

OrJIA (coord.)

II JORNADAS DE JÓVENES EN INVESTIGACIÓN ARQUEOLÓGICA

(Madrid, 6, 7 y 8 de mayo de 2009)



LIBROS PÓRTICO

JIA09
TOMO II

EDITORES CIENTÍFICOS



OrJIA: Pedro R. Moya Maleno, Cristina Charro Lobato, Núria Gallego Lletjós, David González Álvarez, Iván González García, Fernando Gutiérrez Martín, Sandra Lozano Rubio, Beatriz Marín Aguilera, Lucía Moragón Martínez, Paloma de la Peña Alonso, Manuel Sánchez-Elipe Lorente, José María Señorán Martín.

FICHA CATALOGRÁFICA

OrJIA (eds.)
Actas de las II Jornadas de Jóvenes en Investigación Arqueológica (Madrid, 6, 7 y 8 de mayo de 2009). JIA 2009, Tomo II.

pp. 444; il. escala de grises.

902/904(063), 903/904(460)(063)

I.S.B.N. 978-84-7956-094-2 (vol. 2)

D.L.: NA-2918/2011

© Textos e imágenes de los/as autores/ras

EDITAN: Libros Pórtico

Organización de Jóvenes en Investigación Arqueológica (OrJIA)

Departamento de Prehistoria, Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid

c/ Prof. Aranguren s/n (Ciudad Universitaria), ES-28040. Madrid (España)

orjia_arqueologia@yahoo.es

DISTRIBUYE: Pórtico Librerías, S. A.

Muñoz Seca, 6 · 50005 Zaragoza (España)

distrib@porticolibrerias.es

www.porticolibrerias.es

COLABORAN:



Facultad de Geografía e Historia
Universidad Complutense de Madrid



Departamento de Prehistoria
Facultad de Geografía e Historia
Universidad Complutense de Madrid

COMPOSICIÓN DE LOS TEXTOS Y MAQUETACIÓN: OrJIA

I.S.B.N. 978-84-7956-092-8 (de la obra completa)

I.S.B.N. 978-84-7956-093-5 (del Tomo I)

I.S.B.N. 978-84-7956-094-2 (del Tomo II)

Deposito legal: NA-2918/2011

IMPRIME

Ulzama Digital

31194.- Arre. Navarra

info@ulzama.com

Impreso en España-Printed in Spain

IMAGEN CUBIERTA: *Arqueología experimental*, de Javier Hernández. Foto finalista II Concurso de Fotografía Arqueológica JIA'09.

Interrogando a los muertos mediante isótopos estables

DOMINGO CARLOS SALAZAR-GARCÍA

domingo_carlos@eva.mpg.de

Human Evolution Department, MaxPlanck Institute for Evolutionary Anthropology

RESUMEN

Son numerosas las nuevas técnicas biogeoquímicas que desde hace ya un tiempo se están aplicando en el campo de la arqueología funeraria. Un grupo de estas técnicas, los análisis de isótopos estables realizados sobre tejido esquelético y dentario, es especialmente útil a la hora de reconstruir aspectos fundamentales de la vida de nuestros antepasados como lo son la dieta o las pautas de movilidad de éstos. No hace falta decir que, aplicadas a cronologías en las que no existía registro escrito, estas técnicas adquieren, si cabe, un papel todavía más relevante. Líneas de estudio tan dispares como las pautas de movilidad neandertal o el cambio de dieta entre las últimas sociedades cazadoras-recolectoras y las primeras agrícolas-ganaderas son ejemplos de casos en los que este tipo de analíticas son de inestimable ayuda.

PALABRAS CLAVE: *isótopos estables, paleodieta, pautas movilidad.*

ABSTRACT

Many new biogeochemical techniques are being used since long ago in the funerary archaeology field of research. A group of these techniques, the stable isotope analysis of bone and dental tissue, is especially useful when addressing the reconstruction of fundamental traits of our ancestors such as their diet or mobility patterns. When applied on prehistorical chronological periods, their role is due to obvious reasons even more relevant to the field. The study of Neanderthal mobility patterns or the diet shift occurring between the last hunter-gatherer societies and the first neolithic ones are examples of different study areas that can be aided by this analytical approach.

KEYWORDS: *stable isotopes, palaeodiet, mobility patterns.*

587

1. INTRODUCCIÓN

El campo de los estudios de isótopos estables aplicados a la Arqueología en el Estado Español es escaso, no así en el resto de Europa o en América del Norte, pero representa una nueva tecnología en investigación. De hecho, mientras que en la actualidad el número de publicaciones arqueológicas en las cuales se utilizan análisis de isótopos estables es significativo en muchos países europeos y norteamericanos, en nuestro Estado, los esfuerzos que se llevan a cabo no acaban de encontrar un buen caldo de cultivo por parte de las instituciones salvo de forma puntual y aislada.

Ha sido internacionalmente durante las últimas dos décadas cuando, de forma sistemática, se ha ido incorporando en la investigación arqueológica este tipo de aproximaciones analíticas con el objetivo de obtener más información sobre nuestro pasado a través de los varios tipos de restos arqueológicos, especialmente los óseos. El aumento del volumen de conocimientos sobre las condiciones de fijación, preservación, recuperación y medida de los isótopos estables de los diferentes elementos químicos, el aumento del número de trabajos experimentales, el establecimiento de las relaciones entre las concentraciones resultantes y las características fisiológicas de los organismos vivos, y el abaratamiento del precio de la analítica son algunos de los aspectos que han influido en el hecho de que, desde diferentes ámbitos científicos, y para la arqueología funeraria en particular, se esté asistiendo en la actualidad a un mayor interés hacia estos tipos de analítica. De esta forma, el estudio de la composición isotópica de los restos arqueológicos nos permite inferir un amplio abanico de tipos de información como el consumo de qué recursos alimentarios se tenía, las pautas de movilidad, las características medioambientales, la jerarquía social, y dinámicas poblacionales, sociales y económicas de nuestros ancestros; en general, genera conocimiento sobre la dinámica socioeconómica del pasado. Este tipo de análisis permite individualizar o aislar fenómenos con escalas temporales y espaciales muy precisas, y a partir de ahí evidenciar situaciones y dinámicas imposibles de conocer mediante otros medios. Y es que los estudios de isótopos estables en restos arqueológicos, y especialmente en los prehistóricos, nos ofrecen información directa acerca de aspectos como la dieta que de otra forma sólo se puede deducir mediante evidencias indirectas al estudiar los restos materiales de fauna o industria que aparecen en los yacimientos arqueológicos.

La mayoría de los análisis de isótopos estables que se desarrollan en el marco de la prehistoria son a partir del análisis de los restos orgánicos, estableciéndose de forma mayoritaria las relaciones entre algunos isótopos estables de cuatro elementos químicos principales: carbono $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, nitrógeno $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, oxígeno $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y estroncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. De forma minoritaria y todavía en fases experimentales, estos análisis se están desarrollando también en elementos químicos como el sulfuro ($^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$). La utilización y selección de estos elementos químicos responde principalmente al hecho de que el carbono, el oxígeno y el nitrógeno son, juntamente al hidrógeno y el sulfuro, los elementos que constituyen el quinteto de la vida, presentes no solamente en toda forma de vida orgánica sino también en todas sus relaciones biológicas, e involucrados en todo el conjunto de reacciones químicas de los procesos orgánicos como el consumo de alimentos vegetales y animales, la ingesta de agua o la producción de alimentos. La utilización del estroncio, en cambio, responde más bien a sus propias particularidades que le hacen referente geológico del lugar donde se desarrollan estos procesos. En cualquier caso, se tienen

siempre que integrar estos análisis de isótopos estables al mundo de la prehistoria, y no simplemente usarlos como una herramienta complementaria, para así poder evaluar en cada caso de forma apropiada el grado de representatividad de los restos sometidos al análisis, representatividad que hay que evaluar desde el punto de vista temporal, espacial y también social, si lo que se persigue es la obtención de información relevante y básica de cara al conocimiento y estudio de las sociedades del pasado.

Evidentemente, antes de proseguir, habrá que responder a una pregunta clave para entender este tipo de analíticas: ¿Qué es un isótopo estable? Un isótopo de un elemento químico no es más que un átomo de dicho elemento que presenta por tanto el mismo número atómico pero diferente masa a causa del hecho de que el núcleo contiene un número diferente de neutrones. Es decir, los isótopos de un elemento químico son átomos que comparten el mismo número de protones pero difieren en el de neutrones. Generalmente se llama isótopos pesados a los que dentro de un tipo de elemento tienen una masa mayor (^{13}C , ^{15}N , ^{18}O , ^{34}S) e isótopos ligeros a los que tienen una masa menor (^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{32}S), aunque a veces se usa el término pesado para referirse a cualquier isótopo de elementos con masas atómicas globales más pesadas como el estroncio (^{88}Sr , ^{86}Sr) o el plomo (^{206}Pb , ^{204}Pb). Los isótopos pueden ser estables o inestables, siendo éstos últimos los radioactivos (como el ^{14}C), que no nos interesan aquí.

588

Las diferencias en masa atómica entre los isótopos de un mismo elemento son la causa de los llamados efectos isotópicos. En la biosfera tienen lugar procesos metabólicos en los cuales las diferencias de masa atómica determinan comportamientos diferentes de los átomos al suponer cambios sutiles en las propiedades físicas y químicas de las moléculas a las que se unen. Estos cambios son los responsables del llamado fraccionamiento isotópico, término que define la diferencia existente entre la proporción isotópica del material analizado y la del sustrato de partida. Como norma general, el compuesto que incorpora un isótopo pesado será menos propenso a reaccionar que aquellos que incorporan un isótopo ligero. Por ello, las abundancias isotópicas relativas de los diferentes elementos pueden variar sistemáticamente tanto en la biosfera como en la geosfera, por ejemplo entre ecosistemas terrestres y marinos, entre formaciones geológicas, o entre plantas con rutas fotosintéticas diferentes.

La cantidad de isótopos estables de un elemento concreto se cuantifica a partir de espectrómetros de masas, aparatos que miden la proporción existente en una determinada muestra respecto a la proporción de un material de referencia estándar. El valor resultante, “ δ ”, se expresa en partes por mil (‰) y se calcula con la siguiente fórmula, donde “R” es la proporción isotópica del elemento considerado ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$):

$$\delta = [(R_{\text{muestra}} / R_{\text{estándar}}) - 1] \times 1000$$

Un valor δ elevado indica que la muestra es más pesada, por lo que tiene un valor más positivo que el del material de referencia. Es por esto por lo que se utilizan en muchas ocasiones los términos enriquecido o empobrecido refiriéndose al isótopo más pesado. Hay que tener también en cuenta que los valores de la escala pueden ser negativos, como en el caso del carbono, o positivos, como en el caso del nitrógeno, a causa del material de referencia internacional estandarizado utilizado (carbono fósil marino, más enriquecido en ^{13}C que la mayor parte de los materiales biológicos, o nitrógeno atmosférico, que contiene menos ^{15}N que la mayoría de los materiales biogénicos). Sirva de ejemplo el decir que un valor $\delta^{13}\text{C}$ de -13 ‰ de una muestra significa que ésta tiene 13 partes por mil menos de ^{13}C que la muestra del carbono marino usado como referencia, y que un valor $\delta^{15}\text{N}$ de 17 ‰ de una muestra significa que ésta contiene 17 partes por mil más de ^{15}N que la muestra del nitrógeno atmosférico usado como referencia.

El material arqueológico principal sobre el que se realizan los análisis de isótopos estables suele ser el hueso debido a que es uno de los tejidos corporales que más se preserva en los yacimientos. El hueso está compuesto por sustancias orgánicas (33%) e inorgánicas (66%). El componente preferido para los análisis isotópicos de éste es la proteína estructural que supone más del 90 % de la fracción orgánica del hueso ósea principal, el colágeno, ya que su composición isotópica es la menos alterada por las reacciones químicas producidas en el lugar de enterramiento. Además, el colágeno óseo ya lleva tiempo usándose para realizar dataciones por radiocarbono, y existen varios indicadores de calidad para indicar el grado de su preservación (ratios C:N, % C, % N, rendimiento) (Van Klinken, 1999). Tanto para interpretar correctamente los datos obtenidos del análisis del colágeno como a la hora de seleccionar las muestras, hay que tener en mente que la tasa de remodelación para el colágeno oscila entre los 5 y 20 años según el tipo y parte de hueso (la porción cortical presenta una tasa de cambio mucho menor que la trabecular, y huesos sometidos a constante estrés mecánico como las costillas o la mandíbula se remodelan antes que huesos como el fémur o el cráneo).

Otro material arqueológico que se utiliza para los análisis de isótopos estables es el diente, mayoritariamente su esmalte. Por tanto, en este caso el sustrato de análisis será sólo la materia inorgánica del esmalte, como la hidroxiapatita. Hay que saber que el esmalte no se remodela durante la vida, por lo que sus proporciones isotópicas son las del periodo de formación y maduración de la dentición, y hay que tener en cuenta también que cada diente se forma en un momento diferente.

2. ISÓTOPOS ESTABLES Y PALEODIETA

Los métodos para la estimación del régimen dietético se basan en la realización de ciertos análisis de isótopos estables y su posterior interpretación. Los isótopos estables más usados en el estudio de paleodietas son los del carbono ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$) y del nitrógeno ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$). La premisa principal de este tipo de analíticas, basada en estudios experimentales, es que las unidades básicas que conforman todos los

tejidos corporales de cualquier animal, incluyendo los huesos, provienen de los alimentos que éstos han ingerido a lo largo de su vida; se sigue aquella premisa de que “somos lo que comemos”. Y, como el carbono y nitrógeno que se incorporan a nuestros huesos son los mismos átomos que forman parte de los alimentos que ingerimos, al compararlos con los valores típicos de alimentos disponibles a través del análisis de por ejemplo los restos óseos animales, reflejaran aquellos alimentos de los que derivan y será posible reconstruir los componentes principales de la dieta de un individuo.

Durante este proceso de incorporación de los átomos de la dieta al hueso, la proporción entre los isótopos del carbono y del nitrógeno cambia de una manera específica y conocida, denominada fraccionamiento isotópico. De manera muy general, se puede decir que los valores $\delta^{13}\text{C}$ (proporción isotópica entre ^{13}C y ^{12}C de la muestra en relación a la proporción de éstos en los estándares internacionales) y $\delta^{15}\text{N}$ (proporción isotópica entre ^{15}N y ^{14}N de la muestra en relación a la proporción de éstos en los estándares internacionales) permiten discriminar entre diferentes tipos de especies vegetales y establecer el origen terrestre, lacustre-fluvial o marino de los principales recursos alimentarios. Esto se puede ver claramente en la gráfica adjunta (Fig.1), que representa un esquema teórico de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (en ‰) en los distintos ecosistemas mencionados. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los diferentes tipos de alimentos son conocidos a través de, principalmente, los estudios ecológicos y los estudios de laboratorio con animales de dieta conocida.

Siguiendo este modelo teórico, si consideramos los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ como señales específicas de diferentes tipos de comidas y nosotros conocemos cómo estos valores cambian cuando los átomos de carbono y nitrógeno son depositados en nuestros huesos, entonces al medir los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de huesos humanos podremos inferir el tipo de alimentos de los que provienen el carbono y el nitrógeno. Veamos a continuación con más detalle cómo podemos saber qué tipo de alimentación era consumida gracias a conocer las proporciones de dichos isótopos en las distintas partes de la cadena trófica de diversos ecosistemas y el ciclo de ambos elementos.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que aunque la proteína dietética es la única fuente de nitrógeno considerable para el organismo, razón por la cual se entiende que los ratios $\delta^{15}\text{N}$ del colágeno reflejen la composición isotópica de la fuente principal de proteínas más que de la dieta en general, en el caso de los ratios de $\delta^{13}\text{C}$ no ocurre lo mismo ya que resultan de los diversos macro nutrientes aportados en la dieta (proteínas, lípidos e hidratos de carbono). Aun así, y aunque los aminoácidos esenciales suponen alrededor del 20% del colágeno óseo (lo que supondría que la mínima cantidad de carbono que debería ser ingerida sería del 20%), se ha comprobado que el carbono del colágeno óseo deriva predominantemente de la proteína ingerida. Así pues, las comidas más ricas en proteínas, como la carne o el pescado, contribuyen más a la composición isotópica del colágeno que otras, con menos contenido proteico, como los vegetales (Ambrose y Krigbaum, 2003).

El carbono en forma de CO_2 atmosférico entra en la biosfera para posteriormente ser fijado mediante la fotosíntesis por las plantas. El carbono atmosférico, que tiene un valor $\delta^{13}\text{C}$ de -7‰ , es incorporado por las plantas durante la fotosíntesis empleando éstas una mayor cantidad de ^{12}C que de ^{13}C (es decir, se empobrecen en ^{13}C), siendo así este fraccionamiento isotópico el que hace que en sus organismos la proporción original quede alterada. Las plantas que fijan el dióxido de carbono en una molécula con tres átomos de carbono, llamadas plantas C_3 , incorporan a sus tejidos una cantidad menor de isótopos ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}_{\text{medio}} = -26\text{‰}$; rango entre -22 y -38‰) que las que lo ha-

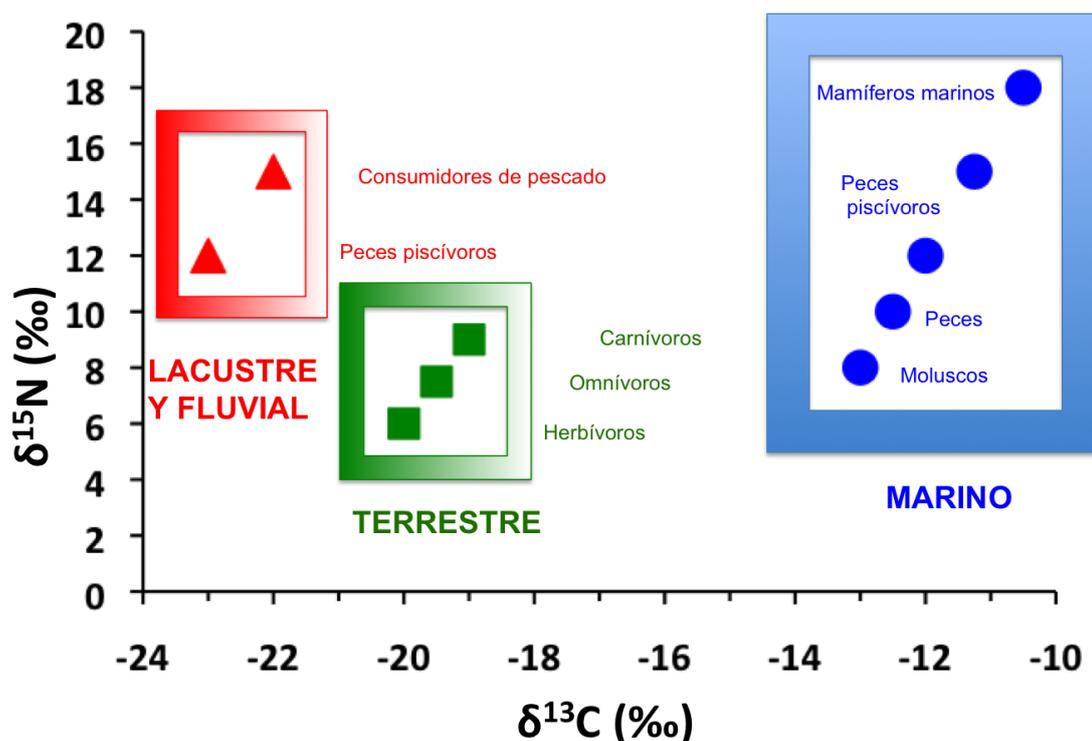


Figura 1. Esquema teórico de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ esperados (en ‰) en distintos ecosistemas.

cen mediante una molécula de cuatro átomos de carbono, o plantas C_4 ($\delta^{13}C_{\text{medio}} = -12.5\%$; rango entre -9 y -21%). Si atendemos a los intervalos de confianza de la media de $\delta^{13}C$ tanto de plantas C_3 como de plantas C_4 se puede observar como no existe encabalgamiento entre ellos, por lo que es posible estimar su importancia relativa en la dieta. El grupo C_3 incluye la mayoría de los arbustos y, en general, plantas de regiones templadas y frías (cereales como la cebada, el trigo o el arroz, frutos secos, y la mayor parte de frutas y verduras). Entre las plantas C_4 encontramos las de clima tropical y ambientes de sabana, así como las de otras regiones especialmente adaptadas al calor y la aridez (maíz, mijo, melca, azúcar de caña, etc). Así pues, a través del conocimiento de los valores de $\delta^{13}C$ se puede averiguar qué proporción de recursos C_3 y C_4 constituían la alimentación del individuo objeto de estudio (Lee-Thorp y Sponheimer, 2006).

Los isótopos de carbono también pueden ser utilizados, además de para discriminar entre plantas con rutas fotosintéticas distintas, para distinguir entre dietas marinas y terrestres. Esto no es difícil, porque los vertebrados marinos poseen valores $\delta^{13}C$ claramente más elevados ($\delta^{13}C_{\text{medio}} = -12 \pm 1\%$) que los que caracterizan a una dieta típicamente terrestre ($\delta^{13}C_{\text{medio}} = -20 \pm 1\%$). Para entender por qué los vertebrados marinos tienen valores ^{13}C más elevados hay que tener en cuenta que para los organismos marinos la principal fuente de carbono es el CO_2 disuelto, que tiene un valor $\delta^{13}C$ de 0% , superior al $\delta^{13}C$ del atmosférico. Además de diferenciar entre dietas marinas y dietas terrestres, se puede discernir algo sobre las dietas de agua dulce pues los organismos que viven en medios de agua dulce utilizan una mezcla de carbono formado por residuos terrestres y CO_2 disuelto (De Niro y Epstein, 1978).

Además de poder reconstruir la dieta mediante análisis de isótopos estables de carbono como acabamos de describir, se puede también obtener información muy relevante mediante el estudio de isótopos estables de nitrógeno ($^{15}N/^{14}N$). Estos estudios son claves para averiguar el nivel de un animal o ser humano en la cadena trófica, pues se basan en el principio que consiste en que el valor $\delta^{15}N$ experimenta un incremento de aproximadamente entre $3-5\%$ por cada peldaño que se sube en ésta. Así pues, el isótopo que gana proporción desde el nivel vegetal hasta el animal en la punta de la pirámide de alimentación es el isótopo ^{15}N . Teniendo esto en cuenta, no debemos olvidar que son los organismos de ecosistemas marinos y lacustres los que generalmente presentan mayores valores $\delta^{15}N$ en comparación con los organismos de ecosistemas terrestres. En el dibujo adjunto (Fig.2) se representa el cambio en los valores tanto de $\delta^{15}N$ como de $\delta^{13}C$ (en $\%$) de un nivel trófico a otro, en ecosistemas terrestres y marinos (De Niro y Epstein, 1981).

Por supuesto, no basta con realizar análisis de isótopos estables a los individuos humanos a los que nos interesa estudiar, es siempre necesaria también la toma de muestras de las especies faunísticas preferentemente asociadas a los restos humanos (o en su defecto del mismo periodo cronológico y localización geográfica) para tenerlas de referencia. Así pues, es necesario basarse en un correcto estudio arqueozoológico y proceder con el análisis isotópico de muestras de la fauna asociada a los restos de humanos estudiados si se busca definir las concentraciones isotópicas de las posibles fuentes de alimentos presentes en la alimentación de estos individuos. Además de

590

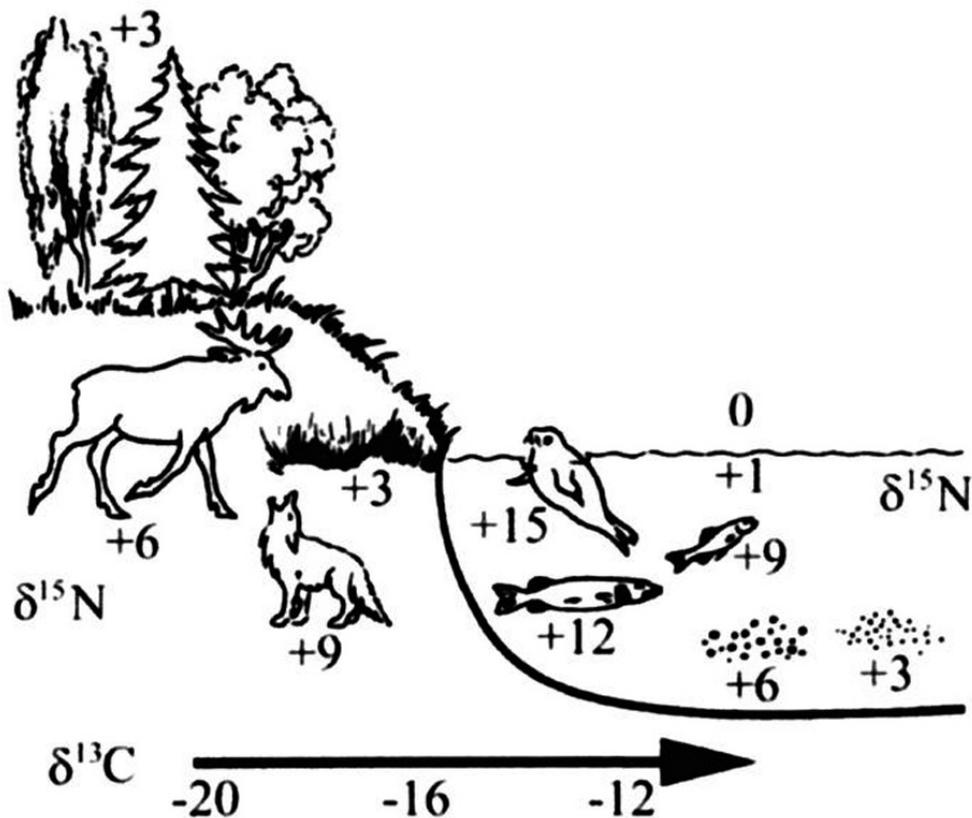


Figura 2. Cambio en los valores de $\delta^{15}N$ (‰) entre niveles tróficos y de $\delta^{13}C$ (‰) entre ecosistemas terrestres y marinos.

estudios arqueozoológicos, también los estudios realizados sobre animales cautivos y sobre las cadenas tróficas naturales bien controladas, han permitido determinar las diferencias entre señales isotópicas de los depredadores y sus presas (Schwarz, 1991).

La investigación arqueológica que ha pretendido reconstruir los regímenes dietéticos de las poblaciones prehistóricas, ha estado tradicionalmente centrada en métodos de estudio indirectos al no disponer de posibilidades analíticas directas para poder obtener información acerca de la dieta. Hay que tener en cuenta que los métodos de reconstrucción de los antiguos regímenes alimentarios a partir del estudio de restos óseos, de fragmentos de plantas y de los artefactos hallados en yacimientos arqueológicos y prehistóricos quedan limitados a reconstituciones cualitativas y comportan sesgos de importancia en la información que son capaces de proporcionar. Sirva el decir que hasta hace poco, este tipo de investigación había estado centrada en la recuperación de los residuos alimentarios procedentes de los asentamientos, informando éstos más del consumo potencial que del efectivo como se ilustra en lo ocurrido en el yacimiento neolítico de Çatalhöyük al demostrar los estudios de isótopos estables que el ganado bovino no fue el principal aporte de proteínas como se defendía desde los postulados de la arqueozoología (Richards *et al.*, 2003a). En lo que se refiere a los restos homínidos, se utilizaban como eje para averiguar información sobre la dieta las aproximaciones basadas en las micro huellas dentales o la morfología dental, lo que en el primero de los casos supone un sesgo importante al reflejar las huellas sólo el procesado de comida de los días o semanas previas a la muerte, y en el segundo caso supone un sesgo al reflejar las adaptaciones dentales el resultado de una dieta en una escala geológica o evolutiva y no teniendo por qué ser sus hallazgos concordantes con el comportamiento de ningún individuo dado. No obstante, no hay que perder de vista que se hace necesaria la combinación con los otros métodos indirectos ya comentados para poder tener una idea más clara y global sobre las prácticas de subsistencia de los grupos humanos del pasado.

Desde la primera aplicación de estas técnicas al estudio de los tejidos humanos antiguos en los años setenta del siglo pasado, el análisis de isótopos estables continúa haciendo valiosas contribuciones para el conocimiento de dietas humanas del pasado. Los conocimientos acumulados sobre el metabolismo de las plantas y los animales hasta principios de la década de los setenta sirvió para iniciar una verdadera revolución en la estimación del consumo alimentario y sus implicaciones en el análisis de los cambios de estrategias productivas y en la esfera de la economía política a través de los análisis de isótopos estables. Actualmente son ya muchas las aplicaciones que se han dado y siguen dando al estudio de isótopos estables en el campo de la dieta en Prehistoria y Arqueología. Desde la búsqueda de la alimentación de los primeros homínidos hasta valoraciones de relaciones entre dieta infantil y destete, o dieta y jerarquía, pasando por el estudio de momentos claves de tránsito para la alimentación como la colonización de territorio neandertal por los humanos anatómicamente modernos, o la llegada e impacto dietético de la agricultura y ganadería sobre las poblaciones cazadoras-recolectoras, son muchas las vías de investigación abiertas en este campo.

Sirvan de ejemplo las numerosas publicaciones realizadas sobre isótopos estables y paleodieta en el cambio desde el Mesolítico al Neolítico en Europa desde el estudio pionero llevado a cabo por Tauber en Dinamarca en 1981 (Tauber, 1981). En estudios llevados a cabo en yacimientos costeros de la fachada atlántica de diversas zonas de Europa se puede apreciar de forma general un muy marcado cambio dietético durante el paso del Mesolítico al Neolítico, pues durante el Mesolítico se consumían muchos recursos de ecosistemas marinos que se abandonaron completamente y de forma brusca con la introducción de la agricultura y la ganadería para pasar a basarse en plantas y animales terrestres como se aprecia en la gráfica adjunta (Fig.3) en la que se ve cómo los valores $\delta^{13}\text{C}$ de humanos cambia

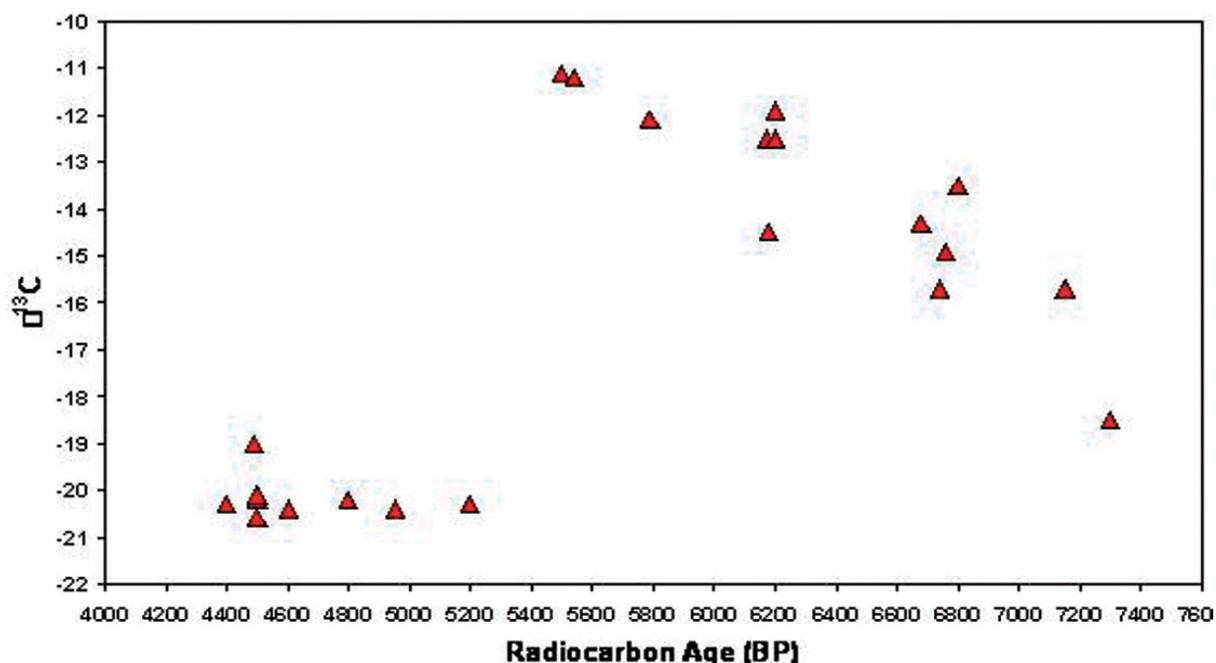


Figura 3. Descenso brusco en el consumo de proteínas de origen marino visto en los valores $\delta^{13}\text{C}$ entre poblaciones del Mesolítico y el Neolítico en Dinamarca en torno al 5200BP.

radicalmente en torno a 5200 BP, lo que se interpreta como una rápida adopción de las técnicas agrícolas y ganaderas por parte de las sociedades cazadoras-recolectoras en lugar de una adopción lenta (Richards *et al.*, 2003b). Por su parte, en los yacimientos del área del mar Báltico no se aprecia un cambio dietético acusado entre el Mesolítico y el Neolítico, ya que el consumo abundante de recursos marinos durante el Mesolítico se mantiene también durante el Neolítico. En cuanto a la región mediterránea, los escasos resultados apuntan a una gran heterogeneidad de estrategias de subsistencia por parte de los cazadores-recolectores de la costa mediterránea (mientras el aporte proteico de origen marino representa para algunos individuos hasta una cuarta parte del total de la dieta, para otros no representa parte alguna de la dieta) que al llegar al Neolítico se homogeniza con una alimentación basada en el consumo de plantas derivadas de la agricultura y complementada con la explotación de los animales domesticados.

3. ISÓTOPOS ESTABLES Y PAUTAS DE MOVILIDAD

Los estudios paleodietéticos encuentran en los estudios sobre la movilidad de los individuos un aliado de tremenda importancia para averiguar aspectos tanto sociales como paleodemográficos de las sociedades pasadas. Aunque tradicionalmente la reconstrucción de movimientos migratorios y patrones de residencia en el campo de la investigación arqueológica se basaba en las comparaciones de los rasgos morfológicos y estilísticos distintivos de los bienes muebles e inmuebles, hoy en día los estudios biogeoquímicos son capaces de complementar a dichos estudios. Y es que a pesar de la utilidad de la anterior metodología basada en el estudio de la cultura material, hay que tener siempre en cuenta que los atributos morfológicos y decorativos pueden comparecer independientemente o mediante influencias directas e indirectas que no suponen necesariamente desplazamiento de poblaciones. Con el estudio de los isótopos estables de estroncio y oxígeno, en cambio, sí se pueden obtener datos concretos sobre los individuos de los cuales se estudien sus restos óseos, sean éstos humanos o animales, obteniendo así información fiable sobre sus pautas de movilidad.

592

Los tres isótopos no radiogénicos del estroncio (^{88}Sr , ^{86}Sr , ^{84}Sr) comprenden, respectivamente, ~82.5%, ~9.87% y ~0.56% del total del estroncio de la litosfera. El isótopo radioactivo ^{87}Sr deriva de la descomposición del rubidio (^{87}Rb , con una vida media de aproximadamente 4.7×10^{10} años) y, por ello, su abundancia relativa en un sustrato geológico particular es resultado de la concentración inicial de ^{87}Rb y de la antigüedad de las rocas. Las proporciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ varían entre 0.700 y 0.750. Las unidades geológicas más antiguas son las que presentan valores más altos, mientras que las más recientes, como los materiales volcánicos < 1-10 millones de años, no superan la cifra de 0.706. A la cadena trófica se incorpora el estroncio de la litosfera a través del agua, quedando tras esto integrado en los tejidos de las plantas y de los animales. La relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en tejidos corporales es idéntica en este caso a la de los alimentos ingeridos ya que no hay fraccionamiento isotópico. Así pues, el $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ puede ser usado para averiguar el sustrato geológico donde los individuos vivieron y de dónde obtuvieron sus recursos alimentarios. De especial relevancia es el hecho de que se pueda obtener estroncio del esmalte dental, porque la proporción de estroncio que queda en éste de por vida es el de los primeros años de existencia, lo que permitirá averiguar información sobre su lugar de nacimiento y reconstruir su movilidad a lo largo de su vida al poder comparar este valor con el de la proporción fijada en los huesos adultos del mismo individuo, aunque algunos investigadores recomiendan sólo hacer análisis del esmalte dentario para evitar la frecuente contaminación del colágeno (Price *et al.*, 2002).

Este tipo de análisis se está actualmente utilizando, entre otras cosas, para averiguar información sobre las pautas de movilidad de los neandertales. Existe un prolongado debate sobre la naturaleza de la movilidad de los neandertales, existiendo algunos autores que defienden que los neandertales se desplazaban en vida grandes distancias, otros que se movían por un área limitada debido a la búsqueda estacional de recursos alimentarios, y otros que aseguran que los neandertales pasaban toda su vida asentados en una zona concreta. La evidencia de la movilidad hasta ahora ha venido indicada sólo a través de medios indirectos como la búsqueda de fuentes de afloramiento de materia prima para industria lítica o la presencia de objetos exóticos en los yacimientos. Se ha visto que en general la materia prima que utilizan los neandertales de un yacimiento es casi siempre local, con la gran mayoría de ésta proviniendo de distancias no superiores a los cinco kilómetros mientras que sólo un pequeño porcentaje se origina entre cinco y veinte kilómetros de distancia, y todavía menor es éste si hablamos de distancias mayores de ochenta kilómetros. Esto puede hacer pensar que la evidencia lítica sugeriría una movilidad muy limitada. En cualquier caso, hay que insistir en que la idea del aprovisionamiento inmediato no se tiene por qué deducir una pauta de movilidad de corto radio, sino que los requerimientos tecnológicos no implicaban el uso de materias primas especiales de manera mayoritaria. De hecho, la mayoría de los investigadores coinciden en señalar que el patrón de movilidad neandertal es alto, lo que se evidencia a través de una baja densidad de hallazgos, de una presencia de aportes superpuestos de carnívoros, y de un papel de las materias primas locales elevado. Estos niveles de movilidad tan elevados también son sugeridos por los restos óseos de fauna excavados en yacimientos del Paleolítico Medio en el centro y norte de Europa, ya que muestran que los neandertales cazaban herbívoros grandes y gregarios y debieron para ello seguir las migraciones estacionales de estas manadas. En este contexto, es el estudio de isótopos estables de estroncio el que nos puede dar información de primera mano sobre las pautas de desplazamiento de los neandertales en vida. Hasta ahora mediante esta aproximación analítica sólo se ha publicado el espécimen de neandertal LKH1, de cronología 40,000 BP, del yacimiento griego de Lakonis, aunque en la actualidad se están llevando a cabo estudios en neandertales de Francia, Bélgica, Italia, Oriente Próximo y la Península Ibérica. Para su estudio se analizan muestras de esmalte neandertal mediante la aplicación de un láser acoplado al espectrómetro de masas que apenas provoca destrucción en el resto dental que se va a estudiar, así como muestras de microfauna coetánea a los dientes estudiados y plantas y caracoles de las distintas zonas geológicas del entorno del yacimiento objeto de estudio, que se preparan en solución antes de ser introducidas en el espectrómetro de masas. En el caso de Lakonis el diente analizado fue encontrado en una cueva litoral de piedra caliza, pero los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ indican que el esmalte fue formado cuando el individuo residía en una

región más radiogénica de piedra volcánica, lo que comparado con la estructura geológica del entorno indica que este neandertal se desplazó al menos 20 kilómetros en vida (Richards *et al.*, 2007).

Además de los análisis de isótopos de estroncio, también la proporción isotópica del oxígeno ha sido utilizada en la investigación de los patrones de residencia en arqueología, como en el llamativo caso del Arquero de Amesbury enterrado en el yacimiento británico del Bronce temprano de Stonehenge junto a cinco piezas cerámicas asociadas a la Beaker Culture y cuyos valores de oxígeno indican que viene de una región alpina de Centroeuropa y aporta un dato relevante al debate sobre si la difusión de la cerámica de la Beaker Culture fue o no el resultado de migración poblacional. En cualquier caso, antes de aplicarse al campo de la arqueología, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ han sido utilizados durante muchos años como indicadores climáticos debido a que la distribución de sus valores está determinada por el régimen de precipitaciones, y no por la geología. Esto es precisamente lo que hace que este tipo de análisis sea complementario al de los isótopos de estroncio, ya que se basa en otro elemento distinto a la geología, las lluvias, para descifrar de dónde es el individuo estudiado. Así pues, las masas de nubes que aparecen debido a la evaporación en el océano se acaban desplazando hacia las zonas continentales, y como los isótopos ^{18}O son más pesados, conforme va avanzando el frente de lluvia van disminuyendo los valores de $\delta^{18}\text{O}$, quedando una especie de espectro zonal con diferentes valores para este ratio. Por esto es por lo que se dice que el clima y la geografía determinan variaciones en la composición isotópica del agua que se beberá en un área concreta. Y estas diferencias quedan registradas en los dientes y huesos, que reflejan la proporción media de oxígeno del agua incorporada al organismo mediante su bebida durante el tiempo de formación de los tejidos (Schoeninger y Moore, 1992).

4. BIBLIOGRAFÍA

- AMBROSE, S.H. y KRIGBAUM, J. (2003): Bone Chemistry and Bioarchaeology, *Journal of Anthropological Archaeology*, 22: 191-304.
- DE NIRO, M. y EPSTEIN, S. (1978): Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42: 495-506.
- DE NIRO, M. y EPSTEIN, S. (1981): Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49: 97-115.
- GARCÍA GUIXÉ, E. (2006): Carn, marisc o cereals? Evolució de l'alimentació a Europa entre el 10,000 i el 5,000 AP, *Cota Zero*, 21: 108-112.
- LEE-THORP, J.A. y SPONHEIMER, M. (2006): Contributions of Biogeochemistry to Understanding Hominin Dietary Ecology, *Yearbook of Physical Anthropology*, 49: 131-148.
- PRICE, T.D. (1989): *The Chemistry of Prehistoric Human Bone*. Inglaterra: Cambridge University Press.
- PRICE, T.D.; BURTON, J.H. y BENTLEY, R.A. (2002): The Characterization of Biologically Available Strontium Isotope Ratios for the Study of Prehistoric Migration, *Archaeometry*, 44: 117-135.
- RICHARDS, M.P.; HARVATI, K.; GRIMES, V.; SMITH, C.; SMITH, T.; HUBLIN, J.J.; KARKANAS, P. y PANAGOPOULOU, E. (2007): Strontium evidence of Neanderthal mobility at the site of Lakonis, Greece, using laser-ablation PIMMS, *Journal of Archaeological Science*, 35: 1251-1256.
- RICHARD, M.P.; PEARSON, J.A.; MOLLESON, T.I.; RUSSELL, N. y MARTIN, L. (2003a): Stable Isotope Evidence of Diet at Neolithic Çatalhöyük, Turkey, *Journal of Archaeological Science*, 30: 67-76.
- RICHARDS, M.P.; SCHULTING, R.J. y HEDGES, R.E.M. (2003b): Sharp shift in diet at onset of Neolithic, *Nature*, 425: 366.
- SCHOENINGER, M.J. y MOORE, K. (1992): Bone stable isotope studies in Archaeology, *Journal of World Prehistory*, 6: 247-296.
- SCHWARCZ, H.P. (1991): Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies, *Journal of Archaeological Science*, 18: 261-276.
- TAUBER, H. (1981): ^{13}C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark, *Nature*, 292: 332-333.
- VAN KLINKEN, G.J. (1999): Bone Collagen Quality Indicators for Palaeodietary and Radiocarbon Measurements, *Journal of Archaeological Science*, 26: 687-695.