

Circulación de animales en Iberia durante la Prehistoria reciente y la época clásica: métodos de análisis, primeros datos y retos de futuro

Animal mobility in Iberia during Late Prehistory and Classical times: analytical methods, first data, and challenges for the near future

SILVIA VALENZUELA LAMAS

Institució Milà i Fontanals (CISC). Archaeology of Social Dynamics (ASD)

C/ Egipcíacques, 15, E-08001 Barcelona

svalenzuela@imf.csic.es

El estudio de la movilidad se ha convertido en un tema clave de investigación en arqueología en los últimos años. El desarrollo de los estudios químicos (química isotópica, ADN) y de morfometría geométrica y, sobre todo, su aplicación en arqueología, han permitido obtener datos de primera mano sobre muestras humanas y animales del pasado. Este artículo discute la potencialidad y las limitaciones de las técnicas más utilizadas (morfometría geométrica, ADN antiguo, isótopos de estroncio y oxígeno) y ofrece una primera síntesis de datos de movilidad animal durante la Prehistoria reciente y la época clásica en la península ibérica y el Reino Unido.

PALABRAS CLAVE

ARQUEOZOOLOGÍA, MOVILIDAD, QUÍMICA ISOTÓPICA, MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA, ADN ANTIGUO

The study of mobility has become a key research topic in Archeology in recent years. The development of geometric morphometrics and chemical studies (e.g. isotopic chemistry, DNA), and their application in archeology, produces first-hand data on human and animal samples from the past. This article discusses the potential and limitations of the most used techniques (geometric morphometrics, ancient DNA, strontium and oxygen isotopes), and offers a first synthesis of references and data about animal mobility during Late Prehistory and Classical times in the Iberian Peninsula and the United Kingdom.

KEYWORDS

ARCHAEOZOOLOGY, MOBILITY, ISOTOPIC CHEMISTRY, GEOMETRIC MORPHOMETRICS, ANCIENT DNA

1. Introducción

El estudio de la movilidad humana y de las áreas de captación de recursos son temas recurrentes en la investigación sobre el pasado, y han sido estudiados desde muchos puntos de vista y con metodologías distintas. El estudio de la movilidad animal, sin embargo, ha sido mucho más limitado, a veces reducido a la presencia de nuevas especies o a la importación de especies exóticas (p. ej., Morales *et al.*, 1995a; 1995b; Riquelme-Cantal *et al.*, 2008).

El desarrollo de los estudios de ADN y de química isotópica de los últimos veinte años ha cambiado este panorama y, actualmente, los estudios sobre movilidad animal se han multiplicado en arqueología (p. ej., Balasse *et al.*, 2002; Viner *et al.*, 2010; Makarewicz y Sealy, 2015; Gerling *et al.*, 2017; Verdugo *et al.*, 2019). Esto posibilita relacionar y comparar los datos de movilidad animal con los de movilidad humana, así como con otros indicadores (sistemas políticos, grado de integración económica, funcionalidad de los yacimientos, etcétera; ver Kristiansen, 2014, como ejemplo). Aun así, actualmente son muchas las lagunas temporales y geográficas, tanto en la península ibérica como en el resto del mundo. En el caso de las especies domésticas, la situación se agrava por el hecho de que diferentes especies pueden tener distintos patrones de movilidad.

Este artículo pretende ofrecer algunos datos disponibles sobre los patrones de movilidad animal en la península ibérica y en el Reino Unido —uno de los territorios donde hay más datos publicados— y, sobre todo, exponer las limitaciones metodológicas a las que nos enfrentamos y los retos que habrá que abordar en un futuro próximo.

2. Muestreo, conservación y límites de unas disciplinas en desarrollo

El primer reto al que se enfrenta cualquier especialista es el muestreo y la decisión de qué técnicas aplicar: ¿Qué piezas hay que seleccionar? ¿Cuál es el número mínimo de muestras necesario? ¿Cuánto cuestan los análisis? La respuesta a estas preguntas es muy variable y depende de las preguntas de investigación. Así mismo, también depende del laboratorio, de la técnica utilizada y del grado de preparación y limpieza que necesita cada analítica. El rango puede ir desde cubrir exclusivamente la mano de obra (p. ej., morfometría geométrica) hasta cubrir el coste de las largas horas de trabajo y la manipulación de los productos químicos en un ambiente completamente estéril, dentro de un laboratorio especializado (caso de las muestras de ADN antiguo).

En líneas generales, para la mayoría de análisis isotópicos y morfométricos la mejor pieza anatómica son los dientes (p. ej., Sponheimer y Lee-Thorp, 1999; Balasse *et al.*, 2002; Viner *et al.*, 2010; Nuviala *et al.*, 2014; Duval *et al.*, 2015; Evin *et al.*, 2017). En el caso de la morfometría geométrica (GMM, por sus siglas en inglés) y los análisis de ADN, otros elementos anatómicos utilizados son los metacarpos y metatarsos (p. ej., Schlumbaum *et*

al., 2006; Davis *et al.*, 2012; Colominas *et al.*, 2015) y, en GMM, también los astrágalos (p. ej., Colominas *et al.*, 2019; Pöllath *et al.*, 2019).

2.1. Una guía rápida en la selección de materiales y técnicas

Todas las técnicas arriba mencionadas (GMM, isótopos de estroncio y oxígeno, ADN) tienen un gran potencial en los estudios de movilidad, pero también sus limitaciones. Con el objetivo de presentar una guía en la toma de decisiones, en la tabla 1 sintetizamos las características principales de cada una de ellas, los elementos anatómicos a muestrear, y el número mínimo de muestras requerido. De todas maneras, son las preguntas de investigación, la disponibilidad de los materiales y el presupuesto los que marcarán la decisión final en cada caso.

De cara a la conservación de los materiales, la morfometría geométrica es la técnica más económica y la única que no es destructiva. La base metodológica principal es que la forma de un elemento anatómico (entendida como la combinación entre tamaño y conformación) refleja características fenotípicas y se puede describir geométricamente a partir de puntos de referencia y de contorno (Bookstein, 1991; Rohlf y Marcus, 1993). Así, es posible reconocer diferentes morfotipos y evaluar el grado de especificidad de una forma concreta. En otras palabras, la morfometría geométrica permite describir la forma con una

Tabla 1. Guía con las principales características de las técnicas mencionadas en el artículo

Técnica	Destructiva?	Elementos de muestreo	Número mínimo de elementos	Comentarios
Morfometría geométrica	No	m2, m3, astrágalo, metacarpo, metatarso	30 iguales	Se pueden mezclar elementos derechos e izquierdos pero no elementos distintos (una M2 inferior es distinta de una M2 superior)
ADN	Sí	dientes, huesos con cortical espesa (p.ej: metacarpo, metatarso)	ver comentarios	La buena conservación del colágeno es fundamental. Hay que evitar los huesos esponjosos (costillas, epífisis de huesos largos). En la península ibérica, en yacimientos al aire libre, suelen funcionar un tercio de las muestras
Isótopos de estroncio	Sí	dientes	10	En estudios de movilidad estacional hay que contar un mínimo de 3 muestras por diente
Isótopos de oxígeno	Sí	dientes	10	En estudios de movilidad estacional hay que contar un mínimo de 5 muestras por diente

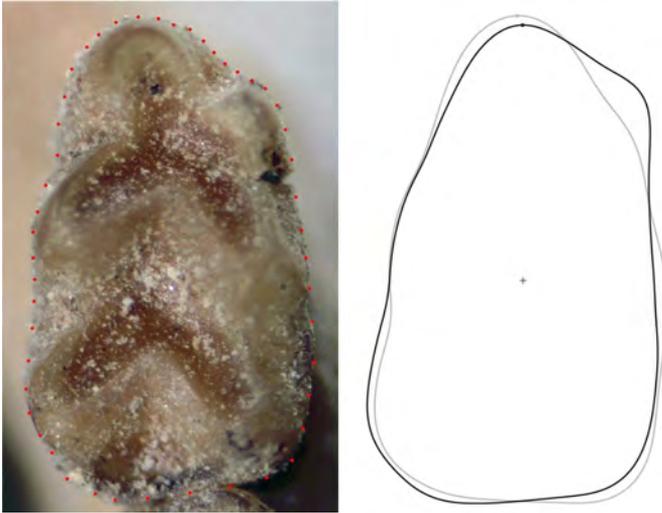


Figura 1. Ejemplo de fotografía de diente y digitalización (izquierda) y perfiles reconstruidos de dos especies de ratones (*M. musculus* y *M. spretus*).

precisión que no es posible alcanzar con la morfología clásica y evaluar si la población analizada tiene una morfología muy específica (de astrágalo, de tercer molar, etc.) o bien se trata de una población que no se distingue de otras. En este sentido, es preciso tener un número de muestras suficientemente grande para poder determinar si hay diferencias significativas entre poblaciones, y comprobar que la falta de diferencias no se debe a un número bajo de efectivos que no permite discriminar una población de otra. Así, si dos poblaciones presentan diferencias significativas es que, muy probablemente, se trata de dos poblaciones diferentes. En cambio, dos poblaciones originariamente diferentes podrían arrojar diferencias no significativas debido a un bajo número de efectivos.

La forma se puede analizar en dos y en tres dimensiones (2D y 3D). Para los análisis en 2D es preciso tomar fotografías perpendiculares al elemento que se está analizando y siempre a la misma escala (figura 1). Posteriormente, se determinan los elementos preeminentes (p. ej., contorno, puntos de referencia) y se analizan específicamente para caracterizar la forma y la existencia de diferencias entre poblaciones (p. ej., Macholán, 2006; Valenzuela-Lamas *et al.*, 2011; Evin *et al.*, 2015). En el caso de los análisis 3D, es preciso medir el volumen del objeto, generalmente con un escáner o con fotogrametría. En arqueología hay ejemplos sobre industria lítica (p. ej., Lycett *et al.*, 2010) y cerámica (p. ej., Selden *et al.*, 2014) y en arqueozoología se ha aplicado sobre cráneos de suido (Owen *et al.*, 2014).

La GMM es actualmente un campo en expansión. Su limitación principal radica en el elevado número de restos que requiere. Se pudiera pensar que es fácil conseguir un mínimo de 30 elementos iguales de una especie, pero la experiencia nos dice que solo los conjuntos grandes (NRD > 300) permiten disponer de suficientes elementos de una misma fase cronológica (p. ej., astrágalos o terceros molares inferiores). Esto se agrava en el caso de especies poco representadas en el registro.

El análisis de los isótopos de estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) no suele presentar problemas de conservación y es, probablemente, la técnica más precisa para determinar movimientos de animales entre zonas geológicas diferentes. En el caso de los herbívoros, la base metodológica es que la ratio entre el isótopo ^{87}Sr y el ^{86}Sr depende de la geología en la que pastan y abreven los individuos. La ratio isotópica pasa del agua y los vegetales a los tejidos (huesos y dientes) casi sin fraccionamiento isotópico, por lo que es posible ver si a lo largo del período de mineralización de un diente ha habido cambios en la ratio isotópica, y también si el individuo tiene una ratio isotópica diferente a la de la geología en la que se encuentra el yacimiento (Bentley, 2006).

La principal limitación de esta técnica—aparte de que es destructiva, como todos los análisis químicos— es que no existen, por el momento, mapas de estroncio detallados para cada zona geográfica, y estudios recientes demuestran que hay solapamiento en las ratios de estroncio de substratos geológicos diferentes (Willmes *et al.*, 2018). Así pues, es preciso muestrear no solo material arqueológico, sino también vegetación circundante no contaminada,¹ para poder determinar la variabilidad local de estroncio de cada yacimiento. Otra limitación es la variabilidad geológica a escala local: hay zonas con una geología muy diversa, en las que la variabilidad potencial de estroncio en un rango de 50 km es muy amplia, mientras otras zonas son geológicamente muy homogéneas y, por tanto, se pueden producir movimientos sin que sea posible distinguirlos isotópicamente. Finalmente, son pocos los estudios (Britton *et al.*, 2009; Towers *et al.*, 2017) que han analizado cómo cambia la ratio isotópica de estroncio en animales de los cuales se conocen sus movimientos y su dieta en vida, por lo que se desconoce el ritmo de asimilación del estroncio y los posibles efectos de promedio debido a las técnicas de muestreo, que suelen incluir varias capas de mineralización (Hoppe *et al.*, 2004; Towers *et al.*, 2010).

Pese a estas limitaciones, es posible observar variaciones a lo largo de la corona dental de los dientes hipsodontos (p. ej., Hoppe *et al.*, 2004; Bentley y Knipper, 2005; Towers *et al.*, 2010; Viner *et al.*, 2010). En este caso, es aconsejable tomar un mínimo de tres muestras por diente para poder observar si hay movimientos de «ida y vuelta» entre zonas geológicas diferentes.

En el caso de los isótopos de oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), es posible analizar la relación isotópica bien sea del carbonato, bien del fosfato del esmalte dental. Los primeros estudios sobre material arqueológico favorecían el análisis de fosfato, por que el enlace químico P-O es mucho más fuerte que el del C-O, por lo que es más resistente a la diagénesis. Esto era de especial importancia en el análisis de huesos largos. Pero en los últimos años noventa se demostró que el esmalte dental, por su estructura cristalina y durabilidad, es fiable tanto para ratios isotópicas de oxígeno en carbonato como para fosfato (p. ej., Bocherens *et al.*, 1996; Cerling *et al.*, 1997; Sponheimer y Lee-Thorp, 1999), siendo el proceso químico en carbonato más sencillo comparado con el necesario en fosfato (Sponheimer y Lee-Thorp, 1999).

1. Las muestras vegetales más fiables son las hojas de árboles de raíces profundas (p. ej., encinas) tomadas fuera de los cauces de los ríos y zonas de deposición de sedimentos, y lejos (más de 100 m) de casas, industrias, carreteras y, en general, cualquier infraestructura que implique la deposición de aguas residuales o remoción de tierra.

En cualquier caso, la relación isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) está directamente relacionada con la del agua corporal, que a su vez refleja la ratio del agua ingerida en el momento de la formación del esmalte, previo fraccionamiento dependiendo de las influencias fisiológicas y metabólicas de cada especie (Longinelli, 1984; Luz *et al.*, 1984; Kohn, 1996; Kohn *et al.*, 1996; Iacumin y Longinelli, 2002). Por regla general, a mayor temperatura, mayor es la proporción de ^{18}O , aunque otros factores, como la fuente de agua evaporada, la cantidad y el tiempo de precipitación o la ingesta de forraje seco, también afectan relación isotópica (McCrea, 1950; Dansgaard, 1964; Gat, 1980; Rozanski *et al.*, 1993; Makarewicz y Pederzani, 2017). En latitudes medias y altas, la composición isotópica de oxígeno del agua meteórica varía estacionalmente, con valores superiores a $\delta^{18}\text{O}$ durante los meses más cálidos (Dansgaard, 1964; Gat, 1980).

En los dientes hiposodontos es posible analizar las variaciones estacionales en las relaciones isotópicas de oxígeno a partir del muestreo secuencial (p. ej., Balasse *et al.*, 2002; Viner *et al.*, 2010; Tornero *et al.*, 2013). En combinación con los isótopos de estroncio, es posible ver si los animales han pastado en diferentes sustratos geológicos en diferentes momentos del año (Bentley y Knipper 2005; Valenzuela-Lamas *et al.*, 2016).

En el caso del ADN antiguo, el principal determinante es la conservación del colágeno y de la hidroxiapatita. Este se suele encontrar muy fragmentado por los procesos tafonómicos y diagenéticos que sufren los restos hasta que son analizados (microorganismos, fluctuaciones en la temperatura, oxidación, hidrólisis, etc.). En nuestra latitud y en yacimientos al aire libre, el grado de éxito de las muestras se sitúa en torno a un tercio de las analizadas. Es decir, de 30 muestras seleccionadas y analizadas, es probable que el ADN esté suficientemente bien conservado en unas diez. El problema se acentúa con materiales que han sido excavados hace tiempo y que se han conservado en sitios con una gran diferencia térmica entre verano e invierno, que es el caso de muchas reservas de materiales arqueológicos. En este sentido, los mejores materiales son los procedentes de cuevas y que han sido excavados recientemente (Geigl, 2002).

El proceso de extracción de ADN antiguo es muy laborioso y costoso, y el riesgo de contaminación hace que solo pueda realizarse en instalaciones específicamente dedicadas a ello. En el caso de los bovinos domésticos y de los cerdos se añade el problema de riesgo de contaminación por los agentes reactivos utilizados si se amplifica por PCR (ver más abajo) y es preciso tomar precauciones adicionales (Champlot *et al.*, 2010). La ventaja de los estudios de ADN es que, a pesar del riesgo de que funcione solo un número reducido de muestras, es posible ver la llegada de nuevas líneas genéticas y determinar, aproximadamente, el momento de llegada de los nuevos individuos (p. ej., Fernández *et al.*, 2006; Pereira *et al.*, 2009; Verdugo *et al.*, 2019; Frantz *et al.*, 2019).

Los primeros estudios en este campo analizaban el ADN mitocondrial, más abundante que el nuclear, y secuenciaban el ADN mediante la técnica de la clonación (Higuchi *et al.*, 1984). En 1986, la invención de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés; Mullis *et al.*, 1986) permitió amplificar pequeños fragmentos de ADN y, rápidamente, se aplicó a estudios de ADN antiguo (p. ej., De Salle *et al.*, 1993). Los protocolos

de extracción, control de la contaminación (ADN endógeno vs. ADN exógeno) y reproducibilidad se fueron mejorando (p. ej., Pruvost *et al.*, 2005; Rohland y Hofreiter, 2007). La invención de la secuenciación de nueva generación en 2005 (NGS, en inglés; Margulies *et al.*, 2005) y, posteriormente, de la técnica de hibridación para enriquecer las muestras (*DNA hybridization capture*; Briggs *et al.*, 2009) ha permitido reconstruir fragmentos cada vez mayores y hasta secuencias enteras de ADN mitocondrial de diversas especies (Shapiro y Hofreiter 2012; Paijmans *et al.*, 2013). Actualmente, en casos de buena conservación, es posible secuenciar genomas completos, que incluyen el ADN nuclear (p. ej., Fages *et al.*, 2019).

3. Resultados. Movilidad animal en la península ibérica y el Reino Unido durante la Prehistoria reciente y la época clásica

3.1. Morfometría geométrica

Los estudios de morfometría geométrica con materiales de la península ibérica son todavía escasos, y más aún los centrados en especies domésticas. El estudio de Valenzuela-Lamas *et al.*, 2011 determinó la presencia del ratón doméstico (*Mus musculus*) y su predominio frente al ratón moruno (*Mus spretus*) en el siglo IV aC en Alorda Park (Tarragona). Esta especie probablemente llegó a través del comercio marítimo, tal vez desde el área de Cartago, y su abundancia en el registro (un 83% en un conjunto de 242 mandíbulas) demuestra la ocupación eficaz del nicho ecológico por parte de la forma comensal ya en el siglo IV aC (Valenzuela-Lamas *et al.*, 2011).

Mientras en Francia hay varios estudios sobre bovinos y suinos para explorar los cambios en el tamaño y la identificación de poblaciones y morfotipos durante la prehistoria reciente y época clásica (Nuviala *et al.*, 2014; Duval *et al.*, 2015, 2018), el primer trabajo en la península ibérica ha aparecido hace solo unos pocos meses (Colominas *et al.*, 2019). El estudio revela que las ovejas analizadas del Pirineo y el área del Empordà son morfológicamente diferentes en la Edad del Hierro, mientras que en época romana es probable que haya una mayor circulación de animales entre las dos zonas.

3.2. Isótopos de estroncio

Las evidencias sobre movilidad animal a veces se encuentran como elemento secundario en los estudios isotópicos sobre restos humanos, y para la península ibérica los datos son aún escasos (p. ej., Ortega *et al.*, 2013; Díaz Zorita-Bonilla *et al.*, 2017). En el Reino Unido, en cambio, la abundancia de datos publicados permite ofrecer una primera imagen de

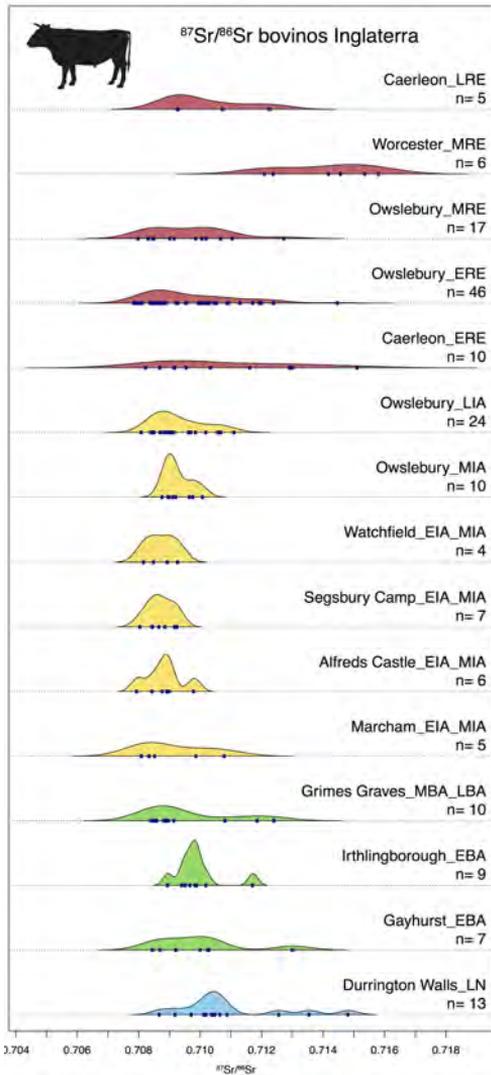


Figura 2. Variabilidad de las ratios isotópicas de estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) sobre dientes de bovino de diferentes yacimientos en el Reino Unido (ver localización en la figura 4). Las abreviaturas se refieren a los períodos con sus siglas en inglés. LN: *Late Neolithic*, EBA: *Early Bronze Age*, MBA: *Middle Bronze Age*, LBA: *Late Bronze Age*, EIA: *Early Iron Age*, MIA: *Middle Iron Age*, LIA: *Late Iron Age*, ERE: *Early Roman Empire*, MRE: *Middle Roman Empire*, LRE: *Late Roman Empire*.

síntesis, aún limitada, de lo que podría ser la movilidad animal en algunos yacimientos del sur de Inglaterra.

Las figuras 2 y 3 muestran las ratios isotópicas de 179 bovinos y 156 cerdos de 14 yacimientos diferentes del sur de Gran Bretaña entre el Neolítico final y época romana. Los yacimientos neolíticos disponibles —Durrington Walls, Mount Pleasant, Marden y West Kennet— corresponden a puntos de encuentro asociados a eventos de banquetes y estructuras monumentales (Viner *et al.*, 2010; Madgwick *et al.*, 2019). Los resultados

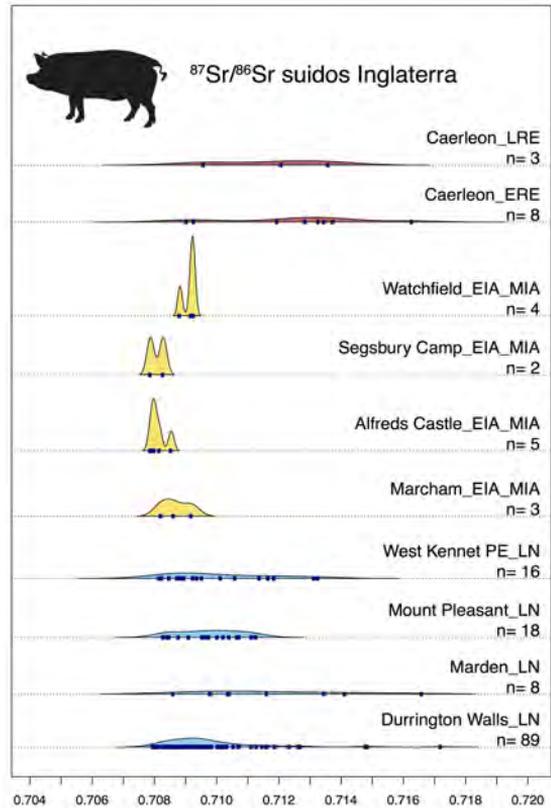


Figura 3. Variabilidad de las ratios isotópicas de estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) sobre dientes de cerdo de diferentes yacimientos en el Reino Unido. La localización de los yacimientos se encuentra en la figura 4. Las abreviaturas de los períodos cronológicos responden al mismo código que en la figura 2.

isotópicos de estroncio demuestran que a estos yacimientos llegaban animales de geologías muy diversas, en algunos casos distantes más de 100 km del yacimiento, incluso en el caso de los cerdos (Viner *et al.*, 2010; Madgwick *et al.*, 2019; figura 4). En lo tocante a los yacimientos del bronce antiguo de Gayhurst e Irthlingborough, ambos corresponden a depósitos de cientos de animales (mayoritariamente bovinos) asociados a tumbas de un único individuo masculino (Towers *et al.*, 2010). Los resultados de estroncio evidencian animales de varias procedencias geológicas, mientras que en el yacimiento de hábitat de Grimes Graves, datado entre el bronce medio y el bronce final, se documentan algunos animales de procedencia lejana, a más de 150 km del yacimiento (Towers *et al.*, 2017). En la primera y segunda Edad del Hierro (800-200 aC), al yacimiento ritual de Marcham también llegan animales de distintas procedencias, mientras que en los yacimientos de hábitat fortificados —Segsbury, Alfred's Castle, Watchfield y Owslebury— el rango de diversidad es mucho menor. Owslebury, en la fase final de la Edad del Hierro (siglo I aC y primera mitad del siglo I dC) presenta ratios de estroncio más diversas, y esto se acentúa significa-

tivamente en época romana, cuando el yacimiento era un asentamiento rural cercano a la ciudad de Winchester (Minniti *et al.*, 2014). También en época romana, el campamento militar de Caerleon y el mercado de Worcester presentan una diversidad notable de procedencias de bovinos y cerdos (Madgwick *et al.*, 2019b; Min Gan *et al.*, 2018), que coincide con la circulación a larga distancia de otros materiales (p. ej., vino, aceite, cerámica, etc.).

Así, se documenta una mayor diversidad de ratios de estroncio (y, por tanto, una mayor diversidad de orígenes geográficos de los animales) en los conjuntos del Neolítico y época romana, mientras que los yacimientos datados en la Edad del Hierro (EIA, MIA, LIA) presentan una menor diversidad, tanto en bovinos como en cerdos. Una primera conclusión rápida pudiera ser que había mayor movilidad de animales durante el Neolítico y época romana. Pero antes de hacer inferencias se deben tener en cuenta varios aspectos. En primer lugar, cada yacimiento debe ser analizado según su localización (y, por tanto, su variabilidad local de estroncio, figura 4), así como su funcionalidad. En este sentido, la mayoría de yacimientos tiene una variabilidad geológica similar, lo que facilita la comparación entre ellos. En cambio, Caerleon y Worcester tienen una mayor diversidad geológica en sus inmediaciones: en estos casos, es difícil determinar si la variabilidad observada se debe a la localización de los yacimientos —en una área con una notable diversidad geológica— o bien refleja una particularidad de época romana. En relación con la funcionalidad, todos los conjuntos neolíticos corresponden a puntos de encuentro, mientras que los yacimientos de la Edad del Hierro son mayoritariamente lugares de hábitat. Potencialmente, esto pudiera explicar las diferencias observadas entre los dos períodos. De acuerdo con esto, el yacimiento ritual de Marcham presenta una mayor diversidad que el resto de conjuntos de la Edad del Hierro, lo que apoyaría la idea que la funcionalidad del yacimiento es clave para caracterizar y entender la variabilidad. A la hora de realizar comparaciones diacrónicas, es mejor disponer de yacimientos con una función similar. En este caso, Owslebury constituye un buen caso de estudio, ya que fue un yacimiento de hábitat en los dos períodos (fortificado en la fase de MIA, sin fortificación en la fase de LIA, y núcleo de producción rural en época romana). En este caso, se observa una mayor movilidad de bovinos en época romana, y los resultados estadísticos indican que los cambios entre períodos son significativos (Minniti *et al.*, 2014). Así pues, parece existir una correlación entre la funcionalidad de los yacimientos y el grado de variabilidad de los isótopos de estroncio (mayor en los yacimientos rituales, menor en los yacimientos de hábitat), así como, posiblemente, variaciones diacrónicas.

En el caso de la península ibérica, la diversidad geológica y el escaso número de estudios sobre movilidad animal —que contrasta con el número de estudios disponibles sobre movilidad humana— no permiten ofrecer una imagen de síntesis. En el caso de los yacimientos portugueses de Perdigões, Zambujal y Leceia (Neolítico y Calcolítico; Žalaitė *et al.*, 2018, Wright *et al.*, 2019) se documenta la presencia de algunos animales de procedencias diversas, no compatibles con las ratios de estroncio documentadas en las inmediaciones de los yacimientos. Este es también el caso de algunos équidos de Can Roqueta del Bronce final y la primera Edad del Hierro (Albizuri *et al.*, 2019). Esto contrasta con los 35 caprinos analizados (ovejas y cabras) del yacimiento íbero del Turó de la Font de la Canya (Valenzuela-Lamas *et*

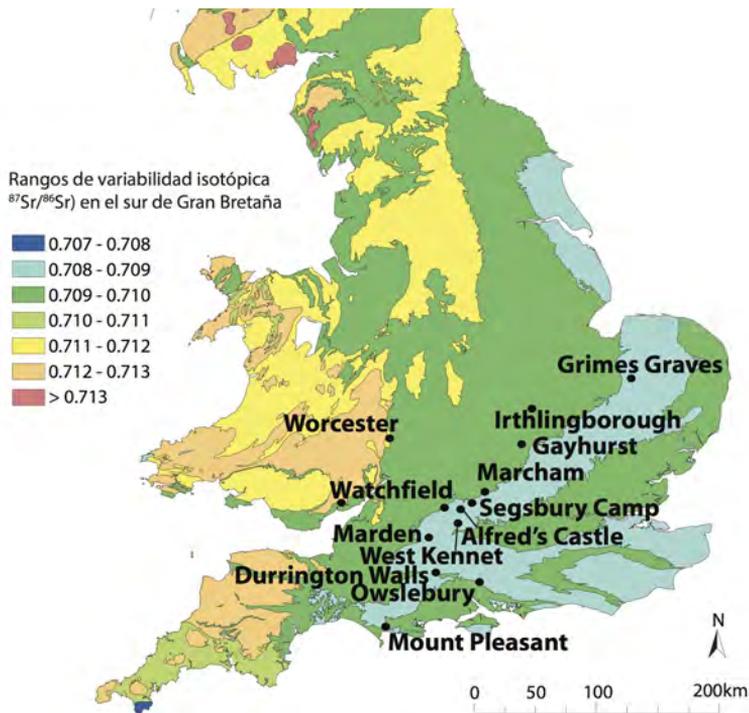


Figura 4. Mapa de estroncio (a partir de Evans *et al.*, 2010) y localización de los yacimientos de las figuras 2 y 3.

al., 2016; 2018): a pesar de la variabilidad isotópica potencial de esta zona, la gran mayoría de ovejas y cabras tenían ratios de estroncio compatibles con la geología presente en las inmediaciones del yacimiento. Esto sugiere que diferentes especies pueden tener diferentes patrones de movilidad. En este sentido, es significativo que una especie de elevado prestigio y carácter simbólico (el caballo), tenga una mayor movilidad que la especie más habitual en los conjuntos de la Edad del Hierro de esta zona (las ovejas y las cabras). Es necesario disponer de más estudios, tanto en lo diacrónico como en diferentes yacimientos del mismo período y con especies diferentes, para poder entender la movilidad animal en toda su complejidad.

3.3. Isótopos de oxígeno

Al igual que sucede con los isótopos de estroncio, los estudios sobre movilidad animal en la península ibérica basados en isótopos de oxígeno escasean. El estudio de Waterman *et al.* (2016) documenta la presencia de cambios significativos en la composición isotópica de oxígeno de las ovejas de Zambujal entre la fase del III milenio aC y la de la primera

mitad del II milenio aC. En el trabajo se barajan diferentes posibilidades, entre ellas un cambio de las condiciones ambientales, que obligaron a cambiar la zona de pasto, o tal vez diferentes patrones de movilidad o abastecimiento entre los dos períodos cronológicos. Un segundo ejemplo es el estudio de Valenzuela-Lamas *et al.* (2016), donde se publicaban los resultados de un estudio piloto sobre tres dientes de oveja de la Edad del Hierro combinando isótopos de estroncio y oxígeno. En este caso particular no se detectó ningún movimiento estacional en los animales analizados, ya que las ratios isotópicas de estroncio eran similares en diferentes momentos del año. El estudio piloto de Tornero *et al.* (2018), basado en dos ovejas trashumantes actuales, ofrece un punto de partida para entender la variación esperada cuando una oveja se mueve del llano a un ecosistema de montaña (> 1800 m.s.n.m) así como la existencia de variabilidad interindividual. Se hace, pues, necesario disponer de más estudios para poder profundizar en la materia, aunque varios trabajos advierten de la existencia de múltiples factores que pueden afectar las ratios isotópicas de oxígeno (p. ej., Makarewicz y Pederzani, 2017).

3.4. ADN antiguo

En contraste con la morfometría geométrica y los estudios isotópicos de movilidad, los estudios de ADN antiguo sobre animales de la Prehistoria reciente de la península ibérica son más abundantes. Ya en 2005, Anderung *et al.* determinaron la presencia del haplotipo T1 —característico de los bovinos del Norte de África— en bovinos de la península ibérica en la Edad del Bronce, y el estudio de Colominas *et al.* (2015) permitió confirmar la presencia del haplotipo T1 desde el Neolítico en La Draga (Banyoles), así como una mayor diversidad de haplotipos en época romana, todos del tipo T. El estudio de Beja-Pereira *et al.* (2006), con numerosas muestras de la península ibérica, también sugiere una fuerte influencia del Norte de África en las líneas genéticas actuales de bovinos de la Península. Los autores afirman que, probablemente durante el Neolítico, los bovinos domesticados en Oriente Próximo se cruzaron con uros de diferentes puntos —entre los cuales los del Norte de África— y desde allí se propagaron por vía marítima hacia la península ibérica.

En cuanto a los équidos, tradicionalmente los fenicios se habían considerado los introductores del asno doméstico (*Equus asinus*; Altuna, 1980; Roselló y Morales, 1994; Nadal *et al.*, 2010). En 2017, el estudio de ADN sobre un diente de équido recuperado en Leceia (Portugal) y datado en el Calcolítico, permitió documentar la presencia de asno mucho antes de la fundación de las colonias fenicias en el sur de la península ibérica (Cardoso *et al.*, 2017). Los autores del estudio apuntan al comercio entre el sur de la Península y el Norte de África durante el III milenio aC como probable origen de esta especie en la Península, juntamente con objetos de marfil, también recuperados en Leceia y otros yacimientos calcolíticos de la zona.

Otro de los debates desarrollados a lo largo de varias décadas se refiere a la presencia de un foco de domesticación del caballo (*Equus caballus*) en la península ibérica (Uerpmann,

1990; Lira *et al.*, 2010; Warmuth *et al.*, 2011). El estudio más reciente y extenso (Fages *et al.*, 2019) sugiere que los caballos de la Península apenas han incidido en los genomas de caballo actuales, por lo que no puede ser uno de los focos de domesticación.

Los perros (*Canis lupus familiaris*) también han sido objeto de estudios de ADN antiguo para entender los flujos genéticos y la selección de ciertos caracteres (Frantz *et al.*, 2016; Catagnano, 2016; Pires *et al.*, 2017). En la actualidad, los perros de la península ibérica y el Norte de África tienen una diversidad genética notable, con haplotipos de las ramas A, B, C y D (Pires *et al.*, 2006). En contraste con épocas más antiguas, la época romana es el período con más diversidad genética, solo superada en la actualidad, lo que sugiere una movilidad notable de perros de diferentes zonas geográficas (Pires *et al.*, 2017). Esta mayor movilidad fue acompañada de una mayor diversidad de morfologías en época clásica en relación con otros períodos del pasado, tal como evidencian numerosos estudios biométricos (ver referencias en Pires *et al.*, 2017).

En el caso de los suidos, los estudios de ADN antiguo indican que los cerdos de la península ibérica y, en general, de Europa occidental, no tienen afinidad genética con los jabalíes de Armenia, Turquía y, en general, Oriente Próximo (Larson *et al.*, 2005; 2007; Frantz *et al.*, 2019). Los autores sugieren que hubo una extensa hibridación entre cerdos domésticos y jabalíes locales en diferentes puntos de Europa, lo que dio pie a haplotipos diferenciados en distintos lugares.

Es curioso que, siendo el ganado más abundante en la Prehistoria de la península ibérica (al menos en el Sur y el Levante peninsular), las ovejas y las cabras no hayan sido aún objeto de estudios de ADN antiguo en la Península. Probablemente, en los próximos años se cubrirá este vacío en la investigación.

4. Muestreo para el futuro: cómo compatibilizar las diferentes técnicas

Una limitación que tenemos en arqueología es la naturaleza destructiva de algunas técnicas de investigación, desde la excavación hasta los análisis químicos. Esto, juntamente con la escasez de materiales y la naturaleza única de algunas piezas (sobre todo en las cronologías más antiguas), hace necesario que los análisis sean lo menos destructivos posible.

En el caso de los materiales faunísticos, los dientes son el material más preciado por su durabilidad y su carácter diagnóstico, lo que posibilita la aplicación de múltiples técnicas sobre ellos. Por ello, es necesario preservarlos en la medida de lo posible para futuros trabajos.

La figura 5 ofrece una síntesis de las zonas utilizadas en diversos estudios de movilidad y estacionalidad. Potencialmente, hay zonas en las que pudiera haber solapamiento entre diversas técnicas, como la cara mesio-bucal del protocónido (zona B en la figura 5).

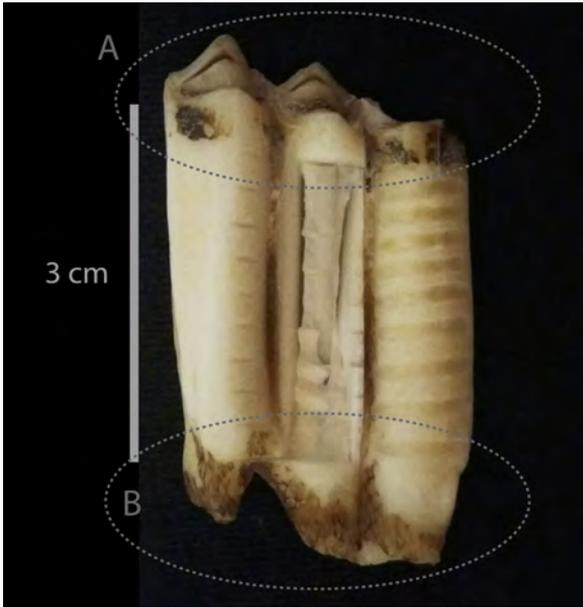


Figura 5. Ejemplo de diferentes técnicas de muestreo para isótopos en una molar inferior de oveja: bandas (derecha), segmentos (centro) y láser en superficie curva (izquierda). La cara oclusal y la base del diente se pueden mantener para otros análisis. Zona A: microdesgaste, morfometría geométrica; zona B: cementocronología, ADN, cálculo dental.

Teniendo en cuenta la variedad de técnicas conocidas hasta ahora, se puede diseñar el muestreo para intentar minimizar el impacto de los análisis destructivos. Por ejemplo, en el caso del muestreo secuencial para análisis isotópicos, se puede optar por muestrear el metacono o el paracono en lugar del protocono, dado que las muestras obtenidas en diferentes conos son comparables (Balasse, 2002). Además, el desarrollo de la ablación láser en muestras de perfil curvado para los análisis químicos (Le Roux *et al.*, 2014) —si bien aún en curso y en fase de mejora de protocolos de muestreo y análisis— permitirá mejorar significativamente la integridad de las muestras, al evitar la extracción de pilares enteros de esmalte (p. ej., Lewis *et al.*, 2014), de segmentos (p. ej., Britton *et al.*, 2011; Valenzuela-Lamas *et al.*, 2016) o de bandas transversales (p. ej., Balasse *et al.*, 2002; Zazzo *et al.*, 2012).

Sea cual sea el protocolo de muestreo y la técnica de análisis, el principio de base debe ser reducir lo máximo posible el grado de destrucción de la muestra.

5. Reflexiones finales y perspectivas de futuro

Los estudios de movilidad animal tienen un gran potencial para informar de procesos históricos, económicos y modos de gestión del paisaje. A día de hoy, se pueden utilizar múltiples técnicas, ya sea individualmente o en combinación, para reconstruir el grado de movilidad de los animales (también de las poblaciones humanas) y comparar las

informaciones con otros indicadores arqueológicos (arquitectura, cultura material, datos paleoambientales, etc.).

El carácter destructivo de algunas técnicas constituye una limitación en los análisis a gran escala, tanto por los problemas de conservación del material como por la reproducibilidad de los resultados. En este sentido, la morfometría geométrica es la técnica idónea para la caracterización de morfotipos, ya que no destruye el material. Su principal limitación es la necesidad de un volumen importante de restos, que no siempre se encuentra disponible en el registro arqueológico.

En segundo lugar, los estudios de ADN antiguo generalmente requieren una pequeña muestra, con frecuencia obtenida de la raíz del diente o de huesos largos. En este caso, los puntos críticos son la conservación del colágeno y la hidroxiapatita, así como el elevado coste de los análisis. Los mejores materiales son los procedentes de cuevas, los excavados recientemente y, en general, los que han sufrido menos alteraciones térmicas a lo largo del tiempo. En este sentido, las mejores reservas arqueológicas son las situadas en subterráneos, ya que son los que propician una temperatura más constante a lo largo del tiempo.

En tercer lugar —en orden de cantidad muestra necesaria— se encuentran los isótopos de oxígeno y estroncio, en los que la técnica de muestreo varía enormemente de un estudio a otro, desde ablación láser, muestreo por bandas, muestreo por segmentos, a muestreo de todo un cónido o segmentos muy amplios. La abrasión láser está todavía en desarrollo, pero permitirá mejorar sobre manera la conservación de las muestras, si se solventa la necesidad de tener una superficie plana. Algunos estudios recientes (Le Roux *et al.*, 2014; Willmes *et al.*, 2016) apuntan en ese sentido.

Finalmente, y aunque no la hemos tratado aquí por no encontrar estudios sobre material de la península ibérica, la cementocronología sería la técnica más destructiva a día de hoy, ya que es necesario hacer una lámina fina para observar las curvas de crecimiento del esmalte.

A modo de conclusión, y comparando las diferentes líneas de evidencia disponibles, los trabajos apuntan, consistentemente, que el grado de movilidad animal en época romana fue mayor en comparación con la Edad del Hierro (Minniti *et al.*, 2014; Colominas *et al.*, 2015; Pires *et al.*, 2017; Colominas *et al.*, 2019; Nieto *et al.*, aceptado), y que el rango de movilidad puede depender de la especie analizada (Albizuri *et al.*, 2019; Nieto *et al.*, en prensa).

Tal como hemos propuesto en trabajos anteriores (Valenzuela-Lamas y Albarella, 2017; Albizuri *et al.*, 2019; Nieto *et al.* en prensa), creemos que los patrones de movilidad animal y las prácticas ganaderas reflejan el nivel de integración económica y la situación sociopolítica de las poblaciones humanas. Se requieren muchos más estudios que permitan caracterizar la movilidad humana y animal en diferentes tipos de yacimientos y cronologías para entender cómo los cambios en la movilidad afectan diferentes aspectos de la vida (p. ej., economía, sociedad). Así mismo, hay diversos retos metodológicos a abordar, como asegurar la comparabilidad entre diferentes prácticas y parámetros de análisis, la comparación entre yacimientos que tienen rangos de variabilidad potencial diferentes, o ampliar el número de referenciales actuales, entre otros.

En los últimos veinte años se ha avanzado mucho en las diversas técnicas analíticas, y los diferentes campos están en constante búsqueda de mejoras que reduzcan el volumen de muestra necesario y optimicen la comparabilidad y reproducibilidad de los datos. Queremos recalcar la necesidad de que tanto especialistas como responsables de las excavaciones trabajen en colaboración y simbiosis, ya que es fundamental para la buena contextualización e interpretación de los datos en clave arqueológica e histórica.

Agradecimientos

Al comité de redacción de *Pyrenae* por proponerme el reto de este artículo. Y a las investigadoras que, a lo largo de los años, han respondido mis insaciables preguntas sobre la aplicación e interpretación de los datos y las mejores técnicas de muestreo: Marie Balasse, Delphine Bosch, Sandi Copeland, Marta Díaz Zorita-Bonilla, Jane Evans, Allowen Evin, Maria Fontanals, Maite-Iris García Collado, Claudia Gerling, Catarina Ginja, Sílvia Guimarães, Maura Pellegrini (espero no olvidarme a nadie). A todos ellos mi agradecimiento y reconocimiento sincero. Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto ERC-Starting Grant 716298 ZooMWest – *Zooarchaeology and mobility in the Western Mediterranean: from the Late Bronze Age to Late Antiquity*. Cualquier omisión o malinterpretación es responsabilidad mía.

Referencias

- ALTUNA, J., 1980, *Historia de la domesticación animal en el País Vasco desde sus orígenes hasta la romanización*, Sociedad de Ciencias Aranzadi, San Sebastián.
- ANDERUNG, C., BOUWMAN, A., PERSSON, P., CARRETERO, J. M., ORTEGA, A.I., ELBURG, R. ... y GÖTHERSTRÖM, A., 2005, Prehistoric contacts over the Straits of Gibraltar indicated by genetic analysis of Iberian Bronze Age cattle, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102(24), 8431-8435.
- BALASSE, M., 2002, Reconstructing dietary and environmental history from enamel isotopic analysis: time resolution of intra-tooth sequential sampling, *International Journal of Osteoarchaeology* 12(3), 155-165.
- BALASSE, M., AMBROSE, S.H., SMITH, A. B. y PRICE, T. D., 2002, The seasonal mobility model for prehistoric herders in the south-western Cape of South Africa assessed by isotopic analysis of sheep tooth enamel, *Journal of Archaeological Science* 29(9), 917-932.
- BENTLEY, R. A. y KNIPPER, C., 2005, Transhumance at the early Neolithic settlement at Vaihingen (Germany), *Antiquity* 79(306), 1-3.
- BOCHERENS, H., KOCH, P. L., MARIOTTI, A., GERAADS, D., y JAEGER, J. J., 1996, Isotopic biogeochemistry (^{13}C , ^{18}O) of mammalian enamel from African Pleistocene hominid sites, *Palaeos*, 306-318.

- BOOKSTEIN, F. L., 1991, *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- BRIGGS, A. W., GOOD, J. M., GREEN, R. E., KRAUSE, J., MARICIC, T., STENZEL, U., LALUEZA-FOX, C., RUDAN, P., BRAJKOVIC, D., KUCAN, Ž., GUŠIĆ, I., SCHMITZ, R., DORONICHEV, V. B., GOLOVANOVA, L. V., DE LA RASILLA, M., FORTEA, J., ROSAS, A. y PÄÄBO, S., 2009, Targeted Retrieval and Analysis of Five Neandertal mtDNA Genomes, *Science* 325, 318-321.
- BRITTON, K., GRIMES, V., DAU, J. y RICHARDS, M. P., 2009, Reconstructing faunal migrations using intra-tooth sampling and strontium and oxygen isotope analyses: a case study of modern caribou (*Rangifer tarandus granti*), *Journal of Archaeological Science* 36(5), 1163-1172.
- BRITTON, K., GRIMES, V., NIVEN, L., STEELE, T.E., MCPHERRON, S., SORESSI, M. ... y RICHARDS, M. P., 2011, Strontium isotope evidence for migration in late Pleistocene Rangifer: Implications for Neanderthal hunting strategies at the Middle Palaeolithic site of Jonzac, France, *Journal of Human Evolution* 61(2), 176-185.
- CARDOSO, J. L., VILSTRUP, J. T., EISENMANN, V. y ORLANDO, L., 2013, First evidence of *Equus asinus* L., en The Chalcolithic disputes the Phoenicians as the first to introduce donkeys into the Iberian Peninsula, *Journal of Archaeological Science* 40(12), 4483-4490.
- CATAGNANO, V., 2016, *Aproximación morfológica y paleogenética al estudio de la variabilidad de C. l. familiaris en la Península Ibérica desde el Neolítico hasta época romana y su contextualización en el ámbito del Mediterráneo occidental*. Universitat Autònoma de Barcelona (tesis de doctorado).
- CERLING, T. E., HARRIS, J. M., AMBROSE, S. H., LEAKEY, M. G. y SOLOUNIAS, N., 1997, Dietary and environmental reconstruction with stable isotope analyses of herbivore tooth enamel from the Miocene locality of Fort Ternan, Kenya, *Journal of Human Evolution* 33(6), 635-650.
- CHAMPLLOT, S., BERTHELOT, C., PRUVOST, M., BENNETT, E. A., GRANGE, T. y GEIGL, E. M., 2010, An efficient multistrategy DNA decontamination procedure of PCR reagents for hypersensitive PCR applications, *PLOS ONE*, 5(9), e13042.
- COLOMINAS, L., EDWARDS, C. J., BEJA-PEREIRA, A., VIGNE, J. D., SILVA, R. M., CASTANYER, P., ... y HOWE, C. J., 2015, Detecting the T1 cattle haplogroup in the Iberian Peninsula from Neolithic to medieval times: new clues to continuous cattle migration through time, *Journal of Archaeological Science* 59, 110-117.
- COLOMINAS, L., EVIN, A., BURCH, J., CAMPMAJÓ, P., CASAS, J., CASTANYER, P., ... y TREMOLEDA, J., 2019, Behind the steps of ancient sheep mobility in Iberia: new insights from a geometric morphometric approach, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1-12.
- CUCCHI, T., VIGNE, J. D. y AUFRAY, J. C., 2005, First occurrence of the house mouse (*Mus musculus domesticus* Schwarz & Schwarz, 1943) in the Western Mediterranean: a zooarchaeological revision of subfossil occurrences, *Biological Journal of the Linnean Society* 84(3), 429-445.
- DAVIS, S. J., SVENSSON, E. M., ALBARELLA, U., DETRY, C., GÖTHERSTRÖM, A., PIRES, A. E. y GINJA, C., 2012, Molecular and osteometric sexing of cattle metacarpals: a case study from 15th century AD Beja, Portugal, *Journal of Archaeological Science* 39(5), 1445-1454.
- DESALLE, R., BARCIA, M. y WRAY, C., 1993, PCR jumping in clones of 30-million-year-old DNA fragments from amber preserved termites (*Mastotermes electrodominicus*), *Experientia* 49, 906-909.
- DÍAZ ZORITA-BONILLA, M., KNUDSON, K. J., ESCUDERO CARRILLO, J., BOCHERENS, H. y GARCÍA SANJUÁN, L., 2017, Mobility patterns and paleodietary insights into humans and cattle at the Copper Age Mega-site of Valencina (Seville, Spain) through ¹⁸O and ¹³C isotope analyses, *Menga: Revista de prehistoria de Andalucía* 8, 53-68.
- DUVAL, C., LEPETZ, S., HORARD-HERBIN, M. P. y CUCCHI, T., 2015, Did Romanization impact Gallic pig morphology? New insights from molar geometric morphometrics, *Journal of Archaeological Science* 57, 345-354.

- EVANS, J. A., MONTGOMERY, J., WILDMAN, G. y BOULTON, N., 2010, Spatial variations in biosphere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in Britain, *Journal of the Geological Society*, 167(1), 1-4.
- EVIN, A., DOBNEY, K., SCHAFBERG, R., OWEN, J., VIDARSDOTTIR, U. S., LARSON, G. y CUCCHI, T., 2015, Phenotype and animal domestication: A study of dental variation between domestic, wild, captive, hybrid and insular *Sus scrofa*, *BMC Evolutionary Biology* 15(1), 6.
- EVIN, A., DOBNEY, K. y CUCCHI, T., 2017, A history of pig domestication: new ways of exploring a complex process, *Ecology, Conservation and Management of Wild Pigs and Peccaries*. Cambridge University Press, Cambridge.
- FAGES, A., HANGHØJ, K., KHAN, N., GAUNITZ, C., SEGUIN-ORLANDO, A., LEONARDI, M., ... y ALFARHAN, A. H., 2019, Tracking five millennia of horse management with extensive ancient genome time series, *Cell* 177(6), 1419-1435.
- FERNÁNDEZ, H., HUGHES, S., VIGNE, J. D., HELMER, D., HODGINS, G., MIQUEL, C., ... y TABERLET, P., 2006, Divergent mtDNA lineages of goats in an Early Neolithic site, far from the initial domestication areas, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(42), 15375-15379.
- FRANTZ, L. A. F., MULLIN, V. E., PIONNIER-CAPITAN, M., LEBRASSEUR, O., OLLIVIER, M., PERRI, A., LINDERHOLM, A., MATTIANGELI, V., TEASDALE, M. D., DIMOPOULOS, E. A., TRESSET, A., DUFFRAISSE, M., MCCORMICK, F., BARTOSIEWICZ, L., GÁL, E., NYERGES, E. A., SABLIN, M. V., BRÉHARD, S., MASHKOUR, M., BALASESCU, A., GILLET, B., HUGHES, S., CHASSAING, O., HITTE, C., VIGNE, J. D., DOBNEY, K., HANNI, C., BRADLEY, D. G. y LARSON, G., 2016, Genomic and archaeological evidence suggest a dual origin of domestic dogs, *Science* 352, 1228e1231, <<https://doi.org/10.1126/science.aaf3161>>.
- FRANTZ, L. A., HAILE, J., LIN, A. T., SCHEU, A., GEÖRG, C., BENECKE, N., ... y BATTISTA, V. M., 2019, Ancient pigs reveal a near-complete genomic turnover following their introduction to Europe, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(35), 17231-17238.
- GEIGL, E. M., 2002, On the circumstances surrounding the preservation and analysis of very old DNA, *Archaeometry* 44(3), 337-342.
- GERLING, C., DOPPLER, T., HEYD, V., KNIPPER, C., KUHN, T., LEHMANN, M. F., ... y SCHIBLER, J., 2017, High-resolution isotopic evidence of specialised cattle herding in the European Neolithic, *PLOS ONE* 12(7), e0180164.
- HIGUCHI, R., BOWMAN, B., FREIBERGER, M., RYDER, O. A. y WILSON, A. C., 1984, DNA sequences from the quagga, an extinct member of the horse family, *Nature* 312, 282-284.
- HOPPE, K. A., STOVER, S. M., PASCOE, J. R. y AMUNDSON, R., 2004, Tooth enamel biomineralization in extant horses: implications for isotopic microsampling, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 206(3-4), 355-365.
- KRISTIANSEN, K., 2014, Towards a new paradigm. The third science revolution and its possible consequences in archaeology, *Current Swedish Archaeology* 22, 11-34.
- LARSON, G., DOBNEY, K., ALBARELLA, U., FANG, M., MATISOO-SMITH, E., ROBINS, J. ... y ROWLEY-CONWY, P., 2005, Worldwide phylogeography of wild boar reveals multiple centers of pig domestication, *Science* 307(5715), 1618-1621.
- LARSON, G., ALBARELLA, U., DOBNEY, K., ROWLEY-CONWY, P., SCHIBLER, J., TRESSET, A., ... y BĂLĂŢESCU, A., 2007, Ancient DNA, pig domestication, and the spread of the Neolithic into Europe, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(39), 15276-15281.
- LE ROUX, P. J., LEE-THORP, J. A., COPELAND, S. R., SPONHEIMER, M. y DE RUITER, D. J., 2014, Strontium isotope analysis of curved tooth enamel surfaces by laser-ablation multi-collector ICP-MS, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 416, 142-149.
- LEWIS, J., COATH, C. D. y PIKE, A. W. G., 2014, An improved protocol for $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ by laser ablation multi-collector inductively coupled

- plasma mass spectrometry using oxide reduction and a customised plasma interface, *Chemical Geology*, 390, 173-181.
- LIRA, J., LINDERHOLM, A., OLARIA, C., BRANDSTRÖM DURLING, M., GILBERT, M. T. P., ELLEGREN, H., ... y GÖTHERSTRÖM, A., 2010, Ancient DNA reveals traces of Iberian Neolithic and Bronze Age lineages in modern Iberian horses, *Molecular Ecology* 19(1), 64-78.
- LYCETT, S. J., VON CRAMON-TAUBADEL, N. y GOWLETT, J. A., 2010, A comparative 3D geometric morphometric analysis of Victoria West cores: implications for the origins of Levallois technology, *Journal of Archaeological Science* 37(5), 1110-1117.
- MACHOLÁN, M., 2006, A geometric morphometric analysis of the shape of the first upper molar in mice of the genus *Mus* (Muridae, Rodentia), *Journal of Zoology* 270(4), 672-681.
- MAKAREWICZ, C. A. y SEALY, J., 2015, Dietary reconstruction, mobility, and the analysis of ancient skeletal tissues: expanding the prospects of stable isotope research in archaeology, *Journal of Archaeological Science* 56, 146-158.
- MAKAREWICZ, C. A. y PEDERZANI, S., 2017, Oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) isotopic distinction in sequentially sampled tooth enamel of co-localized wild and domesticated caprines: Complications to establishing seasonality and mobility in herbivores, *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology* 485, 1-15.
- MARGULIES, M., EGHOLM, M., ALTMAN, W. E., ATTIYA, S., BADER, J. S., BEMBEN, L. A., BERKA, J., BRAVERMAN, M. S., CHEN, Y. J., CHEN, Z. T. *et al.*, 2005, Genome sequencing in microfabricated high-density picolitre reactors, *Nature* 437, 376-380.
- MORALES MUÑIZ, A., CEREJO-PECHARROMAN, M. A., HERNÁNDEZ-CARRASQUILLA, F. y LIESAU VON LETTOW-VORBECK, C., 1995a, Of mice and sparrows: commensal faunas from the Iberian Iron Age in the Duero Valley (Central Spain), *International Journal of Osteoarchaeology* 5(2), 127-138.
- MORALES MUÑIZ, A. M., RIQUELME, J. A. y LIESAU VON LETTOW-VORBECK, C., 1995b, Dromedaries in antiquity: Iberia and beyond, *Antiquity* 69(263), 368-375.
- MULLIS, K., FALOONA, F., SCHARF, S., SAIKI, R. K., HORN, G. T. y ERLICH, H., 1986, Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction, *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 51, 263-273.
- NADAL, J., ALBIZURI, S. y MAROTO, J., 2010, Els orígens del burro domèstic a la Mediterrània i a la Península Ibèrica segons les dades arqueològiques, en *La recuperació del burro català. Aspectes culturals i biològics*, Centre d'Estudis Comarcals de Banyoles, 37-56.
- NIETO ESPINET, A., VALENZUELA-LAMAS, BOSCH, D. y GARDEISEN, A., en prensa, 'Off the market?' Zooarchaeological and strontium isotopic results from Iron Age La Monédière and Lattara (Hérault, France), *Journal of Archaeological Science: Reports*.
- ORTEGA, L. A., GUEDE, I., ZULUAGA, M. C., ALONSO-OLAZABAL, A., MURELAGA, X., NISO, J. ... y QUIRÓS CASTILLO, J. A., 2013, Strontium isotopes of human remains from the San Martín de Dulantzi graveyard (Alegría-Dulantzi, Álava) and population mobility in the Early Middle Ages, *Quaternary International* 303, 54-63.
- OWEN, J., DOBNEY, K., EVIN, A., CUCCHI, T., LARSON, G., y VIDARSDOTTIR, U. S., 2014, The zooarchaeological application of quantifying cranial shape differences in wild boar and domestic pigs (*Sus scrofa*) using 3D geometric morphometrics, *Journal of Archaeological Science* 43, 159-167.
- PAIJMANS, J. L., GILBERT, M. T. P. y HOFREITER, M., 2013, Mitogenomic analyses from ancient DNA, *Molecular phylogenetics and evolution* 69(2), 404-416.
- PEREIRA, F., QUEIRÓS, S., GUSMÃO, L., NIJMAN, I. J., CUPPEN, E., LENSTRA, J. A. ... y AMORIM, A., 2009, Tracing the history of goat pastoralism: new clues from mitochondrial and Y chromosome DNA in North Africa, *Molecular Biology and Evolution* 26(12), 2765-2773.

- PIRES, A. E., OURAGH, L., KALBOUSSI, M., MATOS, J., PETRUCCI-FONSECA, F. y BRUFORD, M. W., 2006, Mitochondrial DNA sequence variation in Portuguese native dog breeds: diversity and phylogenetic affinities, *Journal of Heredity* 97(4), 318-330.
- PIRES, A. E., DETRY, C., FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, C., VALENZUELA-LAMAS, S., ARRUDA, A. M., MAZZORIN, J. D. G. ... y GINJA, C., 2018, Roman dogs from the Iberian Peninsula and the Maghreb—A glimpse into their morphology and genetics, *Quaternary International* 471, 132-146.
- POINAR, H. N., SCHWARZ, C., QI, J., SHAPIRO, B., MACPHEE, R. D. E., BUIGUES, B., TIKHONOV, A., HUSON, D. H., TOMSHO, L. P., AUCH, A., RAMPP, M., MILLER, W. y SCHUSTER, S. C., 2006, Metagenomics to paleogenomics: Large-scale sequencing of mammoth DNA, *Science* 311, 392-394.
- PÖLLATH, N., SCHAFBERG, R. y PETERS, J., 2019, Astragalar morphology: approaching the cultural trajectories of wild and domestic sheep applying geometric morphometrics, *Journal of Archaeological Science: Reports* 23, 810-821.
- PRUVOST, M., GRANGE, T. y GEIGL, E. M., 2005, Minimizing DNA contamination by using UNG-coupled quantitative real-time PCR on degraded DNA samples: application to ancient DNA studies, *Biotechniques* 38(4), 569-575.
- RIQUELME-CANTAL, J. A., SIMÓN-VALLEJO, M. D., PALMQVIST, P. y CORTÉS-SÁNCHEZ, M., 2008, The oldest mongoose of Europe, *Journal of Archaeological Science* 35(9), 2471-2473.
- ROHLAND, N. y HOFREITER, M., 2007, Ancient DNA extraction from bones and teeth, *Nature protocols* 2(7), 1756.
- ROHLF, F. J. y MARCUS, L. F., 1993, A revolution morphometrics, *Trends in ecology & evolution* 8(4), 129-132.
- ROSELLÓ, E. y MORALES, A. (ed.), 1994, *Castillo de Doña Blanca. Archaeoenvironmental investigations in the Bay of Cádiz, Spain (750-500 B.C.)*, BAR International Series, 593, Oxford.
- SCHLUMBAUM, A., TURGAY, M. y SCHIBLER, J., 2006, Near East mtDNA haplotype variants in Roman cattle from Augusta Raurica, Switzerland, and in the Swiss Evolene breed, *Animal Genetics* 37(4), 373-375.
- SELDEN, R. Z., PERTTULA, T. K. y O'BRIEN, M. J., 2014, Advances in documentation, digital curation, virtual exhibition, and a test of 3D geometric morphometrics: a case study of the Vanderpool vessels from the ancestral Caddo territory, *Advances in Archaeological Practice* 2(2), 64-79.
- SHAPIRO, B. y HOFREITER, M., 2012, *Ancient DNA. Methods and Protocols*, Humana Press.
- SPONHEIMER, M. y LEE-THORP, J. A., 1999, Oxygen isotopes in enamel carbonate and their ecological significance, *Journal of Archaeological Science* 26(6), 723-728.
- TORNERO, C., AGUILERA, M., FERRIO, J. P., ARCUSA, H., MORENO-GARCÍA, M., GARCIA-REIG, S. y ROJO-GUERRA, M., 2018, Vertical sheep mobility along the altitudinal gradient through stable isotope analyses in tooth molar bioapatite, meteoric water and pastures: A reference from the Ebro valley to the Central Pyrenees, *Quaternary International* 484, 94-106.
- UERPMANN, H. P., 1990, Die Domestikation des Pferdes im Chalkolithikum West- und Mitteleuropas, mit 10 Textabbildungen, *Madriider Mitteilungen* 31, 109-153.
- VALENZUELA-LAMAS, S., JIMÉNEZ-MANCHÓN, S., EVANS, J., LÓPEZ, D., JORNET, R. y ALBARELLA, U., 2016, Analysis of seasonal mobility of sheep in Iron Age Catalonia (north-eastern Spain) based on strontium and oxygen isotope analysis from tooth enamel: First results, *Journal of Archaeological Science: Reports* 6, 828-836.
- VALENZUELA-LAMAS, S., ORENGO, H. A., BOSCH, D., PELLEGRINI, M., HALSTEAD, P., NIETO-ESPINET, A., TRENTACOSTE, A., JIMÉNEZ-MANCHÓN, S., LÓPEZ-REYES, D. y JORNET-NIELLA, R., 2018, Shipping amphorae and shipping sheep? Livestock mobility in the north-east Iberian peninsula during the Iron Age

based on strontium isotopic analyses of sheep and goat tooth enamel, *PLOS ONE* 13(10), e0205283.

VERDUGO, M. P., MULLIN, V. E., SCHEU, A., MATTIANGELI, V., DALY, K. G., DELSER, P. M. ... y HESSE, P., 2019, Ancient cattle genomics, origins, and rapid turnover in the Fertile Crescent, *Science* 365(6449), 173-176.

WARMUTH, V., ERIKSSON, A., BOWER, M. A., CAÑÓN, J., COTHRAN, G., DISTL, O., GLOWATZKI-MULLIS, M. L., HUNT, H., LUÍS, C., DO MAR OOM, M. *et al.*, 2011, European domestic horses originated in two holocene refugia, *PLOS ONE* 6, e18194.

WILLMES, M., KINSLEY, L., MONCEL, M. H., ARMSTRONG, R. A., AUBERT, M., EGGINS, S. y GRÜN, R., 2016, Improvement of laser ablation in situ micro-analysis to identify diagenetic alteration and measure strontium isotope ratios in fossil human teeth, *Journal of Archaeological Science* 70, 102-116.

WILLMES, M., BATAILLE, C. P., JAMES, H. F., MOFFAT, I., MCMORROW, L., KINSLEY, L.

... y GRÜN, R., 2018, Mapping of bioavailable strontium isotope ratios in France for archaeological provenance studies, *Applied Geochemistry* 90, 75-86.

WRIGHT, E., WATERMAN, A. J., PEATE, D. W., KUNST, M., CARDOSO, J. L. y DETRY, C., 2019, Animal mobility in Chalcolithic Portugal: Isotopic analyses of cattle from the sites of Zambujal and Leceia, *Journal of Archaeological Science: Reports* 24, 804-814.

ŽALAIT, I., MAURER, A. F., GRIMES, V., SILVA, A. M., RIBEIRO, S., SANTOS, J. F. ... y VALERA, A. C., 2018, Diet and mobility of fauna from Late Neolithic–Chalcolithic site of Perdigoões, Portugal, *Journal of Archaeological Science: Reports* 19, 674-685.

ZAZZO, A., BENDREY, R., VELLA, D., MOLONEY, A. P., MONAHAN, F. J. y SCHMIDT, O., 2012, A refined sampling strategy for intra-tooth stable isotope analysis of mammalian enamel, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 84, 1-13.