

12

WHAT BONES TELL US / EL QUE ENS EXPLIQUEN ELS OSSOS

Lluís Lloveras, Carme Rissech, Jordi Nadal, Josep Maria Fullola (eds.)



MONOGRAFIES

12

**What bones tell us
El que ens expliquen els ossos**

Lluís Lloveras, Carme Rissech, Jordi Nadal i Josep Maria Fullola (eds.)



SERP
(Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques)
UNIVERSITAT DE BARCELONA
2016

MONOGRAFIES DEL SERP

INFORMACIÓ I VENDES: SERP (Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques)

Montalegre, 6
Facultat de Geografia i Història
Universitat de Barcelona
08001 Barcelona
E-mail: fullola@ub.edu



Es permet la generació d'obres derivades sempre que no s'en faci un ús comercial. Tampoc es pot utilitzar l'obra original amb finalitats comercials. En qualsevol explotació de l'obra autoritzada per la llicència caldrà reconèixer l'autoria.

Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales. En cualquier explotación de la obra autorizada por la licencia hará falta reconocer la autoría.

© del text, els autors
Producció: Albert Rubio
Impressió: Gráficas San Sadurní
Dipòsit legal: B 22458-2016
ISBN: 978-84-944730-1-2
Imprès a Espanya
Barcelona, 2016

Sumari

Presentació. El que ens expliquen el ossos - What bones tell us (<i>Lluís Lloveras, Carme Rissech, Jordi Nadal i Josep Maria Fullola</i>)	7
Archaeoethanatology in the English-speaking world: the belated spread and potential applications of a methodologically rigorous approach to mortuary analysis (<i>Jo Appleby</i>)	13
1. Introduction	13
2. Archaeoethanatology	14
3. Anthropologie de terrain in English-language archaeology	15
4. Applying archaeoethanatology retrospectively	16
5. The limitations of retrospective archaeoethanatology: complex burials in the British Bronze Age. . .	17
6. Complications in archaeoethanatology	21
7. Conclusion	22
Acknowledgements	22
References	22
Aplicación de los análisis de ADN antiguo e isótopos estables en arqueozoología (<i>Lidia Colominas, Maria Saña y Carlos Tornero</i>)	25
1. Introducción	26
2. Arqueozoología y ADN antiguo	26
2.1. Principales aplicaciones del ADN antiguo en arqueozoología	26
2.2. Limitaciones del estudio del ADN antiguo	27
2.3. Futuro hecho presente: la secuenciación de nueva generación	27
3. Arqueozoología e isótopos estables	27
3.1. Principales aplicaciones del análisis de isótopos estables en arqueozoología	28
3.2. Limitaciones de los estudios basados en análisis isotópicos	29
4. Consideraciones finales y conclusiones	29
Referencias	30
Hacia una distinción métrica entre los astrágalos de oveja y cabra (<i>Simon J.M. Davis</i>)	35
1. Introducción	36
2. Ovejas <i>versus</i> cabras	36
3. Anatomía	37
4. Material	37
5. Métodos	44
6. Resultados y discusión	44
6.1. Sexo, edad y alimentación	44
6.2. Especímenes modernos de identidad conocida	44
6.3. Especímenes arqueológicos identificados previamente con los criterios de Boessneck (1969)	46
6.4. ¿Qué muestran estos gráficos?	48
7. Y para ayudar a los arqueozoólogos de la Península Ibérica	52
8. Conclusiones	52
Agradecimientos	52
Referencias	54
Apéndice	55
La tafonomia, una eina clau per interpretar la història de les restes osteoarqueològiques i forenses (<i>Lluís Lloveras</i>)	59
1. Introducció	59
2. Alteracions tafonòmiques	60
2.1. Dispersió i transport, alteracions causades per corrents d'aigua	61
2.2. Fragmentació, fractures en fresc i fractures en sec	62

2.3. Meteorització o <i>weathering</i>	64
2.4. Activitat d'animals, els carnívors terrestres	65
2.5. Activitat de plantes, alteracions per arrels	68
2.6. Els humans com a agents tafonòmics	69
3. Conclusions	71
Agraïments	72
Referències	72
La ictioarqueología. La identificación de los restos de peces de yacimientos arqueológicos (<i>Arturo Morales Muñiz, Laura Llorente Rodríguez, Nayeli Jiménez Cano, Begoña López Arias y Eufrasia Roselló Izquierdo</i>)	77
1. Introducción	77
2. Identificación e identificabilidad: antiguos problemas y nuevos enfoques	78
3. Identificación biomolecular	81
3.1. ADN	81
3.2. Proteínas	81
3.3. Isòtops estables	82
4. Fuentes complementarias: la iconografía	83
5. Conclusiones	84
Referencias	84
Osteoarqueología y cazadores-recolectores. Más allá de la subsistencia (<i>Jordi Nadal</i>)	87
1. Introducción	87
2. Teoría de los cazadores-recolectores	88
3. Sobre el uso de los primeros instrumentos. Aportaciones de la tafonomía	89
4. Cazadores de cabra montés en las montañas de Tarragona al final del Paleolítico	90
5. La Balma del Gai (Barcelona): ¿un campamento base modelo <i>forager</i> durante el Epipaleolítico?	92
6. Recapitulación	94
Agradecimientos	94
Referencias	95
Desarrollo de la remodelación angular del fémur durante la pubertad mediante telemetrías en población viva española actual (<i>Aniol Pujol</i>)	97
1. Introducción	98
2. Material y métodos	98
3. Resultados	99
4. Discusión	100
5. Conclusiones	103
Agradecimientos	103
Referencias	103
Descripció morfològica de vuit cranis procedents del sector de l'antic cementiri parroquial del jaciment arqueològic de Sant Julià de Ramis (Girona) (<i>Francisco Reina, Anna Carrera, Carme Rissech, Neus Coromina, Josep Burch, Jordi Sagrera i Jordi Vivo</i>)	105
1. Introducció	106
2. Material i mètodes	107
3. Resultats	108
4. Discussió	110
Referències	111
Estimació de l'edat d'individus immadurs mitjançant el creixement longitudinal dels elements esquelètics (<i>Carme Rissech</i>)	113
1. Introducció	114
2. Ritme de creixement	114
2.1. Com s'apliquen les fórmules per a l'estimació de l'edat dels individus immadurs?	116
3. Conclusions	117
Agraïments	118
Referències	118

Towards the characterization of different butchery activities on leporid carcasses through experimental studies (<i>Nadibuska Y. Rosado-Méndez, Lluís Lloveras and Jordi Nadal</i>)	121
1. Introduction	121
2. Materials	123
3. Method	124
3.1. Butchery	124
3.2. Sample preparation and analysis	124
4. Results	125
4.1. Defleshing	125
4.2. Scraping	130
4.3. Tendons removal	131
5. Discussion	131
6. Conclusions	132
Acknowledgements	133
References	133
La estimación de una edad en esqueletos adultos a través de la morfología acetabular (<i>Marta San Millán</i>)	135
1. Introducción	135
2. El acetábulo como marcador de la edad adulta	136
3. Nuevas aproximaciones	140
4. Conclusiones	142
Referencias	142
El conejo en la subsistencia humana del Paleolítico superior inicial en la zona central del Mediterráneo ibérico (<i>Alfred Sanchis, Cristina Real, Manuel Pérez Ripoll y Valentín Villaverde</i>)	145
1. Introducción	145
2. Materiales y métodos	146
2.1. Sitios y conjuntos estudiados	146
2.2. Metodología	146
3. Resultados	147
3.1. Cuantificación, perfiles de mortalidad y de supervivencia esquelética	147
3.2. Fragmentación de los restos	148
3.2.1. Morfotipos de fractura	148
3.3. Modificaciones de origen humano	150
3.3.1. Procesos de fractura	150
3.3.2. Marcas de corte	150
3.3.3. Termoalteraciones	150
3.3.4. Huesos digeridos	150
3.4. Modificaciones causadas por la acción de otros predadores	150
4. Discusión y conclusiones	152
Agradecimientos	154
Referencias	154

Aplicación de los análisis de ADN antiguo e isótopos estables en arqueozoología

Lidia Colominas*

Maria Saña**

Carlos Tornero***

* ICAC, Institut Català d'Arqueologia Clàssica (Tarragona)

** Laboratori d'Arqueozoologia, Departament de Prehistòria (Universitat Autònoma de Barcelona)

*** IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social Tarragona, Spain
y Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Tarragona, Spain

RESUMEN

En los últimos años los análisis de ADN y de isótopos estables se han incorporado de manera sistemática a la investigación arqueológica. Estas aplicaciones han supuesto un cambio radical en las posibilidades de la Arqueozoología y en la propia concepción de la representatividad histórica de los conjuntos faunísticos. Los análisis paleomoleculares conllevan una serie de ventajas respecto a las metodologías y técnicas que tradicionalmente se vienen utilizando en Arqueozoología. La primera es la posibilidad de incidir directamente en la dinámica y régimen de vida de las poblaciones animales vivas (caracterización de las estrategias de reproducción, alimentación y movilidad a que se ven sometidas), hecho hasta ahora prácticamente imposible a partir de los procedimientos tradicionales. La segunda ventaja contempla la posibilidad de ampliar de manera significativa la resolución temporal de las muestras con las que se trabaja, permitiendo estudiar y analizar las dinámicas históricas a escalas temporales significativamente reducidas, característica que ha permitido incidir en determinados aspectos hasta ahora difícilmente evidenciables o que no tenían visibilidad arqueológica directa. Se presentan en este capítulo las principales líneas de investigación y problemáticas históricas en las que este tipo de analíticas intervienen, discutiendo sus posibilidades y limitaciones. Se remarca en este sentido el carácter interdisciplinario de los estudios bioquímicos y paleomoleculares y las posibilidades de abordar, a partir de los mismos, cuestiones de índole muy diversa.

PALABRAS CLAVE: ARQUEOZOLOGÍA, ISOTOPOS ESTABLES, ADN ANTIGUO

ABSTRACT

During the last years ancient DNA and stable isotope analyses has been currently used in archaeological research. These applications totally enlarged limits and possibilities of the zooarchaeological studies changing the historical meaning of the faunal assemblages recovered in archaeological sites. Ancient biomolecular analyses have different advantages from techniques and methods traditionally used in Zooarchaeology. First, the possibility to directly investigate the dynamics and way of life of the living animal populations (i.e. reproductive patterns, dietary habits and movility patterns), very difficult to achieve from traditional approaches. Secondly, broadening the temporal resolution of the samples, getting access to historical events in reduced timescales. These advantages allowed to fall on questions very difficult to evidence from archaeological studies, so far almost invisible. In this work are presented the main research lines and themes investigated from these analyses, debating current possibilities and limitations. This work highlight the interdisciplinary character of the ancient biomolecular studies and the possibilities to abroad different subjects.

KEYWORDS: ZOOARCHAEOLOGY, STABLE ISOTOPES, ANCIENT DNA

1. INTRODUCCIÓN

La arqueozoología, como disciplina analítica, constituye un instrumento altamente eficaz para la generación de conocimiento sobre la dinámica de las sociedades en el pasado. A partir del análisis de los restos de fauna es posible incidir en la totalidad de ámbitos que conforman el quehacer social: economía, ecología, política e ideología. El análisis del registro arqueozoológico, desde una perspectiva amplia, no queda relegado ya al estudio de las pautas ambientales y alimentarias del pasado, sino que cada vez va cobrando un mayor peso en el estudio de los procesos de producción, distribución y consumo, siendo en la actualidad un medio necesario e imprescindible en la práctica mayoría de proyectos desarrollados en Arqueología. En consonancia a los avances metodológicos y técnicos que en los últimos años vienen integrándose al trabajo arqueológico, la disciplina arqueozoológica ha visto ampliadas de forma significativa sus posibilidades. Las nuevas tecnologías están contribuyendo a cambiar la concepción de los trabajos implicados en la recuperación y registro de los restos de fauna, en su determinación anatómica y específica, en los análisis arqueotafonómicos y biométricos. La tradicional «colección de referencia» se ha visto ampliada con los atlas digitales. La toma automática de medidas permite trabajar con bases de datos relacionales y obtener resoluciones gráficas de gran capacidad en pocos minutos. Los escáneres de microhuellas permiten identificar trazas y alteraciones hasta el momento inapreciables. Todas estas ventajas técnicas, por citar algunas, están contribuyendo a cambiar la concepción del propio resto de fauna y, con ello, a cambiar también la dinámica de trabajo en arqueozoología. Si durante los años 70-80 se compartimentaban los análisis arqueozoológicos en base a las diferentes categorías de materiales que conforman el registro arqueozoológico (microfauna, ictiofauna, avifauna, malacofauna, macrofauna), en los años venideros se asistirá, sin duda, a la compartimentación arqueométrica. Es destacable en este sentido la rapidez en que se está produciendo el cambio, hecho que incide en las perspectivas de análisis y, con ello, en la propia formación que se espera de las personas que se dedican a la arqueozoología. En el marco general de los análisis biogeoquímicos aplicados en la investigación en arqueozoología deben destacarse, por su profusión y alcance instrumental, los análisis genéticos y los análisis de isótopos estables.

2. ARQUEOZOLOGÍA Y ADN ANTIGUO

El ADN o ácido desoxirribonucleico es la molécula en la que se encuentra codificada toda la información genética de los organismos. Es el componente químico primario de los cromosomas, material del cual están formados los genes. El ADN se localiza principalmente en el núcleo, aunque también existe una pequeña cantidad en las mitocondrias.

El ADN antiguo (ADNa) es el ADN extraído de restos (huesos, dientes, tejidos blandos, etc.) de especímenes procedentes de museos, yacimientos arqueológicos o paleontológicos. El ADNa se caracteriza por estar fragmentado y degradado debido a las reacciones de oxidación e hidrólisis que se producen inmediatamente después de la muerte de cualquier organismo (Pääbo *et al.*, 2004). A pesar de estas características intrínsecas, en la década de los 80 se demostró que algunos fragmentos de ADN podían sobrevivir en los tejidos preservados de animales extintos (Higuchi *et al.*, 1984; Thomas *et al.*, 1989). Estos primeros estudios, realizados a partir de la técnica de la clonación, supusieron el comienzo de las investigaciones en paleogenética.

Algunas décadas después, con la introducción de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), técnica que permite amplificar regiones de ADNa a partir de cantidades mínimas de material genético (Saiki *et al.*, 1984; Pääbo *et al.*, 1989), se consiguió replicar regiones concretas de la secuencia del ADN y reducir el tiempo y los costes de extracción. Este hecho supuso la expansión de los análisis de ADNa en arqueozoología.

2.1. PRINCIPALES APLICACIONES DEL ADN ANTIGUO EN ARQUEOZOLOGÍA

Actualmente, los estudios que pueden ser abordados mediante la técnica de la PCR se pueden englobar en tres grandes grupos: los estudios de identificación taxonómica y sexual, los estudios filogenéticos y los estudios de caracterización genética.

Los estudios de identificación taxonómica y sexual permiten determinar restos no diagnósticos o de difícil identificación entre especies morfológicamente similares (Kahila *et al.*, 2003; Svenson *et al.*, 2008; Davis *et al.*, 2012). Estos estudios también se han aplicado para identificar la materia prima de pigmentos (Reese *et al.*, 1996) o de pergaminos (Campana *et al.*, 2010).

Los estudios filogenéticos permiten caracterizar grupos de población a partir de los cambios en la

diversidad genética. Estos cambios pueden reflejar fluctuaciones demográficas, la existencia de flujo genético entre distintas poblaciones o sustituciones de poblaciones, pudiendo proporcionar información sobre problemáticas históricas como la evolución de las poblaciones (Valdiosera *et al.*, 2007; Ureña *et al.*, 2011), el proceso de domesticación animal (Troy *et al.*, 2001; Verginelli *et al.*, 2005; Larson *et al.*, 2005), movimientos de población (Anderung *et al.*, 2005; Pellecchia *et al.*, 2007; Ginja *et al.*, 2010) o el comercio de animales (Arndt *et al.*, 2003; Edwards *et al.*, 2003; Colominas y Edwards, 2016).

Otra aplicación del ADN antiguo se centra en secuenciar genes clave en relación a características biológicas específicas de los animales bajo estudio con el fin de inferir en sus características fenotípicas (Stella *et al.*, 2010). Estos estudios investigan la relación entre genes específicos y rasgos fenotípicos, permitiendo incidir en problemáticas históricas relacionadas con la gestión y explotación que se realizó de los animales bajo estudio, como la resistencia a enfermedades (Campana, 2007), la producción de leche (Swensson *et al.*, 2007) o la selección en base al color de la piel (Elsner *et al.*, 2016).

2.2. LIMITACIONES DEL ESTUDIO DEL ADN ANTIGUO

A pesar del gran potencial de la arqueología biomolecular, la obtención de información genética a partir de restos arqueológicos no siempre es posible. Existen ciertas limitaciones relacionadas con el estado de preservación de la muestra o con las propias técnicas de análisis que pueden dificultar o impedir la obtención de ADN.

Tras la muerte y descomposición del organismo, empieza un proceso de degradación molecular que afecta también al ADN. Estudios teóricos y empíricos han demostrado que las mejores condiciones de preservación son aquellos ambientes fríos y secos, protegidos de la luz solar y de menos de 100.000 años de antigüedad (Lindahl, 1993; Pääbo, 1989; Poinar *et al.*, 1996).

Una buena preservación del material genético es condición necesaria pero no suficiente, ya que el ADN tiene la particularidad de tener sustancias que pueden inhibir la reacción enzimática de la PCR (Pääbo *et al.*, 2004). Se han presentado diversos métodos para intentar aislar estos inhibidores o tratar de contrarrestar sus efectos, pero estas medidas han hecho aumentar el riesgo de

contaminación de la muestra con ADN exógeno, el mayor de los problemas a la hora de trabajar con material genético. Esta contaminación tanto se puede producir en el mismo yacimiento por parte de microorganismos, hongos u otros animales, durante la excavación, en el museo donde se expone o almacena la muestra y/o durante el análisis en el laboratorio.

2.3. FUTURO HECHO PRESENTE:

LA SECUENCIACIÓN DE NUEVA GENERACIÓN

Actualmente, la técnica de la PCR está siendo relevada por los procedimientos denominados de «nueva generación» o «next generation sequencing» (NGS). Esta tecnología permite analizar simultáneamente billones de secuencias a partir de la secuenciación de moléculas muy cortas, que son las que principalmente se preservan en el ADN y que generalmente no se pueden amplificar a partir de la PCR (Hofreiter *et al.*, 2014; Brown *et al.*, 2015). La técnica de la NGS aumenta así el número de moléculas endógenas antiguas accesibles para la secuenciación y reduce el riesgo de favorecer la creación de moléculas procedentes de contaminantes modernos (Krause *et al.*, 2010).

Estos métodos aún no han sido aplicados ampliamente en materiales arqueozoológicos pero su utilidad ya se ha demostrado para el estudio de la paleogenómica y de los paleopatógenos (Hofreiter *et al.*, 2014). El uso de la técnica de la NGS, por lo tanto, está abriendo nuevos campos de investigación difíciles o imposibles de abordar con el enfoque tradicional de secuenciación de ADN. Queremos resaltar en este sentido, la importancia y la necesidad de que siga existiendo una estrecha colaboración y un buen entendimiento entre las comunidades de arqueozoólogos y genetistas para que esta disciplina siga siendo una herramienta útil para el conocimiento de las sociedades del pasado.

3. ARQUEOZOOLOGÍA E ISÓTOPOS ESTABLES

El análisis de isótopos estables hace referencia a la medición de la composición isotópica de un elemento en forma de abundancia relativa entre dos isótopos estables distintos. Se denominan isótopos estables en oposición a los denominados inestables, que presentan tasas de desintegración más rápidas, y en algunos casos, como el ^{14}C , cuantificadas y explotadas para la obtención de dataciones.

En arqueozoología, y en el ámbito del estudio de los restos de mamíferos, se desarrolla este tipo de análisis a partir de los principales compuestos preservados en los restos esqueléticos: la bioapatita, el colágeno y el colesterol; extraídos principalmente a partir de huesos y dientes (dentina y esmalte dentario). Los análisis se desarrollan a partir de los ratios isotópicos del carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), nitrógeno ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) y estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). En la actualidad se trabajan las posibilidades resolutivas del ratio isotópico de otros elementos como el calcio ($^{44}\text{Ca}/^{42}\text{Ca}$), el azufre ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$), el hidrógeno (D/H) o el plomo ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$), aún en fase de exploración.

Carbono, oxígeno y nitrógeno se incorporan a los diferentes compuestos y tejidos animales con el objetivo de formar todo tejido orgánico, el estroncio se incorpora en el caso de los vertebrados ocupando los emplazamientos del calcio, ambos elementos alcalinotérreos con similares características geoquímicas. El principal interés de estos análisis reside en la posibilidad de aportar información de los individuos estudiados en vida, atendiendo, por ejemplo, a los medios y condiciones medioambientales en los que habitaron o las pautas alimentarias, reproductivas y de movilidad que desarrollaron en vida. Esta información es extremadamente interesante para comprender con mayor detalle las dinámicas de explotación y gestión de los animales por parte de los grupos humanos (Tornero y Saña, 2006; Tornero, 2011).

3.1. PRINCIPALES APLICACIONES DEL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES EN ARQUEOZOLOGÍA

En la actualidad son numerosas las líneas de trabajo en las cuales el análisis de isótopos estables está aportando información en arqueozoología. En el caso del estudio de restos de mamíferos los trabajos pueden resumirse en tres principales líneas de trabajo e investigación. En primer lugar, las aplicaciones focalizadas al estudio de la dieta humana de origen animal. En segundo, el estudio de las condiciones medioambientales, y, por último, y de forma más reciente, el estudio de la gestión y explotación de los recursos animales.

En el caso de los estudios enfocados a la reconstitución de la dieta humana de origen animal, se analizan los restos de fauna recuperados en los yacimientos para la definición y mayor concreción de las dietas humanas, por ejemplo, a partir de comparativas entre las medidas obtenidas a partir de restos humanos y las medidas obtenidas a partir de

restos de fauna asociados a actividades de consumo cárnico en el mismo yacimiento. En esta línea, los estudios emplean los valores $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y en menor medida $\delta^{34}\text{S}$. Por ejemplo, $\delta^{13}\text{C}$ es empleado para discernir entre dietas con aporte marino o terrestre y en el segundo caso, entre dietas vegetales con aporte significativo plantas con vía fotosintética C_4 . El $\delta^{15}\text{N}$ es empleado para determinar la posición del individuo en la cadena trófica. Al igual que el carbono, el nitrógeno y en mayor medida, es un buen indicador del aporte proteínico a la dieta. En conjunto, los valores son empleados para estimar la proporción del consumo de las diferentes especies en la dieta humana. Por último, el $\delta^{34}\text{S}$ se utiliza también como trazador de dieta marina, más sensible aún que el carbono. En este tipo de estudios se analizan principalmente restos óseos y se extrae para análisis el colágeno, sobre el que es posible obtener valores isotópicos en forma de promedios acorde a su tasa dilatada de remodelación.

En relación a los estudios medioambientales, los análisis permiten representar principalmente las condiciones climáticas y del paisaje vegetal en las que vivieron los animales. La información relativa al clima se obtiene principalmente a partir del estudio de secuencias temporales largas donde factores como la temperatura o el volumen de precipitación anual son estimados a partir de los valores isotópicos obtenidos en los restos de fauna analizados y poblaciones modernas. Los datos relativos al paisaje vegetal se obtienen también a partir del análisis de taxones asociados a diferentes recursos vegetales en secuencias cortas. Aportan información relativa a la composición y estructura del paisaje vegetal y permiten representar factores como el grado de aridez o el grado humedad relativa en el pasado. En general, éstos estudios emplean restos de fauna de taxones salvajes y se basan principalmente en las mediciones de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$, y, en menor medida, de $\delta^{15}\text{N}$. Éstos estudios se realizan indistintamente a partir de restos dentarios y óseos, en función de la resolución temporal necesaria para cada estudio. En oposición al tejido óseo, los dientes, y principalmente los de especies con denticiones hipsodontas, permiten obtener muestras a lo largo de la corona dentaria y acorde a la dinámica ontogénica de formación de los tejidos. Esta estrategia de muestreo, también denominada de análisis secuencial intra-dental, permite trabajar con resoluciones temporales acorde al periodo de formación de la corona dentaria, que puede comprender periodos anuales, mensuales o semanales, en función del diente y especie estudiada.

Por último, y en relación a la última línea de trabajo recientemente abierta, los análisis inciden principalmente en el ámbito de la producción. Por ejemplo, se han evidenciado procesos de trabajo vinculados a la producción de animales domésticos a partir de la representación de regímenes de alimentación (Balasse *et al.*, 2016; *in press*) o movilidad (Tornero *et al.*, 2016; *submitted*), pero también y de forma muy importante sobre el control de su reproducción (Balasse *et al.*, 2003; Tornero *et al.*, 2013; 2015). Estos estudios emplean tejido óseo y restos dentarios indistintamente y los valores medidos son principalmente $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

3.2. LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS BASADOS EN ANÁLISIS ISOTÓPICOS

Las principales limitaciones de estos estudios residen en la preservación relativa de los compuestos a analizar. La degradación de los compuestos es importante principalmente en el caso del colágeno y colesterol. En el caso de la bioapatita los iones de fosfato (para mediciones $\delta^{18}\text{O}$) presentan una mayor resistencia frente a los iones de carbonato (para las mediciones $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) ante procesos agresivos de diagénesis.

Las limitaciones inherentes al volumen y cantidad de muestras son también un factor a considerar. En la actualidad, los equipos de espectrometría de masas (IRMS) disponibles emplean cantidades no inferiores a $\sim 300\mu\text{m}$ y $\sim 600\mu\text{m}$ para la medición en muestras de colágeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) y bioapatita ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) respectivamente. Aunque estos pesos son reducidos respecto a los requeridos en instrumentales anteriores siguen siendo una limitación a la hora de obtener resoluciones temporales más precisas a partir de estrategias de micromuestreo.

4. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de aplicaciones concretas de estos dos procedimientos analíticos están demostrando su elevado potencial en el terreno del análisis histórico. Tanto la diversidad de problemáticas abordables como las posibilidades de objetivación empírica avalan en este sentido su eficacia. Las líneas de trabajo que cuentan con un número cuantitativamente más importante de estudios recientemente publicados son las relativas a la domesticación animal y presiones selectivas

aplicadas sobre las poblaciones animales vinculadas a su gestión y explotación productiva y las centradas en el análisis del intercambio, comercio y desplazamiento de poblaciones animales, tanto en la prehistoria como en épocas históricas. En esta última línea cabe resaltar por ejemplo la investigación desarrollada entorno a los cambios que la romanización supuso en las estrategias ganaderas, discerniendo entre los derivados de la importación directa de animales de aquellos resultado de la mejoras locales en la zootécnica (Colominas *et al.*, 2014). En este caso la especie mayoritariamente analizada es *Bos Taurus* y los análisis se han centrado sobre todo en establecer la distribución filogeográfica de la especie.

Respecto a la domesticación animal, durante los últimos años se han empezado a aplicar nuevos métodos genómicos que aumentan significativamente las posibilidades de inferencia sobre los mecanismos genéticos adaptativos implicados en las fases iniciales de domesticación animal, relacionados principalmente con el comportamiento, crecimiento y reproducción animal y, a un nivel superior, con la variabilidad fenotípica de la especie y su dinámica demográfica. La posibilidad de utilizar nuevos marcadores genéticos vinculados a rasgos específicos sometidos a selección está permitiendo integrar al análisis aspectos y parámetros que pudieron tener un papel importante en las domesticaciones iniciales, hasta el momento obviados debido a la imposibilidad metodológica y técnica de acceder a su estudio a partir de las propiedades físicas de los restos de fauna. Algunos de estos rasgos tienen que ver con los aspectos fisiológicos, sumamente importantes probablemente durante los primeros momentos de domesticación. Otros marcadores representan características externas que pudieron ser motivo de selección y que carecen de visibilidad arqueológica directa. Un buen ejemplo de estas últimas es el color. Estudios publicados recientemente centrados en el análisis del gen MC1R, gen que codifica el color del pelaje (Krause-Kyora *et al.*, 2012; Ollivier *et al.*, 2013; Ludwig *et al.*, 2009), han remarcado precisamente la rápida mutación de esta característica en las fases iniciales de domesticación. Mutaciones en genes que regulan procesos implicados en la reproducción y la alimentación pueden también facilitar la detección de presiones selectivas específicas. En el caso de las gallinas, por ejemplo, se ha demostrado que el gen TSHR puede estar implicado en la pérdida del carácter estacional de reproducción (Wiener y Wilkinson, 2011), aspecto fundamental para la diferenciación entre poblaciones salvajes y

domésticas. Respecto a la dieta, las especies mayoritariamente trabajadas son los suidos y canidos. Para los perros se ha señalado, por ejemplo, que los cambios detectados en el gen *AMY2B* pueden estar relacionados con la adaptación de esta especie a dietas más ricas en almidón, aspecto que pudo haber condicionado su domesticación (Axelsson *et al.*, 2013). La identificación y aislamiento de los genes sometidos a selección durante la domesticación inicial y de las mutaciones derivadas de la relajación de la selección natural permitirán en un futuro próximo empezar a vislumbrar los genes que han tenido un papel clave en los procesos de domesticación y la identificación de marcadores representativos del estado doméstico, siendo posible a partir de aquí establecer correlaciones con fenotipos particulares.

En lo relativo a la ganadería y producción animal, es posible también reseguir los cambios experimentados en determinados marcadores genéticos asociados al comportamiento y capacidades productivas de los animales tales como la producción de leche, carne o lana. Estos pueden ser ampliamente informativos del tipo de explotación a que se vieron sometidos los rebaños de animales domésticos. Es en este campo, pero, donde los análisis de isótopos estables están realizando aportaciones altamente interesantes, siendo posible establecer para algunas de las principales especies domésticas la estacionalidad de reproducción (Blaise y Balasse, 2011), la duración del periodo de lactación y momento en que se produce el destete (Balasse y Tresset, 2002), variaciones estacionales en subsistencia de los rebaños y practica o no de desplazamientos altitudinales con el objetivo de garantizar la disponibilidad de alimento (Oelze *et al.*, 2011), todas estas cuestiones trascendentales para la caracterización de las estrategias de gestión animal en el pasado.

Todo parece indicar, sin embargo, que es la integración de los estudios arqueozoológicos, genéticos e isotópicos la que presenta el mayor potencial, dadas las posibilidades de complementariedad y, sobretodo, de contrastación de los resultados. En la actualidad, los análisis arqueozoológicos ya no se basan solo en el análisis directo de los restos de fauna, sino que los propios restos de fauna están pasando a constituir un medio para el estudio de su contenido biogeoquímico. Biología, geología, física y química se integran con el objetivo de conseguir una mayor y más amplia caracterización de los restos que permitirá acceder a datos e informaciones hasta el momento inexistentes. No obstante, la ampliación

de la esfera metodológica y técnica y, con ello, la ampliación de las posibilidades de resolución de los análisis de fauna, puede conllevar consigo lo que consideramos puede ser una limitación a su desarrollo: una excesiva compartimentación en la investigación, con un progresivo alejamiento entre análisis arqueozoológico e investigación arqueológica. Esto requiere, evidentemente, trascender el procedimiento técnico en sí, dotando de significado al proceso analítico mediante su inclusión en propuestas metodológicas de índole más general y no circunscritas de manera específica a los análisis físicos y químicos.

REFERENCIAS

- Anderung, C., Bouwman, A., Persson, P., Carretero, J.-M., Ortega, A.I., Elburg, R., Smith, C., Arsuaga, J.L., Ellegren, H. and Gotherstrom, A., 2005. Prehistoric contacts over the Straits of Gibraltar indicated by genetic analysis of Iberian Bronze Age cattle. *PNAS* 102, 8431–8435.
- Arndta, A., Van Neerc, W., Hellemsa, B., Robbend, J., Volckaerta, F., Waelkense, M., 2003. Roman trade relationships at Sagalassos (Turkey) elucidated by ancient DNA of fish remains. *Journal of Archaeological Science* 30, 1095-1105.
- Axelsson, E., Ratnakumar, A., Arendt, M.L., Maqbool, K., Webster, M.T., Perloski, M., Liberg, O., Arnemo, J.M., Hedhammar, A., Lindblad-Toh, K., 2013. The genomic signature of dog domestication reveals adaptation to a starch-rich diet. *Nature* 495, 360–364.
- Bar-Gal, G., Ducos, P., Horwith, L., 2003. The Application of Ancient DNA Analysis to Identify Neolithic Caprinae: A Case Study from the Site of Hatoula, Israel. *International Journal of Osteoarchaeology* 13, 120–131.
- Balasse, M., Tresset, A., 2002. Early Weaning of Neolithic Domestic Cattle (Bercy, France) Revealed by Intra-tooth Variation in Nitrogen Isotope Ratios. *Journal of Archaeological Science* 29: 853-859.
- Balasse, M., Smith, A. B., Ambrose, S. H., Leigh, S. R., 2003. Determining sheep birth seasonality by analysis of tooth enamel oxygen isotope ratios: the Late Stone Age site of Kasteelberg (South Africa). *Journal of Archaeological Science*, 30:205-215.
- Balasse, M.; Erwin, A.; Tornero, C.; Radu, V.; Fiorillo, D.; Popovici, D.; Andreescu, R.; Dobney, K.; Cucchi, T.; Bălăşescu, A., 2016. Wild,

- domestic and feral? Investigating the status of suids in the Romanian Gumelnița (5th mil. cal BC) with biogeochemistry and geometric morphometrics. *Journal of Anthropological Archaeology* 42:27-36
- Balasse, M., Bălășescu, A., Tornero, C., Frémondeau, D., Hovsepyan, R., Gillis, R., Popovici, D., 2015. Investigating the scale of herding in Chalcolithic pastoral communities settled along the Danube River in the 5th millennium BC: A case study at Bordușani-Popină and Hârșova-tell (Romania). *Quaternary International*, in press.
- Balasse, M., Frémondeau, D., Tornero, C., 2015. Rythmes saisonniers des élevages préhistoriques en Europe tempérée : l'outil isotopique traceur de la distribution des naissances du cheptel domestique. *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 137: 55-69.
- Blaise, E., Balasse, M., 2011. Seasonality and season of birth of modern and late Neolithic sheep from south-eastern France using tooth enamel d18O analysis. *Journal of Archaeological Science* 38: 3085-3093.
- Brown, T., Cappellini, E., Kistler, L., Lister, D., Oliveira, H., Wales, N., Schlumbaum, A., 2015. Recent advances in ancient DNA research and their implications for archaeobotany. *Veget. Hist. Archaeobotany* 24, 207–214.
- Campana, M., 2007. Changes in Cattle Breeds after the Bubonic Plague: Evidence from Ancient Microsatellites. Thesis dissertation. Peterhouse. Department of Archaeology, McDonald Institute for Archaeological Research. University of Cambridge.
- Colominas, L., Schlumbaum, A., Saña, M., 2014. The impact of the Roman Empire on animal husbandry practices: study of the changes in cattle morphology in the north-east of the Iberian Peninsula through osteometric and ancient DNA analyses. *Archaeological and Anthropological Science* 6(1): 1-16.
- Colominas, L., Edwards, C.J., 2016. Livestock Trade during the Early Roman Period: First Clues from the Trading Post of Empúries (Catalonia). *International Journal of Osteoarchaeology*, DOI: 10.1002/oa.2527.
- Davis, S.J.M., Svensson, E., Albarella, U., Detry, C., Götherström, A., Pires, A.E., Ginja, C., 2012. Molecular and osteometric sexing of cattle metacarpals: a case study from 15th century AD Beja, Portugal. *Journal of Archaeological Science* 39, 1445-1454.
- Edwards, C.J., Connellan, J., Wallace, P.F., Park, S.D.E., McCormick, F.M., Olsaker, I., Eythórsdóttir, E., MacHugh, D.E., Bailey, J.F., Bradley, D.G., 2003. Feasibility and utility of microsatellite markers in archaeological cattle remains from a Viking Age settlement in Dublin. *Animal Genetics* 34, 410-416.
- Elsner, J., Deschler-Erb, S., Stopp, B., Hofreiter, M., Schibler, J., Schlumbaum, A., 2016. Mitochondrial d-loop variation, coat colour and sex identification of Late Iron Age horses in Switzerland. *Journal of Archaeological Science: Reports* 6, 386-396.
- Ginja, C., Penedo, M.C., Melucci, L., Quiroz, J., Martínez Lopez, O.R., Revidatti, M.A., Martínez-Martínez, A., Delgado, J.V., Gama, L.T., 2010. Origins and genetic diversity of New World Creole cattle: inferences from mitochondrial and Y chromosome polymorphisms. *Anim. Genet.* 41, 128-141.
- Higuchi, R., Bowman, B., Freiberger, M., Ryder, O.A., Wilson, A.C., 1984. DNA sequences from the quagga, an extinct member of the horse family. *Nature* 312,282–84.
- Hofreiter, M., Paijmans, J., Goodchild, H., Speller, C.F, Barlow, A., Fortes, G.G., Thomas, J.A., Ludwig, A., Collins, M.J., 2014. The future of ancient DNA: Technical advances and conceptual shifts. *Bioessays* 37, 284–293.
- Krause-Kyora, B., Makarewicz, C., Evin, A., Flink, L.G., Dobney, K., Larson, G., Hartz, S., Schreiber, S., Carnap-Bornheim, C., Wurmb-Schwark, N., Nebel, A., 2013. Use of domesticated pigs by Mesolithic hunter-gatherers in northwestern Europe. *Nature communications* 4.
- Larson, G., Dobney, K., Albarella, U., Fang, M., Matisoo-Smith, E., Robins, J., Lowden, S., Finlayson, H., Brand, T., Willerslev, E., Rowley-Conwy, P., Andersson, L., Cooper, A., 2005. Worldwide phylogeography of wild boar reveals multiple centers of pig domestication. *Science* 11 307(5715), 1618-21.
- Lindahl, T., 1993. Instability and decay of the primary structure of DNA. *Nature* 362, 709-15.
- Ludwig, A., Pruvost, M., Reissmann, M., Benecke, N., Brockmann, G., Castaños, P., Cieslak, M., Lippold, S., Llorente, L., Malaspinas, A., Slatkin, M., Hofreiter, M., 2009. Coat Color Variation at the Beginning of Horse Domestication. *Science*, 324: 485.
- Oelze, V., Siebert, A., Nicklisch, N., Meller, H., Dresely, V., Alt., 2011. Early Neolithic diet and animal husbandry: stable isotope evidence from three Linearbandkeramik (LBK) sites in Central Germany. *Journal of Archaeological Science* 38: 270-279.

- Ollivier, M., Tresset, A., Hitte, C., Petit, C., Hugues, S., Gillet, B., Duffraisse, M., Pionnier-Capitan, M., Lagoutte, L., Arbogast, R.-M., Balasescu, A., Boroneant, A., Mashkour, M., Vigne, J.-D., Hänni, C., 2013. Evidence of coat color variation sheds new light on ancient canids. *PLoS One* 8, e75110.
- Pääbo, S., 1989. Ancient DNA: extraction, characterization, molecular cloning and enzymatic amplification. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 86, 1939-1943.
- Pääbo, S., Higuchi, R., Wilson, A., 1989. Ancient DNA and the polymerase chain reaction. *J. Biol. Chem.* 264, 9709-9712.
- Pääbo, S., Poinar, H., Serre, D., Jaenicke-Despre's, V. *et al.*, 2004. Genetics analyses form ancient DNA. *Annual Review of Genetics* 38, 645-679.
- Pellecchia, M., Negrini, R., Colli, L., Patrini, M., Milanese, E., Achilli, A., Bertorelle, G., Cavalli-Sforza, L.L., Piazza, A., Torroni, A., Ajmone-Marsan, P., 2007. The mystery of Etruscan origins: novel clues from *Bos taurus* mitochondrial DNA. *Proc. R. Soc. B* (2007) 274, 1175-1179.
- Poinar, H.N., Hös, M., Bada, J.L., Pääbo, S., 1996. Amino acid racemization and the preservation of ancient DNA. *Science* 272, 864-866.
- Reese, R.L., Hyman, M., Rowe, M.W., 1996. Ancient DNA from Texas pictographs. *Journal of Archaeological Science* 23, 269-277.
- Saiki, R.K., Scharf, S., Faloona, F., Mullis, K.B., Horn, G.T., Erlich, H.A., Arnheim, N., 1985. Enzymatic amplification of b-globulin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science* 230, 1850-1854.
- Stella, A., Ajmone-Marsan, P., Lazzari, B., Boettcher, P., 2010. Identification of selection signatures in cattle breeds selected for dairy production. *Genetics* 185, 1451-1461.
- Svensson, E.M., Anderung, C., Baubliene, J., Persson, P., Malmström, H., Smith, C., Vretemark, M., Daugnora, L., Götherström, A., 2007. Tracing genetic change over time using nuclear SNPs in ancient and modern cattle. *Animal Genet* 38, 378-383.
- Svensson, E.M., Götherström, A., Vretemark, M., 2008. A DNA test for sex identification in cattle confirms osteometric results. *Journal of Archaeological Science* 35(4), 942-946.
- Thomas, R.H., Schaffner, W., Wilson, A.C., Pääbo, S., 1989. DNA phylogeny of the extinct marsupial wolf. *Nature* 340, 465-467
- Tornero, C., 2011. Estrategias de explotación, gestión y apropiación del ganado en las primeras sociedades campesinas del valle medio del Éufrates (República Árabe de Siria). Integración de los análisis biogeoquímicos al estudio arqueofaunístico de tell Halula (Valle Medio del Éufrates, República Árabe de Siria). Departament de Prehistòria, Universitat Autònoma de Barcelona. *Unpublished Ph D.*
- Tornero, C. and Saña, M., 2006. Anàlisi d'isòtops estables en arqueologia: aplicació i integració a la recerca arqueològica. *Cota zero: revista d'arqueologia i ciència*, 21: 31-46.
- Tornero, C., Balasescu, A., Ughetto-Monfrin, J., Voinea, V., Balasse, M., 2013. Seasonality and season of birth in early Eneolithic sheep from Cheia (Romania): methodological advances and implications for animal economy. *Journal of Archaeological Science*, 40 (11): 4039-4055.
- Tornero, C., Balasse, M., Molist, M., Saña, M., 2015. Seasonal reproductive patterns of early domestic sheep at Tell Halula (PPNB, Middle Euphrates Valley): Evidence from sequential oxygen isotope analyses of tooth enamel. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 6: 810-818.
- Tornero, C., Balasse, M., Balasescu, A., Chataigner, C., Gasparyan, B., Montoya, C., 2016. The Altitudinal mobility of wild sheep at the Epigravettian site of Kalavan 1 (Lesser Caucasus, Armenia): evidence from a sequential isotopic analysis in tooth enamel. *Journal of Human Evolution*, 97: 27-36.
- Tornero, C., Aguilera, M., Ferrio, J.P., Arcusa, H., Moreno-García, M., García-Reig, S., Rojo-Guerra, M. (submitted). Vertical movement of modern sheep specimens by stable isotope analyses in bioapatite tooth molars, meteoric water and pastures along the altitudinal gradient: a reference for Ebro valley to the Central Pyrenees. *Quaternary International*
- Troy, C.S., MacHugh, D.E., Bailey, J.F., Magee, D.A., Loftus, R.T., Cunningham, P., Chamberlain, A.T., Sykes, B.C., Bradley, D.G., 2001. Genetic evidence for Near-Eastern origins of European cattle. *Nature* 410, 1088-1091.
- Ureña, I., Arsuaga, J.L., Galindo-Pellicena, M.G., Götherström, A., Valdiosera, C., 2011. Filogenia y evolución local de la cabra montés (*Capra pyrenaica*) en el yacimiento Cuaternario de Chaves (Huesca, España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 105 (1-4), 7-16.
- Valdiosera, C., García-Garitaigotia, J.L., Garcia, N., Doadrio, I., Thomas, M.G., Hänni, C., Arsuaga, J.L., Barnes, I., Hofreiter, M., Orlando,

- L., Götherström, A., 2008. Surprising migration and population size dynamics in ancient Iberian brown bears (*Ursus arctos*). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, 5123-5128.
- Verginelli, F., Capelli, C., Coia, V., Musiani, M., Falchetti, M., Ottini, L., Palmirotta, R., Tagliacozzo, A., De Grossi Mazzorin, G., Mariani-Costantini, R., 2005. Mitochondrial DNA from Prehistoric Canids Highlights Relationships Between Dogs and South-East European Wolves. *Mol. Biol. Evol.* 22(12), 2541–2551.
- Wiener, P. and Wilkinson, S., 2011. Deciphering the genetic basis of animal domestication. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.* 278, 3161-3170.