



ESTUDIO TEÓRICO-ARQUEOMÉTRICO SOBRE ESCORIAS DE HIERRO DE LA VILLA ROMANA DE *OS ESCOUREDOS* (CASTRO DE REI, LUGO)

Victor Morcillo, Departamento de Prehistoria y Arqueología y Servicio Interdepartamental de Investigación (SIdI)–Universidad Autónoma de Madrid

El estudio presentado analiza escorias férreas procedentes de las excavaciones arqueológicas en la villa romana de *Os Escouredos* durante el verano de 2020. Para ello, tras un breve análisis contextual del yacimiento y una revisión historiográfica desde el punto de vista teórico, se desarrolla el estudio analítico en sí sobre las escorias recuperadas (MEB-EDX y DRX) que determina cuestiones tipológicas y de la cadena operativa de producción. En su conjunto, todo ello aporta información a tener en cuenta para la estrategia de trabajo en futuras excavaciones del yacimiento y permite adquirir datos necesarios sobre el material.

1. Introducción

Las escorias son materiales habitualmente poco valorados, tanto en la época en que se produjeron, como posteriormente por los arqueólogos que las hallaron. Tradicionalmente se consideran como un material de desecho que en ocasiones ni se incluyen en el registro arqueológico. Sin embargo, como se intentará mostrar más adelante, tienen un gran valor arqueológico. A pesar de esta escasa apreciación, como sucede en otros materiales, su uso interpretativo está siendo cada vez más recurrente en una investigación arqueológica que concibe la disciplina a través de una nueva retórica. De

esta manera, la arqueología hoy es capaz de recuperar información sobre la materia prima utilizada, su procedencia, proceso de trabajo, abundancia y otros datos relacionados con la cadena operativa.

Aunque las escorias de hierro son el desecho de un proceso productivo, su presencia en determinados yacimientos evidencia la materialización consciente de una práctica cotidiana centrada en la creación de herramientas y objetos de hierro que, al menos en la Península Ibérica, data del primer milenio a.C. Desde hace unas décadas, algunos autores han podido encontrar respuestas a problemáticas complejas de visualizar sobre el terreno arqueológico, como por ejemplo las ya planteadas por Erik Tholander (1989):

¿Qué clase de actividad se ha llevado a término? (reducción, post-reducción, forja, afino). ¿Qué tipo de horno se ha empleado? (de taza, de cubo, horno alto). ¿Qué clase de material se ha producido? (hierro, cobre, plomo). ¿Qué cantidad de producción se ha realizado? (rendimiento del proceso) (Simón et al., 1997, p. 221).

Además de estas cuestiones, en este estudio se ha intentado buscar otro tipo de preguntas vinculadas al interés por comprender determinados aspectos de la cadena de producción y valorar cuál podría ser su interrelación con el entorno.

2. El yacimiento romano de Castro de Rei (Lugo)

Desde 1998 se tenía conocimiento de la existencia de una posible *villa* romana en la localización de *Os Escouredos*, que abarcaba varias zonas agrícolas en la parroquia de Coea, perteneciente al municipio de Castro de Rei (Lugo, Galicia) (Lestón, 2020). En julio de 2019 se realizaron dos sondeos¹ de 1 m² y con una profundidad máxima de 90 cm con resultados positivos en cuanto a estructuras y materiales arqueológicos. A partir de los elementos hallados, se pudo asociar la cronología del espacio arqueológico a un asentamiento de época romana (entre los siglos III–IV d.C.). Tras diversas prospecciones geofísicas que auguraban la presencia de estructuras, en el verano de 2020 se llevó a cabo una actuación arqueológica dirigida por Manuel Lestón, que permitió localizar una posible villa romana de grandes dimensiones en el lugar de *Os Escouredos*. A parte del estudio geofísico, durante esa campaña de 2020 motivada por la construcción de diversas bases para el tendido eléctrico que iba a cruzar la zona, se realizó una pequeña excavación en área de 40 m² que permitió valorar los posibles riesgos patrimoniales derivados de dicha instalación moderna (Lestón, 2020, pp. 16-17).



Fig. 1. Localización geográfica de la *villa* romana de *Os Escouredos*.
Autoría: Pablo Sánchez de Oro.



Fig. 2. Ortofoto desde vista cenital del espacio excavado en 2020 donde se pueden apreciar algunas estructuras y el lugar donde se encontraron las escorias. 22/07/20. (Lestón, 2020, p. 10).

Además de estructuras murarias de compleja interpretación y clara adscripción romana, en el registro arqueológico destaca la abundante presencia de escorias entre los materiales encontrados (Lestón, 2020, pp. 16-17). En los distintos espacios identificados dentro del sondeo, destacó la aparición de un posible horno u hogar construido sobre un suelo con alta presencia de material escoriificante. Dada la naturaleza constructiva apreciada en los estudios geofísicos de la zona, así como por las estructuras halladas en los sondeos, se considera plausible que estemos ante una *villae* o complejo similar donde se pudieron haber desarrollado actividades siderúrgicas. De hecho, la prospección mediante georradar permitió identificar espacios cercanos con una alta presencia de hornos o elementos escoriificantes que denotarían aún más la clara relación de la *villa* con dicha producción.

¹ Realizados por la empresa arqueológica Arkaios S. L., por encargo de Naturgy Renovables S.L.U. (Lestón, 2020).



Fig. 3. Imágenes del sondeo geofísico sobre el yacimiento que muestra posibles estructuras de horno o escorias relacionadas con los objetos de estudio. (Lestón, 2020, p. 31).

3. Las escorias como objeto de especial interés para comprender la metalurgia en la antigüedad

El hierro (Fe) es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (segundo si solo contamos los metales). Las escorias o “desechos de metalurgia” (Mahé-Le Carliera *et al.*, 1999 [1], p. 59) aparecen como resultado del procesado de metales como el hierro, por lo que son un indicativo de que se llevó a cabo una actividad metalúrgica en el lugar o en sus proximidades. La presencia de escorias permite inicialmente reconocer que nos encontramos en alguno de estos entornos productivos y, dependiendo de su tipología, puede aclarar cuál de las etapas representa. Entre los diferentes ámbitos a los que se puede asociar, nos encontramos los hornos, escoriales, zonas mineras, forjas o dependencias auxiliares (Urteaga, 2016, p. 109).

3.1. Historia de las escorias de hierro

De acuerdo con los diferentes hallazgos arqueológicos y nuevos estudios, cada vez se va retrasando más la fecha en la que se ha identificado el inicio del empleo del hierro como material a procesar. El descubrimiento del hierro metálico permitió la lenta y progresiva sustitución del que había sido el metal por antimonio hasta entonces, el bronce (aleación de cobre y estaño mucho más dúctil, pero también más blanda), por un mineral más accesible y funcional. Las primeras cons-

tataciones de este metal responden a la realización de útiles o herramientas cuyo metal se obtuvo de forma natural y puntual con hierro meteórico o mediante una fundición de cobre errada e involuntaria (Montero, 2010, p. 212)

En lo referente al proceso tecnológico de obtención del hierro metálico, todos los autores han coincidido siempre en que el origen se enmarca en el Próximo y Medio Oriente. Sin embargo, en cuanto a la fecha de su inicio hay una menor sintonía proponiendo años aproximados como el 4000 a. C. (Mahé-Le Carliera *et al.*, 1999 [1], p. 60) o posteriores si se trata de publicaciones más antiguas. Sin embargo, hallazgos recientes nos indican que en realidad esto ocurre en torno al año 5000 a. C. en determinadas sociedades, sin que se trate de un fenómeno global ni fuertemente extendido (Montero, 2010, p. 212).

Mucho tiempo después, en torno al 1400/1300 a. C. observamos la entrada de dicho material en el continente europeo a través de lugares como Anatolia o Grecia (Urteaga, 2016, p. 85). Así, este conocimiento se extiende desde el extremo oriental hacia el norte y, hacia occidente, por las costas del Mediterráneo y las rutas del interior coincidiendo con la extensión del proceso de comercialización. Las primeras evidencias en la Península Ibérica las tenemos representadas de forma clara con la existencia de hornos bajos de tobera en enclaves iberos y fenicios (Urteaga, 2016, p. 86). Son precisamente estos últimos los que posiblemente introdujeron el hierro hasta este lugar y no un supuesto grupo de pueblos de origen centroeuropeo a través de los Pirineos tal y como demuestra un estudio sobre hornos de pequeño tamaño prerromanos y su relación con la escoria (sin sangrado) de composición irregular (Gómez, 1996, p. 146). En este periodo, los hornos donde se producía el hierro tenían una menor vida útil puesto que la escoria que se depositaba en el interior no se retiraba y llegaba un momento en el que la estructura colmataba impidiendo su utilización, haciendo necesario la construcción de un nuevo horno (Urteaga, 2016, p. 79).

Se sabe que el proceso de minería previo a la metalurgia en época ibérica debió hacerse en el mismo lugar de obtención del mineral, o al menos en sus proximidades. Más tarde, en época romana, con la mayor expansión comercial y la homogeneización en uso de los metales, la siderurgia se organizó mayoritariamente en torno a los centros económicos del mundo rural

asociados fundamentalmente a *villae*, pequeños aglomerados o aldeas que tenían el tratamiento del metal como actividad complementaria a la agricultura (Simón *et al.*, 1997, p. 225). Con la llegada de la cultura romana al ámbito peninsular el uso de hornos bajos quedó estandarizado, así como el posterior proceso de forja para crear objetos que más tarde se ubicó en las ciudades. Sin embargo, si comparamos la Península Ibérica con el panorama internacional, podemos destacar que en el territorio peninsular no se han encontrado extensas explotaciones siderúrgicas (representadas por grandes *escoriales*) de la magnitud de algunos yacimientos etruscos y romanos de la Península Itálica durante la época prerromana y romana (Gómez, 1996, p. 153).

Más tarde, durante la tardoantigüedad, el proceso operativo del hierro parece concentrarse en los complejos económicos-artesanales conocidos como *vici* junto con otros tipos de producción derivados de los hornos (Simón *et al.*, 1997, p. 225). Desde este momento, y hasta bien entrada la Edad Media, el proceso técnico de creación no variaría mucho por el tipo de horno que se utilizaba en la etapa de purificación del metal, por lo que se mantendría la misma calidad del preparado metálico durante siglos hasta que se crean hornos capaces de alcanzar temperaturas que permitirían la fundición del hierro. La existencia de estas estructuras de fundición no llega a todos los lugares por igual. En los siglos XIII y XIV se desarrollan en Suecia y Alemania los primeros altos hornos que permiten un mayor control de la temperatura y más capacidad térmica. En Francia no llega a generalizarse hasta finales del siglo XVI, y en España no lo haría hasta su uso en lugares como la Real Fábrica de Artillería de la Cavada, en Cantabria (siglos XVII al XIX), o ya de forma más extendida con la industria catalana en el siglo XIX (Mahé-Le Carlier *et al.*, 1999 [1], p. 60). Por lo tanto, la presencia milenaria de los hornos bajos (con sus tres modelos de apertura, cúpula y chimenea) (Urteaga, 2016, p. 79), ha sido una constante durante mucho tiempo y el único modelo existente en época romana, periodo que nos interesa especialmente en relación con los procesados del hierro y la consecuente aparición de las escorias.

3.2. Características generales y proceso de producción

El hierro prácticamente nunca se encuentra en estado metálico nativo y hace falta obtenerlo a partir de otros materiales que tienen hierro en forma mineral. Para ello, hace falta transformar el mineral a altas temperaturas (técnica denominada reducción), para deshacerse de los elementos no deseados. Estas acciones están representadas por los trabajos de purificación y forja que consiguen la conversión elemental del hierro a estado metálico. Ejemplos de estos materiales son óxidos y carbonatos de hierro como la magnetita ($\text{Fe}^2+\text{Fe}^3+_2\text{O}_4$, óxido ferroso-diférrico), la hematites (Fe_2O_3 , óxido férrico), la goethita ($\text{Fe}^3+\text{O}(\text{OH})$, hidróxido de hierro) y la siderita (FeCO_3 , carbonato de hierro) (Urteaga, 2016, p. 78).

Una vez encontrado un recurso mineral que reúna las características necesarias para obtener hierro, el primer procesado es una separación instrumental sin calentar entre la mena (porción útil que se quiere extraer) y la ganga asociada a ella (elemento retirado sin apenas o ninguna presencia de metal). La ganga es la parte estéril del material trabajado que no sirve y que está formada por todos los otros minerales que no forman parte de los compuestos con óxido y mena de hierro. Su presencia dentro del horno (por no haberse eliminado satisfactoriamente), puede afectar mucho a las temperaturas que se pueden alcanzar, por lo que hay que ir deshaciéndose de ella desde un primer momento. Esta primera fase de purificación del mineral y la posterior fase de reducción, se harían por lo general en el lugar donde estos minerales se encontrasen o en sus inmediaciones rurales, tanto para ahorrar tiempo y esfuerzo en transportar el pesado mineral, como por la necesidad de acceso a gran cantidad de carbón vegetal para los hornos. Las fases siguientes de trabajo con hierro, como la forja y la creación de útiles, debieron realizarse ya más cerca de áreas de población urbana para atender a su demanda de consumo (Simón *et al.*, 1997, p. 225). Estas conclusiones suponen una división de los lugares de trabajo dentro de la cadena operativa que conlleva un determinado esfuerzo organizativo e incluso la creación de diferentes concepciones sociales respecto de cada tarea.

La fase de reducción

Una vez eliminada la ganga y las principales impurezas, comienza el proceso siderúrgico de la obtención del hierro. Las escorias producidas en esta fase previa al lingote o creación de la pieza varían mucho en cuanto a composición y características, ya que dependen de la naturaleza mineral que tenían, la estructura del horno donde se hacían y el combustible utilizado. Todas estas características afectan en gran medida a la temperatura y a la atmósfera que pueden alcanzar los materiales, y por lo tanto a la presión a la que el monóxido de carbono se ve sometido a la hora de provocar la conversión metálica (Simón *et al.*, 1997, p. 222).

Como ya se ha apuntado con anterioridad, la morfología y la tipología de los hornos no variaron mucho durante siglos. En términos generales, consistía en una estructura construida en el suelo que permitía concentrar el calor en un compartimento cerrado con unas aperturas llamadas toberas que facilitaban la circulación del aire (oxígeno) impulsado en ocasiones por fuelles que ayudaban a alcanzar temperaturas superiores a los 1.500°C (Monter, 2010, p. 216; Portillo *et al.*, 2016, p. 115). Al ser un compartimento prácticamente cerrado, aparte de conservar la temperatura, la atmósfera reductora ayudaba a que se produjese el proceso donde los distintos materiales alteraban su composición elemental. En el caso del hierro, se pretendía llegar a una desconexión elemental entre el hierro y el resto de los materiales sobrantes conocidos como escorias. Dentro de este proceso, el uso del carbón vegetal es muy importante porque aporta carbono (C) y consume el oxígeno (O) en lo que se conoce como atmósfera reductora.

Las altas temperaturas a las que se debe someter la metalurgia del hierro lo convierten en un material más complejo que otros metales o aleaciones como el cobre o el bronce. Por ejemplo, estos últimos son depositados sin más en el suelo del horno mientras que el hierro necesita situarse concretamente cerca de las toberas donde hay un mayor flujo de actividad térmica (Gómez, 1996, p. 152). Es necesario un mecanismo de regulación muy concreto donde se llegue a una temperatura en la que el hierro no se transforme en estado líquido, pero si lo hagan los elementos a su alrededor. Cuando esto se consigue, los elementos sobrantes (futuras escorias), se separan y se precipitan al fondo del horno mientras que la lupina o núcleo permanece en su lugar. Dicho de otro modo, según Eric Tholanader

(Simón *et al.*, 1997, p. 222), lo que se consigue con la reducción es romper la estructura de los átomos de oxígeno con el hierro para provocar que todos los elementos que no sean el material buscado, salgan y se separen a través de las fisuras del objeto dividiendo así la escoria de la esponja de hierro. El componente principal de las escorias separadas suele ser la fayalita ($\text{Fe}^{2+}_2\text{SiO}_4$) con sus diferentes variantes según los elementos añadidos, aunque existen otros casos. En este momento, las escorias pueden tener una composición de óxido de hierro que supere, en ocasiones, el 90% de su composición debido a una mala reacción (Gómez *et al.*, 2001, p. 512).

Dependiendo de los autores que han estudiado el proceso vemos como, aunque siempre dentro de un mismo rango, se hace referencia a una temperatura u otra para llegar a este primer proceso de reducción. A unos 500°C se produce la combustión de la materia orgánica, que entre los 600°C y los 700°C inicia la calcinación o descomposición de los carbonatos con la aparición del monóxido de carbono (CO). La eliminación total de los elementos sobrantes se consigue a partir de los +/- 900°C, coincidiendo todos los autores (a pesar de ligeras diferencias en los grados) en que la fusión del material escorificante es entre 1.100°C y 1.200°C (Gómez, 1996, p. 146; Montero, 2010, p. 198; Ros-Latienda *et al.*, 2013, p. 440 y Urteaga, 2016, p. 79). Una posible forma de saber la temperatura de los hornos a la que estuvo expuesta la escoria, y por lo tanto reconocer si se trata de un horno antiguo o moderno, es la existencia de granos de sílice o de cuarzo. Su presencia puede indicar que se han alcanzado los grados centígrados suficientes para la escorificación sin llegar a superar los 1.700°C, ya que estos se hubieran fundido o vidriado (Ros-Latienda *et al.*, 2013, p. 440).

Por último, hace falta señalar que esta parte de la obtención del hierro necesita en la mayoría de los casos una repetición múltiple del gesto hasta conseguir que el material expulse el mayor número de elementos indeseados. Si encontramos una escoria con mucho hierro significa que esta no ha sido bien procesada ya que no ha conseguido la desconexión de los distintos elementos, o que el horno no ha sido capaz de alcanzar la temperatura adecuada para ello (Ros-Latienda *et al.*, 2013, p. 440). Estos casos pueden ser también muy útiles para comprender la masa de hierro que se pudo obtener, algo fundamental para conocer, por ejemplo, las dimensiones de producción (Simón *et al.*, 1997, p. 222).

La forja para purificar el hierro

Una vez que se ha conseguido una esponja lo más pura posible después de haber sido sometida a varias atmósferas reductoras, se intenta limpiar el metal al máximo para la realización de lingotes u objetos (Portillo *et al.*, 2016, p. 118). En este momento se reúnen dos características distintas, en las que, por una parte, no es necesario alcanzar temperaturas tan altas como las anteriores, siendo suficiente con exponerlas a unos 900°C (Urteaga, 2016, p. 81). Por otro lado, es necesaria la introducción del martilleo y recalentamiento continuado para que se desprendan las mencionadas concreciones que continúan emergiendo (Ros-Latien-da *et al.*, 2013, p. 441). Para ayudar en este proceso, en ocasiones hace falta que durante este forjado se añadan sobre la pieza arcillas o arena sobre la película de oxidación que queremos quitar. Cuando dichos fragmentos de arenas o arcillas caen dentro del horno, estas pueden alcanzar un estado de semi fundición y depositarse en el fondo en forma de casquete o gota, entremezclándose con escorias de reducción del proceso anterior (si es que por algún casual se ha usado el mismo horno en lugar de cambiar de espacio) (Simón *et al.*, 1997, p. 220). La escoria laminar o de batido que aparece en esta etapa del proceso presenta algunas diferencias respecto a la anterior, ya que tiene una forma más pequeña y laminar que incluso la hace difícil de encontrar dentro del registro arqueológico (Simón *et al.*, 1997, pp. 119-120).

Una vez conseguida una limpieza casi total del metal, queda una lupia unida o fragmentada lista para ser trabajada en la misma forja para crear el objeto (Montero, 2010, p. 116). Puesto que en época romana no se logró fundir el hierro (los hornos de este periodo no superarían nunca los 1.500 °C), todo el trabajo de la etapa final del hierro se haría mediante la manipulación plástica de golpeo en caliente y no en estado líquido sobre molde como se consiguió con los altos hornos siglos después.

3.3. Clasificación tipológica

Al igual que pasa con algunas cuestiones en torno a la cronología o la temperatura a partir de la cual se produce el proceso de escorificación, la clasificación de estos objetos varía mucho dependiendo del autor. Un hecho importante a tener en cuenta para la identifica-

ción de estos materiales es el contexto arqueológico, puesto que es fundamental precisar la caracterización espacial y estratigráfica que vincule las piezas con su entorno. Al mismo tiempo, se deben excavar con delicadeza, ya que, a pesar de su robustez y aspecto tosco, son comúnmente piezas que se dañan y fragmentan, hecho que luego causa problemas de clasificación. Del mismo modo, es importante guardarlas en ambientes adecuados libres de humedad para evitar graves daños por la oxidación.

Lo cierto es que, a día de hoy, aunque se intenten dar unas características generales sobre estas escorias, no existe un método estricto ni una identificación desde el punto de vista macroscópico o microscópico. Uno de los principales problemas es que, en raras ocasiones, se forman escorias de una determinada fisionomía que se asocian a las obtenidas en otra parte del proceso. A parte de la identificación basada en la experiencia, se pueden hacer otros estudios químico-elementales y mineralógicos que den otros argumentos para certificar la posible tipología. Sin embargo, ni sumando todos ellos podremos tener siempre unos resultados claros. A continuación, y teniendo en cuenta la bibliografía consultada, se intentará establecer una división que junte todos los tipos de escoria de hierro para luego identificar los que son objeto de estudio, pero también se mencionarán otros tipos de clasificación que pueden ser de interés para su reconocimiento.

Desde un punto de vista macroscópico, se conocen dos niveles principales de clasificación. Por un lado, tenemos una visión amplia del conjunto de las escorias, divididas entre las que se separan por un proceso metalúrgico de hierro (escoria férrea), y las procedentes de metalurgia con otros metales como por ejemplo el bronce (Gómez *et al.*, 2001, p. 508; Portillo *et al.*, 2016, p. 115; Mahé-Le Carliera *et al.*, 1999 [2], p. 181; Montero, 2010, p. 104). Teniendo en cuenta este hecho, podemos comprobar la importancia que se les da a aquellas que provienen de un material como el que aquí se trabaja. Por otro lado, encontramos una clasificación más concreta dentro del grupo de las férreas, que dispone de un mayor consenso:

Escorias de purificación: cuando se hace el primer proceso de fundición, queda una “esponja” de hierro pendiente aún de que se le retiren elementos impuros como carbones u otras incrustaciones. Como característica principal, se obtienen, mediante horno bajo, escorias en forma de torta o casquete (Simón *et al.*, 1997, p. 218).

Escoria de reducción o colada: tipo de escoria más común representada en el registro arqueológico. Se crea con temperaturas de entre 1.100-1.200°C necesarias para fundir la escoria y separarla del hierro. El color y los tonos de la misma dependen mucho de la mena del mineral de la que proceda y de los elementos que se añadan para controlar la temperatura. La forma cambia teniendo en cuenta si se ha enfriado dentro del horno o fuera. La parte inferior suele ser irregular y puede tener algún elemento del suelo adherido antes de enfriarse que se conocen como inclusiones escarceas. Si la escoria se quedó en el interior de la estructura del horno presentará una superficie muy porosa y posiblemente podrá tener adherido carbón. Del mismo modo podrán tener en su estructura elemental material de las paredes del horno y mucho contenido en hierro (Ros-Latienda *et al.*, 2013, p. 446) ya que aún tendría que realizarse una última fase de purificación.

Escorias de forja, laminares de batidura, globulares de post-reducción o de refino: obtenida durante la última fase de preparación, esta recibe diferentes nombres. Se hace generalmente en otro espacio de trabajo conocido como forja, a donde llega el material previamente tratado y con una cantidad menor de elementos que retirar. En ella se calienta el material y se martillea, pero al encontrarse la escoria ya muy reducida, lo sobrante presenta un tamaño reducido con forma circular. Normalmente las encontramos sin ningún tipo de fragmentación y con un color oscuro mate. Pueden tener alguna huella o marca del elemento con el que se le golpeó durante el trabajo del herrero. Los materiales que se pueden vincular a esta escoria de forja son el carbón vegetal, la presencia de hierro metálico así como restos de la composición de las paredes del horno y decapante (como arcillas y arenas).

A pesar de esta clara y aparentemente más consensuada forma de clasificación, existen otras que pueden ser igualmente válidas. Por ejemplo, también se hace una división de las escorias teniendo en cuenta el lugar donde se han enfriado, ya que las distintas condiciones le otorgan una morfología diferenciable. Por un lado,

tenemos las escorias de sangrado (Gómez *et al.*, 2001, p. 147), también llamadas de “laitier” o de reducción con superficie vítrea (Mahé-Le Carliera *et al.*, 1999 [2], p. 118) que se han enfriado en el exterior del horno y dejan ver una impronta de correntías del fundido (puesto que han reducido su temperatura muy rápidamente). Por otro lado, nos encontramos ante las escorias de fondo de horno que se producen porque no se retiraron al separarse del núcleo metálico y se enfriaron en el interior del horno adquiriendo una forma más lisa. Por otro lado, una clasificación diferente sería la que tiene en cuenta el horno donde se ha realizado (Mahé-Le Carliera *et al.*, 1999 [1], p. 61), pero esta solo es válida si se quiere distinguir entre escorias de distinto periodo. Por último, tenemos el modelo propuesto por Hans-Gert Bachman en 1982 para clasificar todos los tipos según su composición elemental (Montero, 2010, p. 103). Primero, establecía un grupo amplio donde se dividen las escorias naturales (procedentes de material geológico), las escorias domésticas o de niveles de destrucción (sometidas a la acción de fuego), las escorias no metalúrgicas (derivadas de las cerámicas, cal, vidrios, etc.) y las escorias metálicas que a nosotros nos interesan. Estas últimas son las más densas y tienen un color negruzco o gris oscuro con inclusiones metálicas ocasionales. A su vez, ellas son subdivididas en ferrosas y no ferrosas.

4. Análisis de las escorias de *Os Escouredos*.

En el caso concreto de las escorias recuperadas del yacimiento de *Os Escouredos*, se han llevado a cabo una serie de técnicas analíticas que pueden ayudarnos a comprender el proceso productivo del que derivan las piezas objeto de estudio. El primer paso tras la exhumación de los materiales en la excavación, se centró en el análisis morfológico externo según la textura, tamaño y peso de cada una de las piezas. Paralelamente a este proceso de registro e identificación, se tomaron varias muestras de las distintas escorias (n=3) con el fin de analizarlas mediante técnicas de microscopia electrónica de barrido (MEB-EDX) y difracción de rayos X (DRX) para obtener la mayor información posible de los objetos.

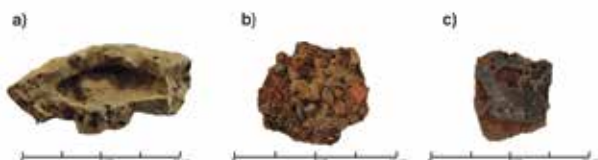


Fig. 4.-a) Fotografía de detalle de la escoria "Escombrera nº 1" donde se observa su ligera oquedad. b) Fotografía general de la pieza "Escombrera nº 1" donde se puede ver el lado más irregular de la misma. c) Fotografía general de la pieza "Escombrera nº 2" donde se observa un lado de fragmentación. Autoría: Víctor Morcillo (10/12/20).

El análisis macroscópico a través de la morfología y el análisis composicional (DRX, EDX) y microscópico (SEM) de las escorias han llevado a interpretar la muestra de estudio de la siguiente manera:

"Sondeo *in situ*, nº 1": fragmento de material localizado *in situ*, dentro de la cuadrícula principal del sondeo (1). Es la pieza de mayor medida tanto en tamaño (8,3 x 11,25 cm de largo y ancho) como en peso (341,9 g). Su morfología relativamente plana es bastante irregular en cuanto a su grosor y forma. Como una de sus características principales, cabe destacar que dispone de una oquedad no muy profunda en uno de sus lados (fig. 4a). Está recubierta toda ella por una gran capa de óxido de hierro de color anaranjado que esconde el verdadero tono oscuro de la pieza y que determina sus niveles de corrosión. Dados los indicios existentes, parece posible catalogar esta escoria como una torta de reducción derivada de los primeros procesos de purificación para la extracción de hierro. Para corroborar esa hipótesis, se llevó a cabo su análisis con técnicas MEB y EDS. Gracias a las cuales, se ha identificado la presencia de un grano de cuarzo, que puede confirmar que las temperaturas alcanzadas cuando se creó la escoria no fueron excesivamente altas y corresponden a un horno característico de la Antigüedad.

"Escombrera nº 1": en este caso, nos encontramos con un material recogido en la escombrera del yacimiento con un color gris muy oscuro en su interior y cubierta en su borde exterior por una polvorienta capa de color naranja como consecuencia del óxido (fig. 4b). Sus dimensiones adquieren un tamaño ligeramente más regular en sus límites perimetrales (5,9 x 6,3 cm de largo y ancho) con un peso de 112,3 g. Sin embargo, en lo que se refiere a su estructura y grosor, presenta

diferencias notables en sí misma dado que una de sus caras tiene un perfil semi liso más regular, mientras que en la otra la topografía de la pieza es variable. Vistas todas estas observaciones, tanto internas como externas, se concluye que igualmente se trata de una escoria de reducción a pesar de que aparentemente su morfología indique que es distinta que la anterior.

"Escombrera nº 2": a pesar de ser la escoria de menor tamaño (5,6 x 5,4 cm), dispone de un peso muy elevado (161.1 g) que denota una gran densidad. A este hecho habría que sumarle la gran presencia de óxidos (fig. 4c) que pueden señalar una alta presencia de hierro y nuevamente su vinculación con un proceso productivo de reducción. Su característica general es que, a pesar de su textura lisa y coloración coincidente con las anteriores, existen unas marcas tafonómicas sobre la misma que indican una antigua fragmentación.

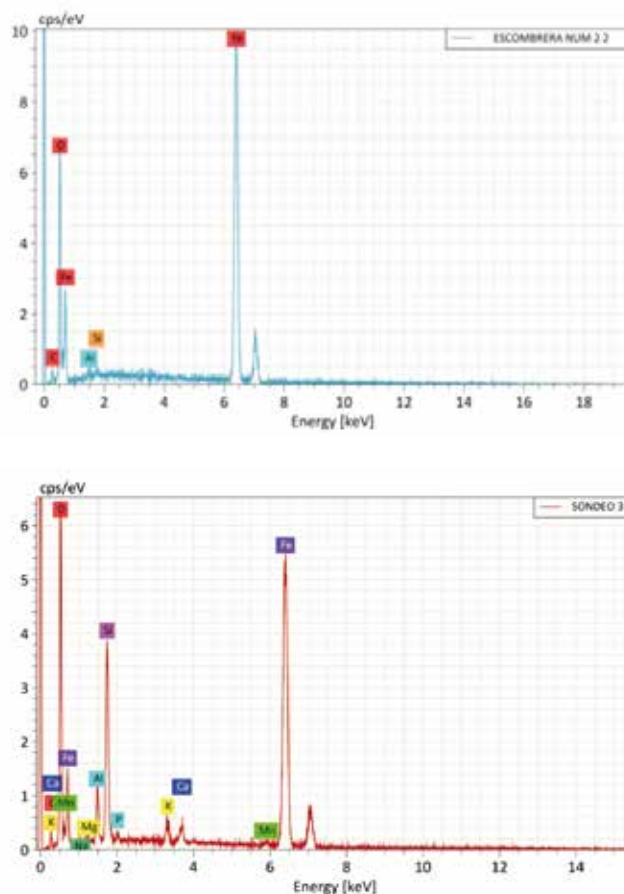
4.1. Análisis microscópico y elemental aplicado

Microscopia electrónica de barrido o *Scanning Electron Microscopy* (MEB o SEM) y espectroscopia de energías dispersivas de rayos X o *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDX o EDS): las dos técnicas utilizadas en este trabajo se enmarcan dentro del mismo apartado puesto que se realizan con el mismo equipo y dependen una de la otra. La combinación de ambas técnicas nos permite analizar la textura y composición de la muestra, tanto de forma general como en puntos, zonas y áreas concretas de la misma. En lo que se refiere al análisis MEB nos facilita la observación a grandes aumentos a través de una microscopia digitalmente detallada, permitiéndonos comparar textura y elementos presentes en los espacios seleccionados. Por otra parte, los análisis elementales realizados mediante EDX nos permiten conocer la composición completa en muestras escogidas con el MEB. Todas ellas han sido aplicadas a una muestra de cada escoria.

Los resultados de los elementos nos han podido certificar algunos argumentos observados en el análisis macroscópico previo. A pesar de algunas variaciones mínimas sobre elementos concretos, se ha podido comprobar como en mayor o menor medida todos presentan una composición parecida. La presencia más común en estas muestras, dada por el porcentaje en peso normalizado y por los porcentajes atómicos, nos muestran una mayor presencia de hierro (Fe) y de óxi-

geno (O) seguidos de silicio (Si) y otros elementos en menor proporción. No es de extrañar la alta presencia de hierro, puesto que es un elemento muy presente por el material con el que se vincula el proceso y por los efectos de la corrosión. Estos dos formatos están presentes como resultado de los restos de metal puro que no han terminado el proceso de reducción en el horno y del óxido de hierro procedente de la degradación de la pieza. Por su parte el oxígeno está relacionado con el proceso de oxidación y su relación con los suelos arcillosos del entorno al que pertenecen. En lo que concierne al silicio (Si), deriva de la composición de la tierra presente tanto en la pieza mineral como en posibles inclusiones de arcillas y silicatos como SiO_2 muy comunes en la composición de las escorias e integrados para facilitar el proceso de reducción en el horno (Montero, 2010, p. 104). Este hecho no es de extrañar porque los suelos de la zona de Galicia donde se encontraban están enmarcados dentro de cationes mayoritariamente compuestos por arcillas de sílice y aluminios (propia de suelos ácidos). Los otros datos elementales representados en menor proporción (como el magnesio (Mg), el potasio (K), el manganeso (Mn), el fósforo (P), etc), corroboran igualmente dicha relación con los suelos locales.

El mejor ejemplo de estas conclusiones se puede obtener de dos sondeos analíticos hechos en la pieza "Escombrera nº2". En la primera muestra (fig. 5), prácticamente la totalidad de la composición está formada por óxido de hierro y hierro en estado puro. Mientras tanto en la segunda (fig. 6), nos encontramos ante un material compositivo relacionado con la tierra de alrededor y señalando su caracterización como una pieza aún en vías de purificación. En resumen, se puede afirmar que las escorias de hierro analizadas han sido probablemente consecuencia de un proceso técnico de producción llevado a cabo en las inmediaciones y, por lo tanto, denotan las actividades productivas llevadas a cabo allí en un momento muy concreto.



Figs. 5 y 6. La gráfica correspondiente a la fig.5 muestra un ejemplo de los resultados derivados del estudio MEB-EDX de la "Escombrera 2" en la que mayoritariamente se observa la presencia de óxido de hierro y hierro puro. La correspondiente a la fig. 6, otra gráfica sobre el mismo fragmento de escoria que nos muestra la alta composición férrea, junto con otros elementos que se pueden relacionar con los suelos de la zona. Autoría: SIdI.

Difracción de Rayos X (DRX)

Como ya se ha mencionado, este análisis permite conocer datos como la temperatura a la que se ha visto sometida la escoria, la fase del proceso técnico a la que se puede vincular dentro de la cadena técnica operativa e incluso la procedencia a través de los elementos traza minerales presentes en ella. Debido a los resultados obtenidos previamente, la buena contextualización estratigráfica de la pieza y teniendo en cuenta el límite de detención en peso de cada muestra, se seleccionó únicamente la pieza "Sondeo *in situ* nº 1". Como resultado de esta aplicación analítica, se pudo confirmar desde el punto de vista compositivo que los datos concuerdan con los propios de una escoria asociada a la fase de reducción, corroborando así los argumentos ofrecidos en los anteriores apartados.

Conclusiones

Tal y como se ha podido comprobar, las escorias son un material que a pesar de sus limitaciones interpretativas y del aprecio que reciben, es un elemento muy interesante para conocer la cadena técnica de producción de los objetos de hierro y nos sirve para saber un poco más sobre la economía, comercio, e incluso la organización social de unos espacios determinados. Dados todos los resultados presentados de las tres escorias, se puede determinar que surgen como consecuencia de un proceso de reducción en hornos bajos que tuvo que desarrollarse en la *villa* o en sus inmediaciones. A pesar de que visualmente pueda presuponerse que se tratan de piezas de distintas fases productivas, son todas escorias de reducción. Las diferencias que existen entre ellas surgen muy probablemente como resultado de haberse visto sometidas a distintas condiciones durante su transformación, otorgándoles una apariencia discordante que solo trasciende en lo visual.

Esta información nos advierte sobre la posibilidad de que, de forma próxima a la *villa*, se puedan hallar en un futuro más hornos y una mayor presencia de escorias de esta tipología por su relación con un espacio productivo para la obtención del hierro. Asociado a este hecho, se puede afirmar que la *villa* de *Os Escouredos* ocuparía un puesto intermedio entre el proceso de extracción de minerales (que probablemente se encuentre en las inmediaciones), y los trabajos de forja que, a día de hoy, ha de suponerse que lo más probable es

que se hiciera en localidades de ámbito urbano próximas. A pesar de esta afirmación, debido a la pequeña área excavada, no habría que descartar que también se pudieran producir trabajos de forja a escala local. Desde el punto de vista económico, la villa romana de *Os Escouredos* probablemente tuviera entre sus principales fuentes de ingreso la realización de actividades relacionadas con el material férreo local en complemento a otras actividades como la agricultura. Existen otras muchas cuestiones que se podrían plantear a través de las escorias presentes en este yacimiento como, por ejemplo, los niveles de producción que se pudieron alcanzar. Para ello, sería necesario que el yacimiento fuese excavado en su totalidad y ampliar el número de escorias analizadas para tener una muestra más amplia y por lo tanto unos resultados aún más concluyentes.

Agradecimientos

Mis agradecimientos a la Dra. Silvia González Soutelo (UAM) por haber hecho posible e impulsado la realización de este estudio desde el primer momento; al director del yacimiento Manuel Lestón (ARKAIOS S. L.) por la confianza prestada y la ayuda para comprender el contexto arqueológico; al Dr. Manuel Blanco (IPCE) y a Ana Isabel Pardo Naranjo (Lab. Docente UAM) por sus consejos y ayuda en la preparación y toma de muestras; a los técnicos del laboratorio del SIdI (SEM-EDX, UAM), Isidoro Póveda y Esperanza Salvador, por su participación en el estudio microscópico-elemental.

Bibliografía

Bachmann, H.G., (1982). *The identification of slags from archaeological sites*, Institute of Archaeology, Londres.

Betancourt, P. & Ferrence, S., (2011). Metallurgy: Understanding how, learning why: Studies in honor of James D. Muhly (*Prehistory monographs* 29), Philadelphia: INSTAP Academic Press.

Cleere, H., (1971). *Ironmaking in a Roman Furnace. Britannia*, Society for the Promotion of Roman Studies, vol. 2, nº 2, pp. 203-217.

Gómez Ramos, P. & Rovira, S., (2001). Caracterización de escorias de época romana por medio de la microscopía electrónica de barrido. *III Congreso Nacional de Arqueometría*/coord. por María Luisa Pardo Rodríguez, Blanca María Gómez Tubío, Miguel Ángel Respaldiza Galisteo, pp. 508-515.

Gómez Ramos, P., (1996). Análisis de escorias férreas: Nuevas aportaciones al conocimiento de la siderurgia prerromana en España, *Trabajos De Prehistoria*, vol. 53, nº 2, pp. 145-155.

Lestón Gómez, M., (2020). Informe valorativo. Excavación arqueológica y prospección geofísica en el yacimiento "Os Escouredos, (Castro de Rei. Lugo), *Arkaios* S. L.

Mahé-Le Carlier, C. & Ploquin, A., (1999) [1]. Typologie et caractérisation des scories de réduction de la métallurgie du fer, *Revue D'archéométrie*, vol. 23, nº 1, pp. 59-69.

Mahé-Le Carlier, C., Le Carlier de Vesluda, C., Ploquina, A. & Royera, J. J., (1999) [2]. *L'altération naturelle des scories de la métallurgie ancienne: un analogue de déchets vitrifiés*, Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Paris, pp. 179-184.

Montero Ruiz, I. & Rovira Llorens, S., (2013). "Arqueometalurgia", En:/M. García Díez y L. Zapata (eds.), Métodos y técnicas de análisis y estudio en arqueología prehistórica: de lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos/, Bilbao: Universidad del País Vasco, Servicio Editorial, pp. 585-610.

Montero Ruiz, I., (2010). *Manual de arqueometalurgia*, (1ª ed., Cursos de formación permanente para arqueólogos 1). Alcalá de Henares Madrid: Museo Arqueológico Regional Sección de Arqueología, Ilustre Colegio de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de la Comunidad de Madrid, pp. 189-232.

Montero Ruiz, I., (2014). *Los metales en la Antigüedad*, CSIC, Madrid.

Novo Rodríguez, J. M., (05 de octubre de 2020). Excavaciones en Coea, Castro de Rei. Función efímera. *El Progreso de Lugo*. <https://www.elprogreso.es/articulo/a-chaira/excavaciones-coea-castro-rei-funcion-efimera/202010051711261463062.html>

Portillo, H., Ortega, L., Zuluaga, M., Alonso Olazabal, A. & Salcedo, A., (2016). Análisis mineralógico de las escorias de forja del yacimiento romano de Forua (Bizkaia). *Geogaceta*, nº 60, Ejemplar dedicado a: Comunicaciones presentadas en la LX Sesión Científica/Barcelona, pp. 115-118.

Ros-Latienda, L. & Fernández-Carrasquilla, J., (2013). Caracterización de escorias metalúrgicas procedentes de yacimientos arqueológicos de Navarra (Siglos II a.C.- IV d.C.), *Revista De Metalurgia*, Madrid, vol. 49, nº 6, pp. 438-448.

Simón i Arias, J., Marsal Astort, M., Pérez Suñé J. M. & Gómez Sánchez, J., (1997). Caracterización de las escorias de hierro y su interpretación en el contexto histórico-arqueológico, *Caesaraugusta*, nº 73, pp. 217-228.

Tholander, E., (1989). Microstructure examination of slags as an instrument for identification of ancient iron-making processes, *Archaeometallurgy of iron. International Symposium of the Comité pour la sidérurgie ancienne de l'UISPP, Liblice, 5-9 october 1987*, Prague.

Urteaga Artigas, M. M., (2016): *El hierro en época romana. Tradición e innovación en los territorios vascos, Historia del hierro en Bizkaia y su entorno*/coord. por Xabier Orue-Etxebarria Urkitza, María Estibaliz Apellániz Ingunza, Pedro Pablo Gil Crespo, pp. 77-118.

