigrafía posible, con un mayor interés por los estratos en contextos arqueológicos que tienen asegurada una estrecha relación con las fases definidas antes que los estratos más descontextualizados respecto al proceso histórico que se dio en los emplazamientos estudiados.

Tabla 1. Relación de materiales seleccionados para el muestreo. Fuente: Elaboración propia.

Yacimiento – Unidad Estratigráfica	Número de muestra
Bengola (B) – UE 2	Clavo 50
Bengola – UE 206	Clavo 193
Bengola – UE 297	Clavo 356
Bengola – UE 381	Clavo 43
Bengola – UE 398	Clavo 449
Bengola – UE 407	Clavo 28
Bengola – UE 2000	Clavos 1097, 1098, 1099, 1100
Urtubiaga (U) – UE 2	Clavos 58, 59, 60

Algunas unidades estratigráficas de los yacimientos, específicamente en Bengola, han recibido o son depósitos directos de elementos exógenos por distintas razones: inundaciones, acción humana, movimientos de tierra, etc. Su importancia en la estratigrafía es menor que las



unidades más contextualizadas, las cuales son más fiables y seguras de pertenecer a las fases definidas y ser por lo tanto depósitos de una mayor fiabilidad. En este caso, las unidades 381, 398 y 407 se encuentran en el interior de las ferrerías como tal y pertenecen a acciones coetáneas al funcionamiento de estas. Las dos primeras pertenecerían a la primera fase de Bengola, con la ferrería occidental en funcionamiento, mientras que la tercera estaría adscrita a la posterior ferrería oriental.

Las otras unidades, en cambio, son más dispersas y deben ser consideradas con mayor precaución a la hora de estudiar el yacimiento, como por ejemplo pueden ser las unidades 2 y 2000, las cuales se encuentran en el exterior de las ferrerías y tienen un origen menos fiable, además de ser cronológicamente posteriores tanto en Bengola como en Urtubiaga (FERNÁNDEZ CARVAJAL, Comunicación Privada: abril de 2018).

4.2. Descripción instrumental

La metodología analítica utilizada se ha ceñido a las posibilidades del propio TFM. Se ha utilizado por ello parte del instrumental disponible en el laboratorio del grupo de investigación IBeA, en concreto el equipo de micro-fluorescencia de rayos X por energía dispersiva X M50 TORNADO (véase figura 7). Dicho equipo implementa dos tubos de Rh, alimentados por un generador de alto voltaje y refrigerados por aire. El tubo empleado para los análisis de este trabajo funciona con voltajes en el rango de 10-50 kV y corrientes en el rango de 100-600 μ A, y está montado en una lente policapilar.



Figura 7. Imagen del equipo de fluorescencia de Rayos X utilizado para el análisis elemental de los clavos. Fuente: Elaboración propia.

Esta lente policapilar es capaz de lograr una resolución lateral de $25\mu\text{m}$ para la línea $\text{Mo K}\alpha$. La detección de la radiación de fluorescencia emitida por los elementos sobre la muestra estudiada se realiza mediante un detector SDD de energía dispersiva con un área sensible de 30 mm^2 y una resolución de energía de 142 eV para la línea $\text{K}\alpha$ del Mn . El sistema permite trabajar en condiciones de vacío para mejorar la detección de los elementos más ligeros. Para ello, se empleó una bomba de diafragma MV 10 N VARIO-B, la cual establece un vacío de 20mbar dentro de la cámara del instrumento.

La estrategia utilizada se ha adaptado a estas condiciones, aprovechando las utilidades que ofrece este instrumental: por una parte, se han realizado mapeos elementales (30 milisegundos por toma en 1 ciclo y distancia de 13 micras entre los puntos de medida) de las diferentes muestras para tener una imagen general de su composición y distribución elemental junto al espectro suma resultante de dicha superficie (véase figura 8). De esta forma, se identificaron los elementos presentes en las inclusiones del metal, de donde se extrae la información objeto de este TFM.

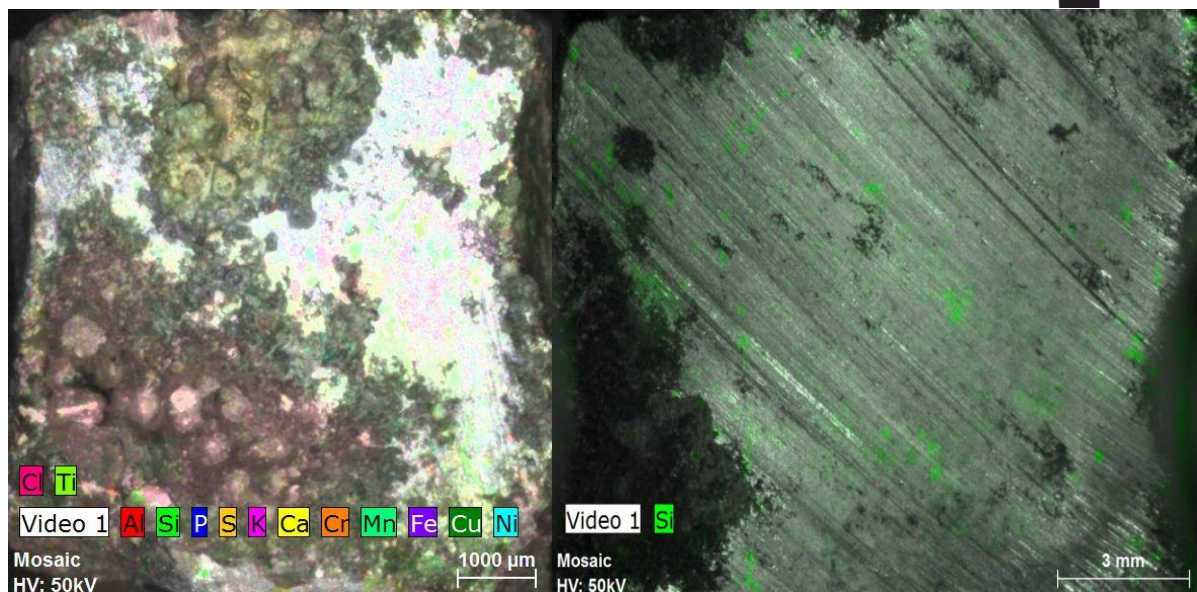


Figura 8. Mapeo con las señales emitidas por diferentes elementos y mapeo destacando las señales de silicio para la búsqueda de un tipo de inclusiones. Fuente: Elaboración propia.

Por la otra, se han analizado sesenta puntos concretos por muestra, 20 puntos alineados para caracterizar la composición de la aleación y otros cuarenta para determinar las inclusiones en la medida de lo posible según se fueran localizando con ayuda de los mapeos anteriores. Todos los espectros han sido obtenidos mediante la aplicación *Multi-point* del instrumento Tornado, aplicando 100 segundos de tiempo real a la configuración de la toma de puntos.

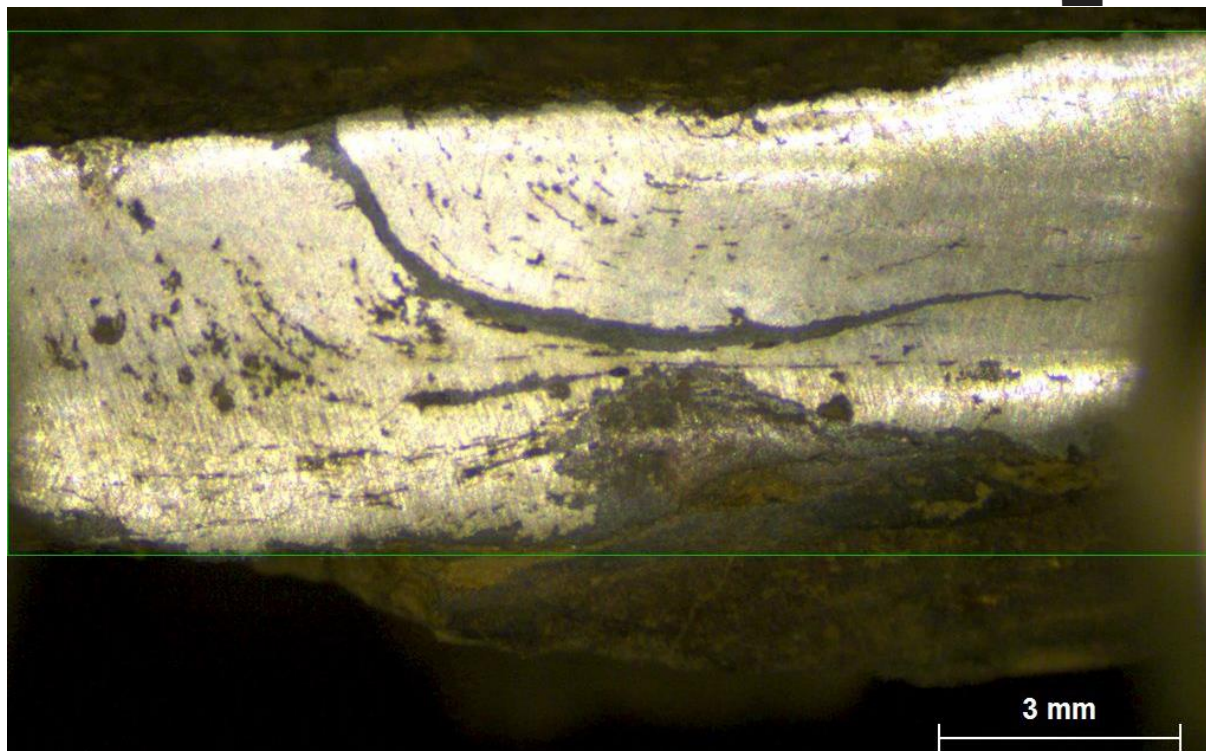


Figura 9. Vista de la selección del recuadro que será posteriormente mapeado sobre uno de los clavos con la superficie pulida. Fuente: Elaboración propia.

La búsqueda de inclusiones se ha realizado mediante el rastreo a través del microscopio del equipo de micro-fluorescencia, con aumentos de x10 y x100, apoyándose en los mapeos realizados previamente, los cuales muestran y destacan las señales de las zonas de mayor acumulación para elementos como el silicio, el potasio o el calcio, entre otros (véase figura 9).



5. Resultados y discusión

Una vez terminada toda la toma y recopilación de datos analíticos, se compararon los resultados en conjunto obtenidos en el análisis elemental con el equipo de fluorescencia de Rayos X. Las tablas con los datos brutos han sido anexadas al final del manuscrito para ser referenciadas en este apartado, así como consultadas posteriormente.

Por un lado, se elaboraron los mapas elementales de las superficies estudiadas, pudiendo observar la distribución de las concentraciones de distintos elementos (de forma cualitativa) que pueden darse en las inclusiones sobre la superficie del hierro. Por el otro, se dispusieron las tablas de datos conseguidos a través de los análisis puntuales sobre las zonas de interés para establecer las correlaciones existentes entre las muestras analizadas, calculando la mediana de cada elemento por muestra ya que la media puede no ser representativa de la realidad compositiva (DILLMANN y L'HÉRITIER, 2007: 1816-1817). Posteriormente transformó la concentración de los elementos individuales en sus respectivos óxidos para calcular correlaciones entre elementos propios de las inclusiones (véanse tablas 2 y 3 en el anexo).

Finalmente, también se realizaron análisis adicionales para conocer la composición del metal de cada muestra y así caracterizar las proporciones existentes de otros elementos diferentes al principal, el hierro, sin observar grandes diferencias entre los metales de las diferentes muestras en lo que a materia prima se refiere. De esta manera se confirmó, por ejemplo, que son clavos de hierro dulce, tal y como era esperable.

Los resultados obtenidos de las analíticas nos han permitido interpretar algunos aspectos tecnológicos de las piezas aquí estudiadas, basándonos principalmente en las aplicaciones metodológicas propuestas por Dillmann y L'Héritier, aunque con ciertas variaciones propias (DILLMANN y L'HÉRITIER, 2007). Estos datos pueden conjugarse con el conocimiento histórico existente para el contexto estudiado, con los que se pueden llegar a algunas primeras conclusiones.



5.1 Análisis de componentes principales (PCA)

Una vez recopilados los datos, estos fueron puestos en perspectiva con un análisis multivariable para ordenarlos y poder observar detalles en el comportamiento elemental de cada muestra, los cuales permiten realizar algunas interpretaciones a partir de estos valores. En el siguiente biplot (Figura 10), se pueden observar las agrupaciones de las muestras respecto a los elementos químicos presentes en los análisis mediante EDXRF realizados sobre las inclusiones.

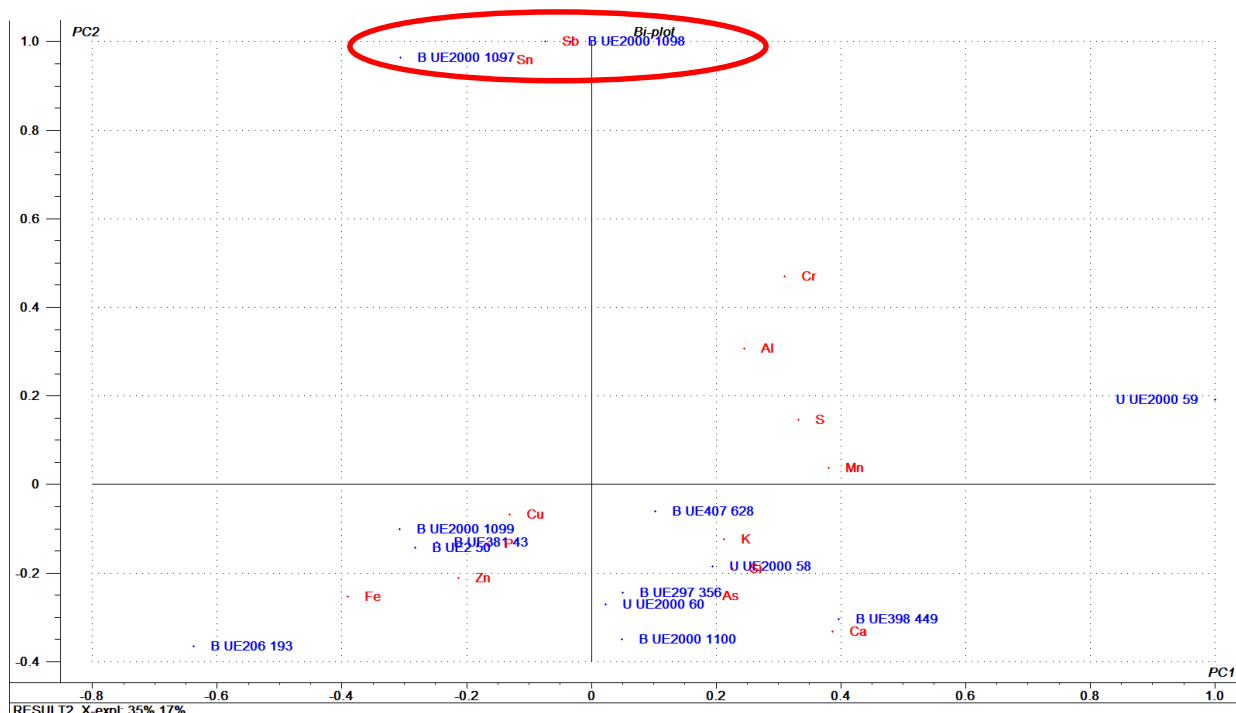


Figura 10. Bi-plot mostrando la posición de las muestras en distancia respecto a sus elementos característicos. Fuente: Elaboración propia.

La observación del gráfico permitió ver que hay dos muestras que pueden ser consideradas *outliers* o valores atípicos de manera clara con respecto al resto de muestras que componen el modelo, concretamente del yacimiento de Bengola, con lo que alteran la variabilidad de los valores dados por las otras piezas. Estas indican una importante relación con el antimonio y el estaño, quizás contaminantes exteriores o bien un origen diferente o una forma de fabricación diferente, que resaltarían un origen exógeno a Bengola (véase figura 10). Para tener una imagen más definida de los valores típicos, se realizó un nuevo cálculo descartando las dos muestras distantes respecto a las otras.

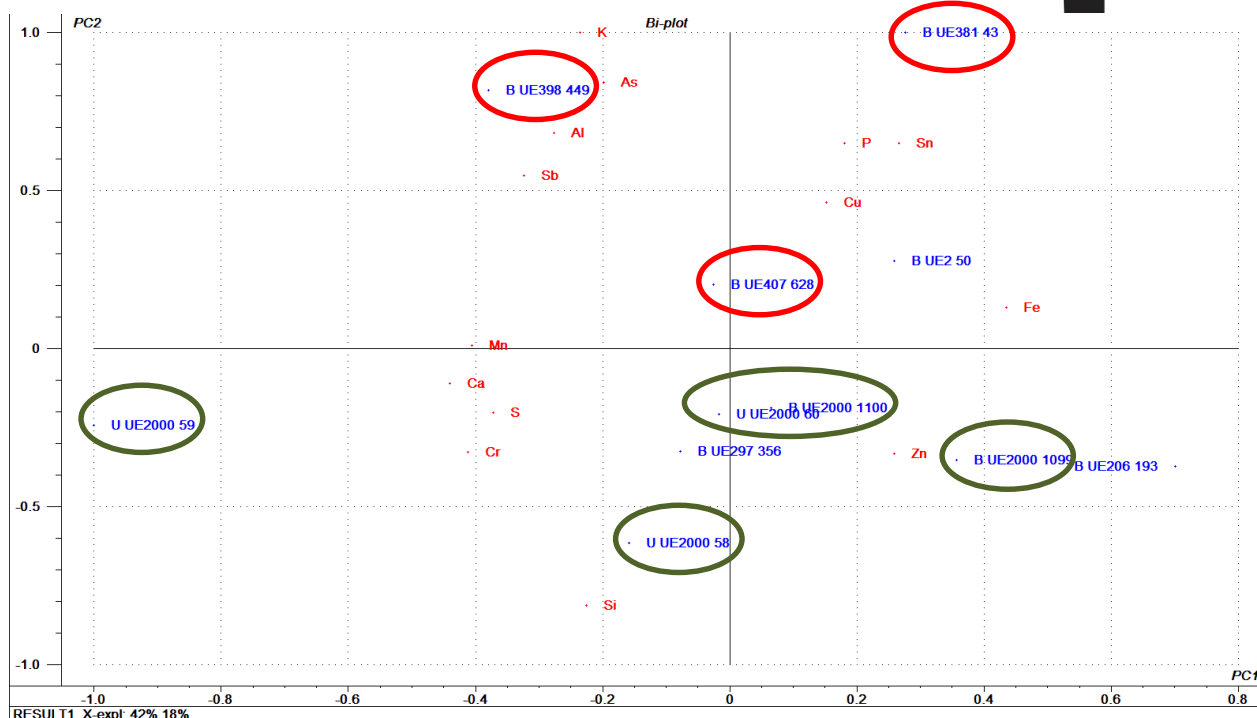


Figura 11. Bi-plot sin outliers, mostrando una distribución más razonable en relación al previo. Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico sin valores sospechosos, pueden observarse algunos datos interesantes, especialmente si se ponen en relación con el contexto escogido para el estudio. Por un lado, podemos observar que las muestras de las unidades estratigráficas en más estrecha relación con las fases de actividad ferrona se encuentran en la mitad superior [color rojo], mientras que las más modernas o las de origen exógeno debido a depósitos continuados posteriores se encuentra en la zona inferior del gráfico [color verde]. Las muestras restantes son más dudosas y complicadas de contextualizar (véase figura 11).

Los datos en bruto que forman este gráfico de análisis de los componentes principales sugieren a su vez algunos marcadores de importancia según los elementos relacionados. Algunos como el aluminio, el silicio, el azufre, el calcio, el cromo y el manganeso indican una importante correlación negativa con el hierro, el elemento matriz de las muestras (véase tabla 4 en el anexo).



5.2 Ratios de óxidos

La interpretación de los datos analíticos continuó con el estudio de las proporciones de óxidos una vez transformados a partir de los datos en bruto. Para este apartado, se siguieron los ratios establecidos por Dillmann y L'Héritier, aunque hubo que descartar algunas de sus propuestas debido a los resultados de los análisis aquí presentados. Se siguieron estas recomendaciones para el estudio de los anteriormente mencionados Compuestos No Reducibles, clasificación creada por ellos mismos para el análisis de ciertos elementos que actúan como intrusiones o aditivos durante el proceso de transformación del hierro en un producto elaborado.

Estos ratios recomendados son los siguientes: $\%Al_2O_3/\%SiO_2$, $\%K_2O/\%CaO$, $\%MgO/\%Al_2O_3$ y $\%P_2O_5/(\%Al_2O_3 + \%MgO + \%K_2O)/\%FeO$. Cada uno responde a una aplicación que permite identificar un aspecto concreto de la tecnología detrás de los elementos analizados, debido a que forman parte de los Compuestos No Reducibles y se relacionan con una modificación voluntaria, una alteración natural del mineral o una contaminación a lo largo del proceso de transformación del metal. Por una parte, se toman los óxidos de aluminio, potasio, manganeso y calcio ya que sus inclusiones no pueden ser reducidas en el forjado o la fundición, y se ponen en relación con los óxidos de hierro, fósforo y silicio, los cuales se ven afectados por estos procesos reductivos (DILLMANN y L'HÉRITIER, 2007: 1817).

A pesar de esta propuesta, para el presente estudio se han tenido que descartar algunas debido a varias razones. Principalmente no se han podido realizar los ratios $\%MgO/\%Al_2O_3$ y $\%P_2O_5/(\%Al_2O_3 + \%MgO + \%K_2O)/\%FeO$ por limitaciones técnicas de la propia metodología instrumental. El equipo elegido para realizar las analíticas, el espectrómetro de fluorescencia de Rayos X, no tiene unos límites de detección suficiente para el magnesio y algunos otros en este tipo de muestras, por lo que estos ratios no se pueden calcular.

El primer ratio se descarta por completo al no poder correlacionar el magnesio no detectado, mientras que se ha decidido realizar una versión modificada del segundo, descartando de la ecuación el óxido de magnesio: $\%P_2O_5/(\%Al_2O_3 + \%K_2O)/\%FeO$. Junto a este ratio modificado



se han realizado las otras dos correlaciones propuestas en el artículo de referencia (véanse figuras 3, 5 y 7). También se han dispuesto para su consulta los datos utilizados para estos gráficos al final del trabajo (véase tabla 5 en el anexo).

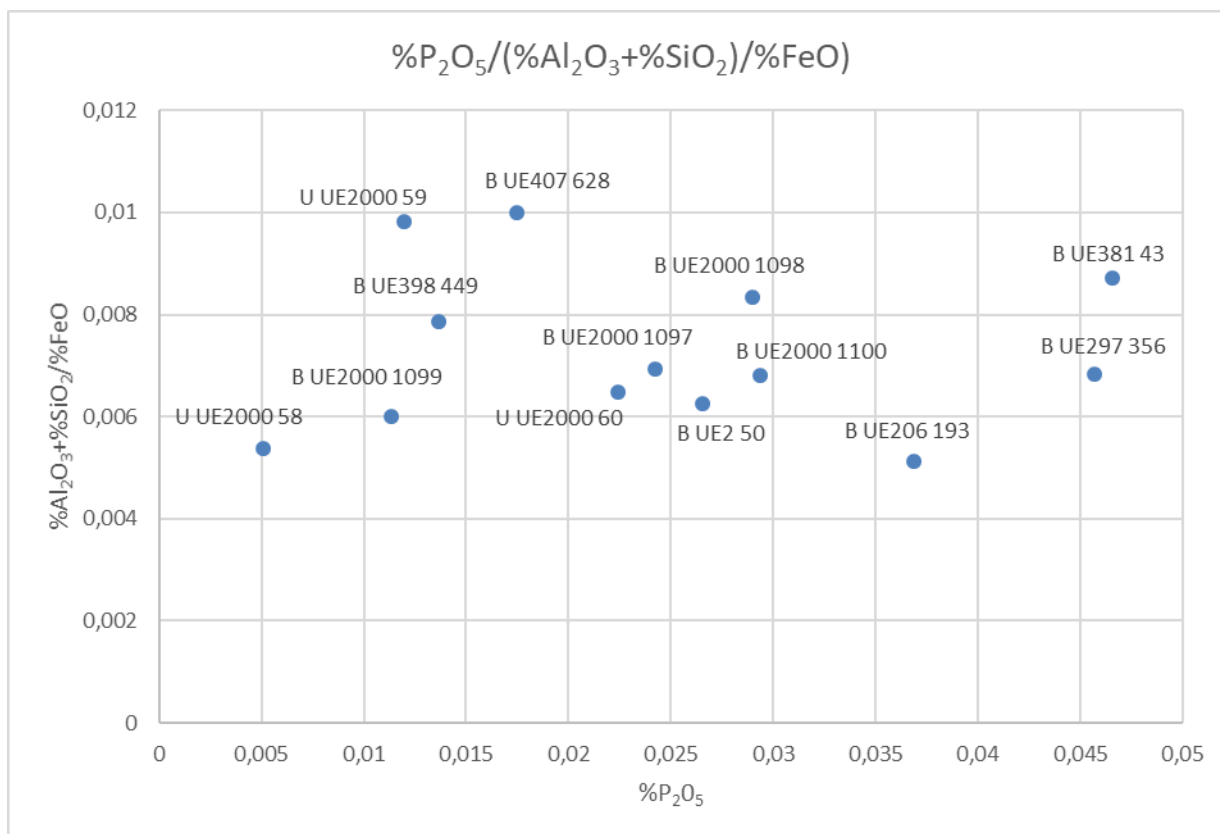


Figura 12. Correlación entre el óxido de fósforo y la suma de los óxidos de aluminio y potasio divididos con el de hierro.
 Fuente: Elaboración propia.

Para ilustrar y contrastar mejor los resultados analíticos del presente estudio, se ha decidido poner sus homólogos de referencia del artículo de Dillmann y L'Héritier. En estos otros gráficos se situarán las posiciones teóricas de los resultados de las muestras de Bengola y Urtubiaga, viendo su posición [círculo rojo] respecto a los distintas y numerosas muestras arqueológicas y experimentales utilizadas por el equipo de referencia para este estudio (véanse figuras 4, 6 y 8).

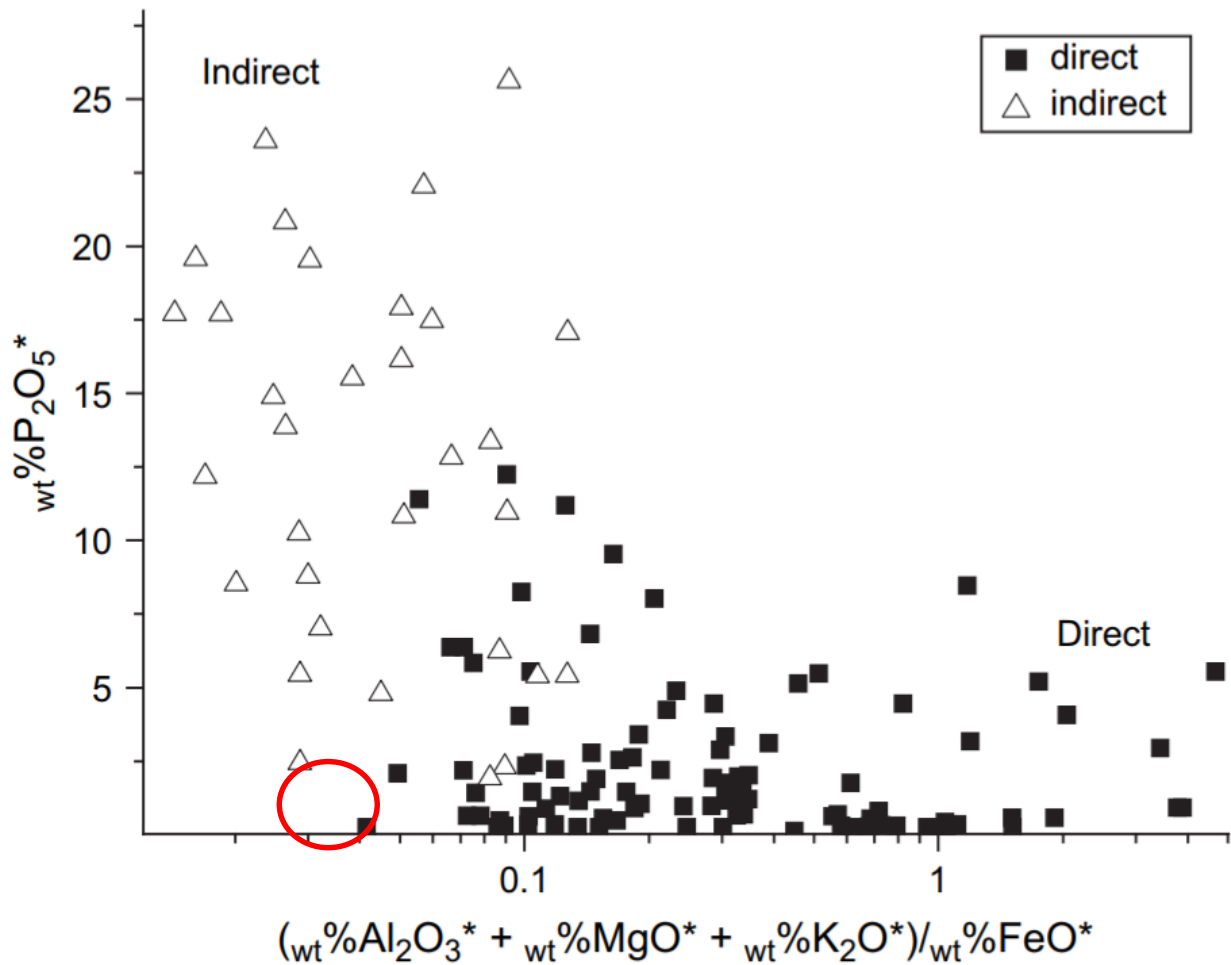


Figura 13. Correlación de referencia, en la que se han diferenciado muestras elaboradas mediante el sistema directo o de forjado y otras a través del indirecto o de fundición. Fuente: Dillmann y L'Héritier, 2007.

En este caso, se puede considerar que los resultados de las analíticas del presente estudio, a pesar de dar unas cantidades más reducidas, corresponden claramente al sector definido para el sistema directo en el gráfico de referencia. Tal y como se puede observar, el óxido de fósforo aparece en cantidades considerablemente mayores bajo el proceso indirecto en comparación al directo. Esto se debe a la reducción de este óxido, ya que, aunque es transformado completamente bajo el sistema de trabajo indirecto, vuelve a aparecer concentrado en forma de fósforo eutéctico como parte fundamental de la aleación de hierro fundido, la cual vuelve a recuperar su proceso de oxidación. En el caso del proceso directo, las proporciones de fósforo serán iguales al contenido existente en la mena de hierro (DILLMANN y L'HÉRITIER, 2007: 1817-1818).



Los resultados de las muestras locales del presente estudio corresponderían al sistema directo junto a una fuente de hierro de origen local, por lo que la baja proporción de este elemento correspondería con el tradicional referente de calidad del hierro vasco en Europa: su reducido nivel de fósforo. Es por ello que esta cualidad convirtió al hierro vasco, el vizcaíno en particular, en un candidato ideal para la futura introducción del horno de reducción Bessemer a partir del siglo XIX, que requería de mineral bajo en fósforo, en sustitución de la industria de forjado directo que había imperado en la región.

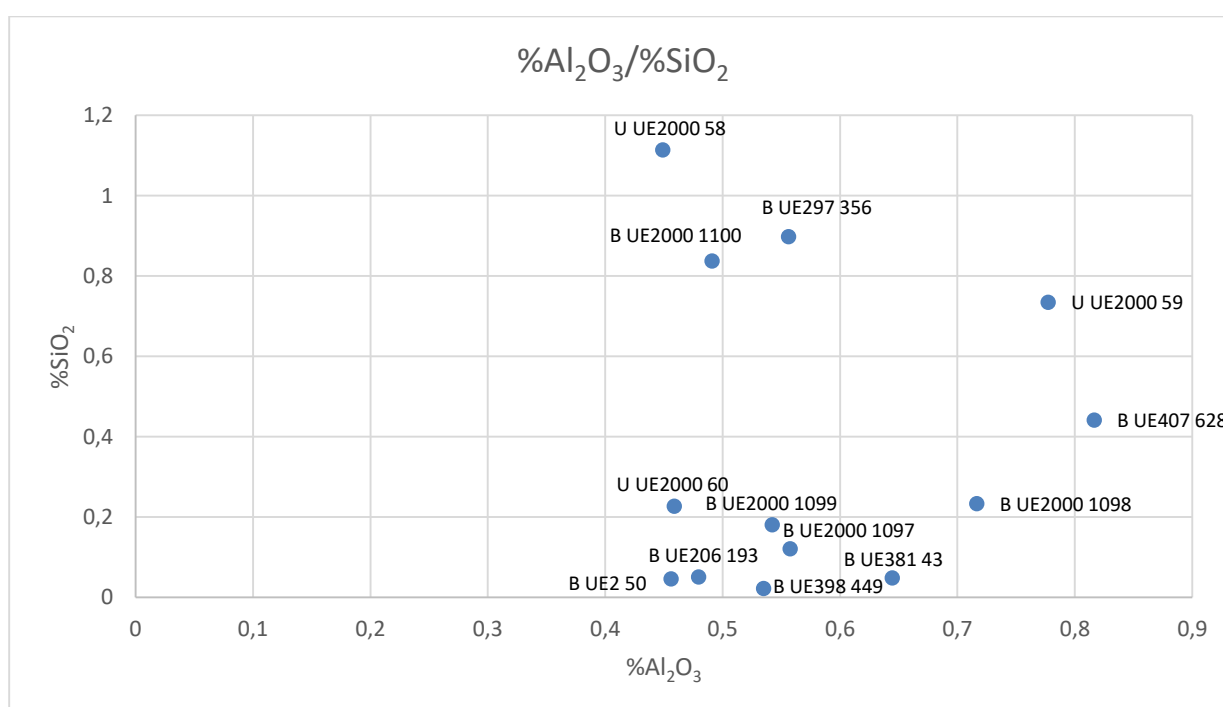


Figura 14. Correlación entre el óxido de aluminio y el óxido de silicio. Fuente: Elaboración propia.

El ratio $\%Al_2O_3/\%SiO_2$, en la que se correlacionan estos dos óxidos con presencia detectable en las inclusiones de escoria, muestra una distribución irregular y muy similar entre todas las muestras, siendo en su mayoría poco diferenciables para sacar conclusiones definitivas. Solo se ve una similitud en el comportamiento del óxido de aluminio, situándose todos por encima del 0.4-0.5% (véase figura 14). Esto puede ocurrir por varias razones intrínsecas a este proceso productivo del hierro.

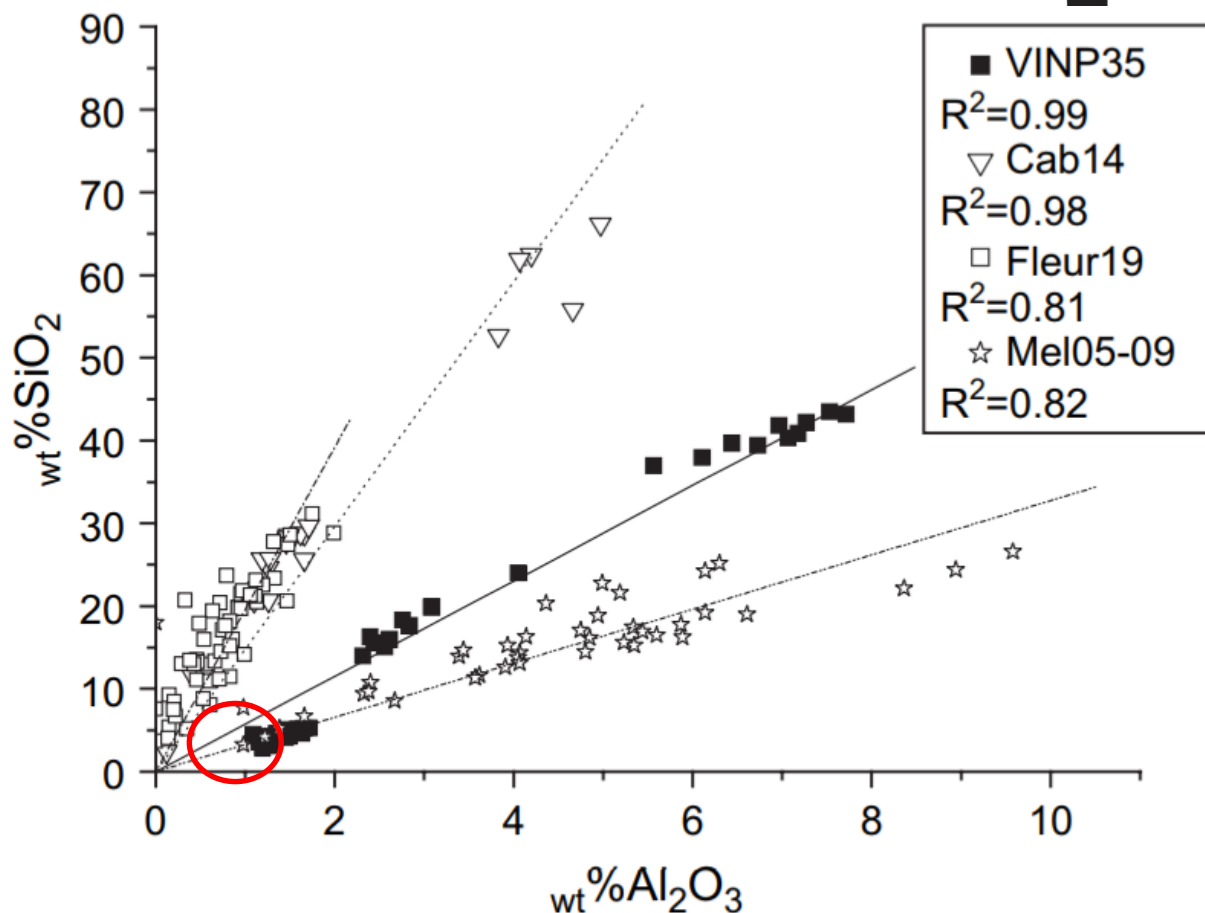


Figura 15. Correlación de referencia entre el óxido de aluminio y el óxido de silicio, con la posición de los datos propios.
Fuente: Dillmann y L'Héritier, 2007.

Estas señales de ambos óxidos pueden deberse en parte a intrusiones, pero también a fases intermedias del mineral. El aluminio es un elemento que en ocasiones aparece ligado a ciertos minerales de hierro a través de la hercinita ($\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2\text{O}_4$), así como ocurre con el silicio, ligado a la fayalita ($\text{Fe}^{2+}\text{SiO}_4$). Ambos pueden aparecer de manera natural en partículas del mineral de hierro, pero también no es raro que surjan como parte de la escoria en las inclusiones del metal debido a los procesos metalúrgicos a los que este se somete el hierro. Este hecho convierte al ratio en un marcador de importancia para definir posibles características y orígenes de los artefactos metálicos (DILLMANN y L'HÉRITIER, 2007: 1812; BLAKELOCK et al., 2009: 1745). Sin embargo, la presencia en las muestras de este estudio de ambos elementos es escasa (véase figura 15), por lo que se descartan que estos marcadores sean propios de la aleación junto al aluminio o de adiciones importantes de silicatos, y que pertenezcan a pequeñas señales de las impurezas que puedan existir en las inclusiones de escoria.

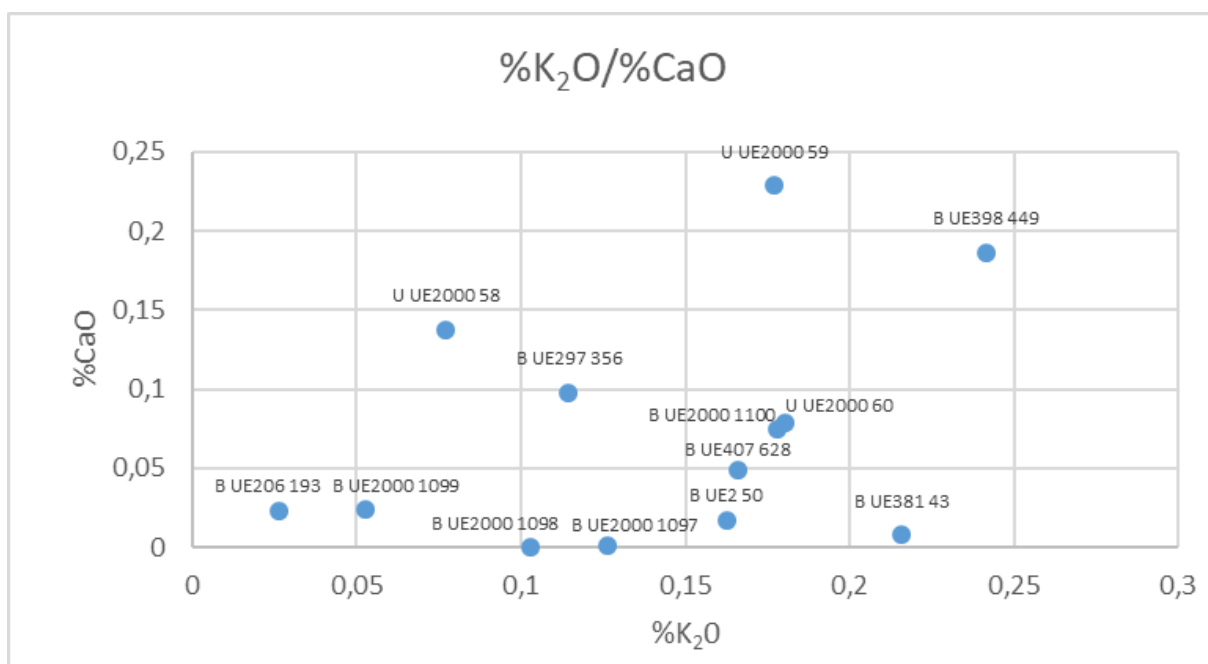


Figura 16. Correlación entre el óxido de potasio y el óxido de calcio. Fuente: Elaboración propia.

El ratio $\%K_2O/\%CaO$ se muestra todavía más disperso, si cabe, que el previo. A este se le añaden la debilidad o carencia de señales de calcio de algunas de las muestras junto a otros que indicaban presencias más importantes de este elemento en las inclusiones de la superficie metálica. Esta correlación es de importancia para definir algunas características del método de reducción y otros apartados técnicos. Por el lado de la cal, sus aportes vienen ligados a la necesidad de reducir el fósforo existente en el mineral de hierro. El potasio, en cambio, no aparece por acción del ferrón, sino que suele ser introducido a través del carbón vegetal utilizado en el horno (DILLMANN y L'HÉRITIER, 2007: 1817). Ambos son marcadores fundamentales para conocer mejor el proceso productivo que existe tras ellos.

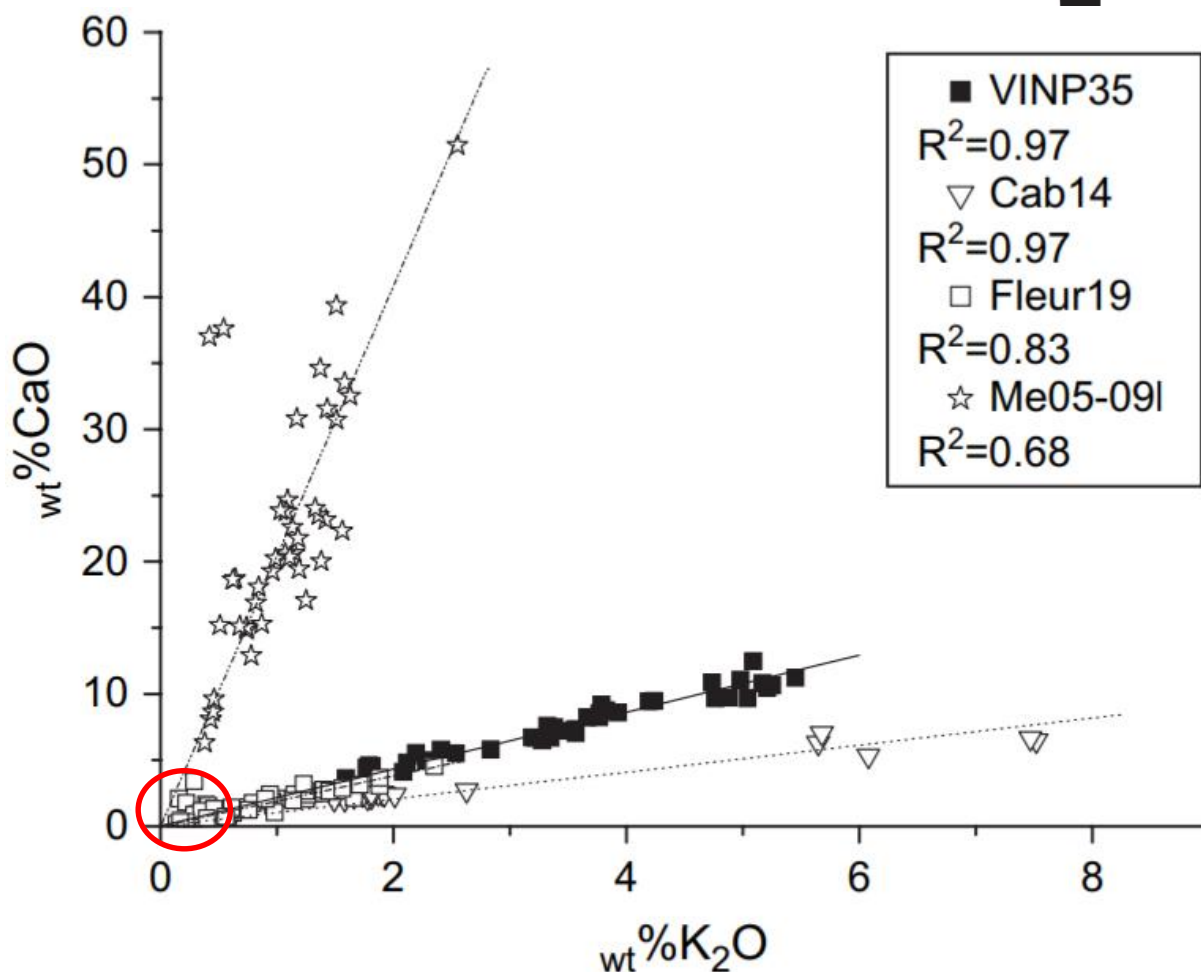


Figura 17. Correlación de referencia entre el óxido de aluminio y el óxido de silicio, con la posición de los datos propios.
Fuente: Dillmann y L'Héritier, 2007.

De nuevo, los análisis del presente estudio muestran señales más bien débiles (véase figura 16), aunque se relacionan con muchas de las muestras arqueológicas en el trabajo de referencia de Dillmann y L'Héritier (véase figura 17), concretamente con las que corresponden con yacimientos más modernos que ya utilizaban el proceso indirecto. Las muestras de este estudio han sido elaboradas mediante el sistema directo y muestran cantidades parecidas a las que pertenecen al sistema indirecto en otras regiones europeas, por lo que se puede considerar que ni existía necesidad de añadir óxido de calcio a un hierro bajo en fósforo, ni que se estaban utilizando carbones que pudieran influenciar con inclusiones de óxido de potasio al producto final. Esto haría que las muestras locales, a pesar de pasar por un proceso directo, sean más similares en su contenido de estos dos óxidos a muestras modernas que se



basasen en el proceso indirecto, mejor reducidas, pero con una materia prima de peor calidad (DILLMANN y L'HÉRITIER, 2007: 1819).

Tras la puesta en común de la información analítica extraída y la comparativa con otros resultados, se puede intentar relacionar las muestras con su contexto histórico-arqueológico para determinar si es posible extraer algunas conclusiones alrededor de la producción de hierro en el ámbito hidráulico.

De entre los mayores problemas del contexto de las piezas, la falta de un marco bien definido es probablemente la más importante, ya que la secuenciación estratigráfica del yacimiento es compleja y pocos estratos tienen límites cronológicos que permitan una diferenciación y un orden entre las distintas muestras. La secuenciación cronológica-estratigráfica es complicada de definir con claridad, aunque existan unas fases aproximadas, algunas dataciones y algo de apoyo de la documentación histórica. Es por ello que hay que tomar los datos de estas muestras con algunas reservas, excepto las que se pueden asegurar su relación estratigráfica como las mencionadas previamente [381, 398 y 407], mientras que las otras no pueden ser consideradas representativas de todo el contexto.

Ambos yacimientos estudiados se encuentran estrechamente conectados, ya que, a pesar de la distancia cronológica de sus fases productivas, los métodos y el producto a elaborar variaron poco a lo largo de los siglos que estuvieron en activo tal y como se ha observado. Mientras que Bengola cubre un amplio espectro temporal y eso se ve en la variedad de formas de sus clavos y en su potencial estratigráfico, las piezas de Urtubiaga cubren la última etapa, el siglo XVIII, que es a su vez el momento donde se inicia el declive de las ferrerías hidráulicas que finalmente llevará a la implementación de sistemas industriales más modernos.

En su composición, todas las muestras permanecen muy similares tanto en la aleación como en los tipos de inclusión. De hecho, donde se observa una mayor interrelación es en los elementos más tardíos de ambos yacimientos, lo que sería lógico al pertenecer a épocas similares, tal y como se observa en el análisis de componentes principales. A pesar de ello, la

Gestión del paisaje. Patrimonio, territorio y ciudad
Paisaiaren kudeaketa. Ondarea, lurraldea eta hiria
Landscape management. Heritage, territory and city



distancia en el apartado más técnico es escasa y podría asegurarse que hay una continuación en el uso del proceso directo con unas características parecidas continuado, aunque haya mejoras en el sistema productivo que no tengan un reflejo directo en la aleación o las inclusiones y si en la documentación o en los estudios arqueológicos.



6. Conclusiones

En este Trabajo Fin de Máster se ha intentado aplicar una serie de metodologías analíticas, las cuales ya han tenido cierta trayectoria en la investigación arqueológica, para caracterizar materiales féreos de un contexto histórico en particular. Ha habido que adaptar la práctica experimental, el tratamiento y la interpretación de los datos a los límites y a la naturaleza del proyecto, utilizando un instrumental distinto y algunas variaciones propias que pueden diferir de otros trabajos previos en los que la investigación se ha basado.

El principal objetivo ha sido conseguir la caracterización del hierro de muestras de dos yacimientos a través de los datos que se pueden extraer de la composición elemental de las inclusiones de escoria que se pueden encontrar en estas piezas, identificando posibles intrusiones, aditivos y contaminaciones. Se puede considerar que, aunque se han obtenido algunos datos que ciertamente apuntan hacia la composición de estas inclusiones en cada muestra, no se pueden considerar plenamente concluyentes ya que hay algunas variables a tener en cuenta: desde la propia contaminación posterior que puede existir en la muestra hasta el nivel de precisión de los muestreos según la cantidad de análisis que se realicen y en qué condiciones son realizados para que las proporciones no varíen demasiado. A pesar de ello, se han intentado evitar todos estos problemas manteniendo limpia la muestra, realizando replicas, repitiendo los análisis si fuese necesario, etc.

La metodología utilizada para este tipo de investigación ha sido novedosa y diferente a estudios similares. Aunque ha servido para una caracterización general, se puede considerar que es insuficiente. El espectrómetro de Rayos X, con su spot de 25 μm , es demasiado grande para el tamaño medio de las inclusiones y puede abarcar más allá de las mismas, por lo que los elementos que se encuentren en las inclusiones pueden ser minimizados por señales más potentes contiguas a la estudiada, como por ejemplo la de hierro. Es por ello recomendable continuar investigaciones en este mismo sentido con el instrumental utilizado por los grupos de investigación referenciados, los cuales utilizan el SEM-EDS, con el que es posible reducir el tamaño del spot de análisis lo suficiente como para analizar solamente la inclusión propiamente dicha.



Sin embargo, se puede considerar que se han logrado recabar datos interesantes que permiten unas primeras hipótesis de interés, en las cuales habría que profundizar en un futuro, ya sea con estos mismos materiales o aplicado a otro de los múltiples contextos existentes. Incentivar la investigación multidisciplinar en un campo todavía tan poco avanzado, pero a su vez tan necesario para el conocimiento histórico-arqueológico y patrimonial, es uno objetivo de este estudio, por lo que se ha querido a su vez repasar algunas de las ventajas que este tipo de análisis químicos pueden ofrecer a muchos especialistas.

Aún queda mucho trabajo por realizar para poder definir no solo Bizkaia, si no toda la región siderúrgica que fue el Cantábrico oriental. Este trabajo no es suficiente para estudiar la evolución técnica de la producción local de hierro por sí solo, pero esperamos que sea un primer paso metodológico que sirva de utilidad precedente para que haya más estudios en este sentido y poco a poco se construyan los cimientos de una base de datos de referencia.

De igual manera, este Trabajo Fin de Máster ha servido para realizar un primer acercamiento a todo el apartado analítico que hay detrás de las aplicaciones arqueométricas, por lo que supone también un primer paso para adentrarse gradualmente en el campo. A pesar de las dificultades que supone abordar la química desde una formación histórica, los estudios interdisciplinarios requieren de este tipo de aproximaciones para ampliar la capacidad de estudio del investigador a nivel individual y mejorar la colaboración con otros especialistas y otros enfoques a nivel cooperativo. Con todo, ese espíritu es el necesario para que en un futuro se continúen con los estudios en esta dirección, tal y como se ha hecho en otros lugares, y se puedan revelar nuevos datos de importancia para reconocer una actividad tan fundamental para esta región como fue la producción del hierro bajo el sistema hidráulico preindustrial.



7. Bibliografía

ANIBARRO SÁNCHEZ, S. (2010), “Ferrería-Molino de Urtubiaga”. Arkeoikuska 2009, Vitoria-Gazteiz: Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, pp. 246-248.

ARAGÓN RUANO, A. (2011a), “Atraso e innovación tecnológicos en la siderurgia guipuzcoana durante el Antiguo Régimen”, *Studia Historica: Historia Moderna* 33, pp. 235-259.

ARAGÓN RUANO, A. (2011b), “La actividad siderometalúrgica guipuzcoana durante el siglo XVII: transformaciones y productividad”, *Lurralde: investigación y espacio* 34, pp. 109-149.

ARBIDE ELORZA, I., URCELAY URCELAY, J. M. (1995), “Ferrerías de agua. Primeros datos sobre ellas en Legazpi y posterior evolución técnica”, en E. Tomàs, *La farga catalana en el marc de l'arqueologia siderúrgica. 1r Simposi Internacional sobre la Farga Catalana, Ripoll, 1993*. Andorra: Govern d'Andorra, pp. 305-326.

AURREKOETXEA FERNÁNDEZ, U. (2013) “Ferrería-Molino de Urtubiaga”. Arkeoikuska 2012, Vitoria-Gazteiz: Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, pp. 164-173.

AZKARATE GARAI-OLAUN, A., MARTÍNEZ TORRECILLA, J. M. y SOLAUN BUSTINZA, J. L. (2011), “Metalurgia y hábitat en el País Vasco de época medieval: el asentamiento ferrón de Bagoeta, Álava (ss. VII-XIV d.C.)”, *Arqueología y Territorio Medieval* 18, pp. 71-89.

AZKARATE GARAI-OLAUN, A., SOLAUN BUSTINZA, J.L. (2014), “De ferro de Alava. Metalurgia altomedieval en la llanada alavesa (siglos VII-XI d.C.)”, *I Coloquio de Arqueología Experimental del Hierro y Paleosiderurgia, Kobie Serie Anejo Nº 13*, pp. 161-180.

BAYLE, M., DE VIVIÉS, P., MEMET, J. B., FOY, E., DILLMANN, P. y NEFF, D. (2015), “Corrosion Product Transformations in Alkaline Baths under Pressure and High Temperature: The Sub-Critical Stabilisation of Marine Iron Artefacts Stored under Atmospheric Conditions”, *Materials and Corrosion* 67, Nº 2, pp. 190-199.

BLAKELOCK, E., MARTINÓN-TORRES, M., VELDHUIJZEN H. A. y YOUNG, T. (2009), “Slag inclusions in iron objects and the quest for provenance: an experiment and a case study”, *Journal of Archaeological Science* 36, pp. 1745-1757.

CHARLTON, M. F., BLAKELOCK, E., MARTINÓN-TORRES, M. y YOUNG, T. (2012), “Investigating the production provenance of iron artifacts with multivariate methods”, *Journal of Archaeological Science* 39, pp. 2280-2293.

DILLMANN, P. y L'HÉRITIER, M. (2007), “Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes”, *Journal of Archaeological Science* 34, pp. 1810-1823.



FERNÁNDEZ CARVAJAL, J. A. (2007), “Ferrería-Molino de Bengolea (Munitibar-Arbatzegi-Gerrikaitz)”. Arkeoikuska 2006, Vitoria-Gazteiz: Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, pp. 407-410.

FERNÁNDEZ CARVAJAL, J. A., VARÓN HERNÁNDEZ, F. R. (2010), “Ferrería-Molino de Bengola”. Arkeoikuska 2009, Vitoria-Gazteiz: Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, pp. 291-297.

FERNÁNDEZ CARVAJAL, J. A. (2012), “Ferrería-Molino de Bengola”. Arkeoikuska 2011, Vitoria-Gazteiz: Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, p. 275.

FERNÁNDEZ CARVAJAL, J. A. (2016), “Ferrería-Molino de Urtubiaga”. Arkeoikuska 2015, Vitoria-Gazteiz: Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, p. 195.

GENER MORET, M. (2010), “Tecnología de la metalurgia del hierro”. En I. Montero Ruíz (Ed.), *Manual de arqueometalurgia*. Madrid: Museo Arqueológico Regional, pp. 189-232.

GENER MORET, M. (2014), “Una aproximación a la tecnología del hierro prehidráulico y a su estudio”. *I Coloquio de Arqueología Experimental del Hierro y Paleosiderurgia*, Kobie Serie Anejo, Nº 13. Bilbao: Diputación Foral de Bizkaia, pp. 5-12.

GRAFE, R. (2005), *Entre el mundo ibérico y el atlántico: comercio y especialización regional, 1550-1650*. Bilbao: Diputación Foral de Bizkaia.

HUMPHRIS, J., MARTINÓN-TORRES, M., REHREN, T. y REID, A. (2009), “Variability in single smelting episodes. A pilot study using iron slag from Uganda”, *Journal of Archaeological Science* 36, pp. 359–369.

KILLICK, D. y FENN, T. (2012), “Archaeometallurgy: The Study of Preindustrial Mining and Metallurgy”, *Annual Review of Anthropology* 41 (1), pp. 559–575.

NEFF, D., REGUER, S., y DILLMANN, P. (2013), “Analytical Techniques for the Study of Corrosion of Metallic Heritage Artefacts: from Micrometer to Nanometer Scales”, en P. Dillmann, D. Watkinson, E. Angelini, A. Adriaens (Eds.), *Corrosion and Conservation of Cultural Heritage Metallic Artefacts*, pp. 55–81.

MARTINÓN-TORRES, M. y REHREN, T. (2008), “Metallurgy in Europe”, en P. Crabtree (Ed.), *Encyclopedia of Society and Culture in the Medieval World*. New York: Facts on File, pp. 658-660.

MARTINÓN-TORRES, M. y KILLICK, D. (2015), “Archaeological Theories and Archaeological Sciences”, en A. Gardner, M. Lake y U, Sommer (Eds.), *The Oxford Handbook of Archaeological Theory* (en prensa). Oxford: Oxford University Press.

Gestión del paisaje. Patrimonio, territorio y ciudad
Paisaiaren kudeaketa. Ondarea, lurraldea eta hiria
Landscape management. Heritage, territory and city



ORUETA IRADI, E. (2017), *Arqueología tardomedieval: la producción del hierro vasco entre la Edad Media y la Edad Moderna (siglos XIV-XVI)*, Trabajo Fin de Grado realizado en la UPV-EHU (sin publicar).

PLEINER, R. (2000), *Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters*. Praga: Archeologický ústav AVČR.

TORRECILLA GORBEA, M^a. J. (2004), “Las Ferrerías del Cantábrico Oriental: perspectivas arqueológicas”. *Homenaje al Profesor Dr. Juan M^a. Apellániz. 30 años de Arqueología (1972-2002)*, Kobie Serie Anejo, N^o 13. Bilbao: Diputación Foral de Bizkaia, pp. 5-12.

TYLECOTE, R. F. (1987), *The early history of metallurgy in Europe*. Oxford: Longman, pp. 391.

URIARTE AYO, R (2003), “El hierro vasco y los mercados europeos y colonial durante el Antiguo Régimen”, *Itsas Memoria. Revista de Estudios Marítimos del País Vasco* 4, Donostia-San Sebastián: Untzi Museoa-Museo Naval, pp. 313-326.

VENERANDA, M.; COSTANTINI, I.; FDEZ-ORTIZ DE VALLEJUELO, S.; GARCIA, L.; GARCÍA, I.; CASTRO, K.; AZKARATE, A. Y MADARIAGA, J. M. (2016). “Study of corrosion in archaeological gilded irons by Raman imaging and a coupled scanning electron microscope–Raman system “, *Philosophical Transactions of the Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences* 374 (2082).

VENERANDA, M., ARAMENDIA, J., GOMEZ, O., FDEZ-ORTIZ DE VALLEJUELO, S., GARCIA, L., GARCIA-CAMINO, I., CASTRO, K., AZKARATE, A. y MADARIAGA, J. M. (2017), “Characterization of archaeometallurgical artefacts by means of portable Raman systems: Corrosion mechanisms influenced by marine aerosol”, *Journal of Raman Spectroscopy*, Vol. 48, pp. 258-266.



8. Anexo

Tabla 2. Mediana de datos obtenidos mediante el análisis de las inclusiones en cada muestra. Fuente: Elaboración propia

CLAVO	Al	Si	P	S	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Zn	Cu	As	Sn	Sb
B UE2 50	0,311	0,028	0,027	0,0053	0,174	0,016	0,0044	0,034	99,299	0	0,0149	0,0158	0,0361	0,0090
DAM	0,016	0,026	0,011	0,0036	0,031	0,016	0,0012	0,024	0,087	0	0,0043	0,0040	0,0099	0,0089
B UE206 193	0,328	0,031	0,037	0,0002	0,028	0,021	0,0023	0,034	99,28	0,392	0,0114	0,0077	0,036	0
DAM	0,040	0,031	0,010	0,0049	0,047	0,018	0,0018	0,036	0,23	0,014	0,0035	0,0049	0,014	0
B UE297 356	0,381	0,54	0,0457	0,043	0,123	0,090	0,0050	0,038	98,60	0,0003	0,00473	0,0141	0,0229	0,0062
DAM	0,057	0,14	0,0054	0,012	0,019	0,024	0,0011	0,020	0,23	0,0019	0,00030	0,0053	0,0077	0,0062
B UE381 43	0,439	0,029	0,0466	0,0193	0,231	0,0068	0,0029	0,063	98,80	0	0,044	0,0159	0,042	0,0089
DAM	0,082	0,017	0,0057	0,0070	0,030	0,0065	0,0013	0,034	0,31	0	0,013	0,0036	0,014	0,0089
B UE398 449	0,363	0,56	0,0137	0	0,257	0,171	0,0043	0,123	98,45	0,00363	0,0106	0,0175	0,032	0,0041
DAM	0,044	0,16	0,0042	0	0,066	0,082	0,0013	0,053	0,35	0,00017	0,0013	0,0027	0,011	0,0041
B UE407 628	0,56	0,27	0,017	0,014	0,178	0,045	0,0033	0,073	98,52	0	0,0099	0,0171	0,033	0,0042
DAM	0,21	0,20	0,013	0,014	0,083	0,044	0,0016	0,047	0,53	0	0,0032	0,0045	0,011	0,0042
B UE2000 1097	0,381	0,073	0,0242	0,0071	0,135	0,00091	0,0048	0,043	98,95	0	0,0150	0,0127	0,084	0,193
DAM	0,044	0,053	0,0040	0,0039	0,027	0,00091	0,0012	0,021	0,10	0	0,0034	0,0035	0,011	0,019
B UE2000 1098	0,49	0,14	0,0290	0,020	0,110	0	0,0061	0,104	98,49	0,0262	0,0136	0,0110	0,079	0,152
DAM	0,15	0,12	0,0094	0,014	0,075	0	0,0033	0,052	0,54	0,0083	0,0078	0,0035	0,020	0,019
B UE2000 1099	0,370	0,109	0,0113	0	0,056	0,0221	0,0038	0,047	99,22	0,0143	0,0207	0,0075	0,033	0,0016
DAM	0,045	0,053	0,0031	0	0,018	0,0090	0,0010	0,020	0,10	0,0030	0,0028	0,0044	0,011	0,0016
B UE2000 1100	0,337	0,51	0,029	0,0051	0,191	0,069	0,0029	0,125	98,82	0	0,0093	0,0144	0,031	0
DAM	0,054	0,37	0,012	0,0047	0,079	0,054	0,0010	0,049	0,40	0	0,0026	0,0064	0,022	0
U UE2000 58	0,307	0,67	0,0051	0	0,083	0,13	0,0057	0,095	98,48	0	0,0291	0,0159	0,029	0,0053
DAM	0,034	0,46	0,0051	0	0,045	0,10	0,0012	0,079	0,70	0	0,0073	0,0056	0,012	0,0053
U UE2000 59	0,53	0,44	0,0120	0,27	0,190	0,210	0,0071	0,174	97,53	0,0026	0,0066	0,0136	0,026	0,013
DAM	0,23	0,12	0,0051	0,22	0,042	0,055	0,0026	0,046	0,35	0,0012	0,0029	0,0042	0,014	0,011
U UE2000 60	0,313	0,137	0,0224	0,021	0,193	0,072	0,0051	0,102	98,98	0,00083	0,0197	0,0142	0,020	0,0022
DAM	0,065	0,096	0,0039	0,011	0,034	0,040	0,0013	0,079	0,25	0,00045	0,0035	0,0023	0,011	0,0022

Tabla 3. Ejemplo de transformación en mineral-óxido para metales no-carbonatados a partir de la muestra B UE2 50. Fuente: Elaboración propia.

Elemento	Óxido	Peso sobre 100 g	Peso atómico	Peso molecular	uncorrect Mol	uncorrect Grams	Correct %MeO
K	K ₂ O	0,174	39,098	94,196	0,004	0,210	0,163
Ca	CaO	0,016	40,078	56,077	0,000	0,022	0,017
Si	SiO ₂	0,028	28,086	60,084	0,001	0,059	0,046
Al	Al ₂ O ₃	0,311	26,982	101,961	0,012	0,588	0,456
Fe	FeO	99,299	55,845	71,844	1,778	127,748	99,120
Mn	MnO	0,034	54,938	70,937	0,001	0,044	0,034
S	SO ₃	0,005	32,065	80,063	0,000	0,013	0,010
P	P ₂ O ₅	0,027	30,974	141,945	0,001	0,061	0,047
Cr	Cr ₂ O ₃	0,004	51,996	151,990	0,000	0,006	0,005
Cu	CuO	0,015	63,546	79,545	0,000	0,019	0,014
Zn	ZnO	0,000	65,380	81,379	0,000	0,000	0,000
As	As	0,016	74,922	229,840	0,000	0,048	0,038
Sb	Sb ₂ O ₃	0,009	121,760	291,518	0,000	0,022	0,017
Sn	SnO	0,036	118,710	134,700	0,000	0,041	0,032
		99,975				128,882	100,000



Tabla 4. Correlaciones entre los elementos de todas las muestras analizadas. Fuente: Elaboración propia

	Al	Si	P	S	K	Ca	Cr
Al	1.000	-0.109	-6.361e-03	0.416	0.432	0.345	0.255
Si	-0.109	1.000	-0.311	0.312	-0.109	0.478	0.337
P	-6.361e-03	-0.311	1.000	-0.240	0.216	-0.301	-0.420
S	0.416	0.312	-0.240	1.000	0.216	0.596	0.588
K	0.432	-0.109	0.216	0.216	1.000	0.345	0.104
Ca	0.345	0.478	-0.301	0.596	0.345	1.000	0.544
Cr	0.255	0.337	-0.420	0.588	0.104	0.544	1.000
Mn	0.456	0.365	-0.360	0.612	0.471	0.731	0.539
Fe	-0.609	-0.566	0.290	-0.817	-0.281	-0.662	-0.670
Zn	-0.235	-0.277	0.253	-0.131	-0.577	-0.214	-0.463
Cu	-0.223	-0.195	5.097e-02	-0.282	8.757e-02	-0.312	-0.219
As	0.442	-0.129	0.116	-9.299e-02	0.637	0.562	0.134
Sn	0.128	-0.359	8.644e-02	-0.189	-0.177	-0.558	0.102
Sb	0.134	-0.242	1.118e-02	-7.203e-02	-0.134	-0.389	0.307

	Mn	Fe	Zn	Cu	As	Sn	Sb
Al	0.456	-0.609	-0.235	-0.223	0.442	0.128	0.134
Si	0.365	-0.566	-0.277	-0.195	-0.129	-0.359	-0.242
P	-0.360	0.290	0.253	5.097e-02	0.116	8.644e-02	1.118e-02
S	0.612	-0.817	-0.131	-0.282	-9.299e-02	-0.189	-7.203e-02
K	0.471	-0.281	-0.577	8.757e-02	0.637	-0.177	-0.134
Ca	0.731	-0.662	-0.214	-0.312	0.562	-0.558	-0.389
Cr	0.539	-0.670	-0.463	-0.219	0.134	0.102	0.307
Mn	1.000	-0.745	-0.318	-0.187	-0.203	-9.385e-02	
Fe	-0.745	1.000	0.341	0.208	-0.109	8.263e-02	
Zn	-0.318	0.341	1.000	-0.136	-0.293	-8.729e-03	
Cu	-0.187	0.208	-0.136	1.000	-8.679e-02	7.804e-02	
As	0.347	-0.109	-0.293	-8.679e-02	1.000	-0.221	
Sn	-0.203	8.263e-02	-8.729e-03	7.804e-02	-0.221	1.000	
Sb	-9.385e-02	-3.732e-02	-0.117	-6.785e-02	-0.166	0.954	

Tabla 5. Tabla de datos utilizados a partir de los óxidos para realizar los ratios de correlación propuestos en el estudio. Fuente: Elaboración propia.

%MeO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃ +K ₂ O/FeO
B UE2 50	0,456	0,046	0,163	0,017	0,027	0,006
B UE206 193	0,480	0,051	0,026	0,023	0,037	0,005
B UE297 356	0,556	0,898	0,115	0,098	0,046	0,007
B UE381 43	0,645	0,049	0,216	0,007	0,047	0,009
B UE398 449	0,535	0,023	0,242	0,186	0,014	0,008
B UE407 628	0,817	0,442	0,166	0,049	0,017	0,010
B UE2000 1097	0,558	0,122	0,126	0,001	0,024	0,007
B UE2000 1098	0,717	0,233	0,103	0,000	0,029	0,008
B UE2000 1099	0,542	0,181	0,053	0,024	0,011	0,006
B UE2000 1100	0,491	0,838	0,178	0,075	0,029	0,007
U UE2000 58	0,449	1,114	0,077	0,137	0,005	0,005
U UE2000 59	0,777	0,735	0,177	0,228	0,012	0,010
U UE2000 60	0,459	0,227	0,180	0,078	0,022	0,006



Resumen

El hierro fue uno de los principales ejes económicos de Bizkaia, el cual permitió su gradual desarrollo como la gran productora y exportadora internacional de dicho recurso. A pesar de esta importancia, el conocimiento alrededor de las ferrerías hidráulicas, principal modelo productivo preindustrial a lo largo de la Edad Moderna en la región, es parcial e irregular. Se cuenta con un amplio conocimiento patrimonial y fuentes históricas que llevan varias décadas constituyendo parte importante de la investigación, pero son muchas las problemáticas que siguen rodeando actualmente a esta cuestión y no reciben una respuesta adecuada por los medios tradicionales.

El estudio arqueométrico del hierro hidráulico de Bizkaia entre los siglos XIV y XVIII, cuando vivió su primer auge, es necesario para comprender el proceso histórico que nos es desconocido desde varias perspectivas. En el presente trabajo se buscan nuevos datos para secuenciar los materiales arqueológicos de hierro mediante la aportación de la arqueometría. En este sentido, el uso de técnicas espectroscópicas puede ayudar a dar respuesta a muchas de las incógnitas que actualmente existen alrededor de la producción de hierro en toda la región mediante su caracterización. Por ello, se aplicó este método a los materiales, concretamente clavos obtenidos de dos yacimientos arqueológicos de Bizkaia, y se procesaron los datos para obtener una serie de conclusiones.

