

QUADERNS DELS MUSEUS MUNICIPALS DE VALÈNCIA 3

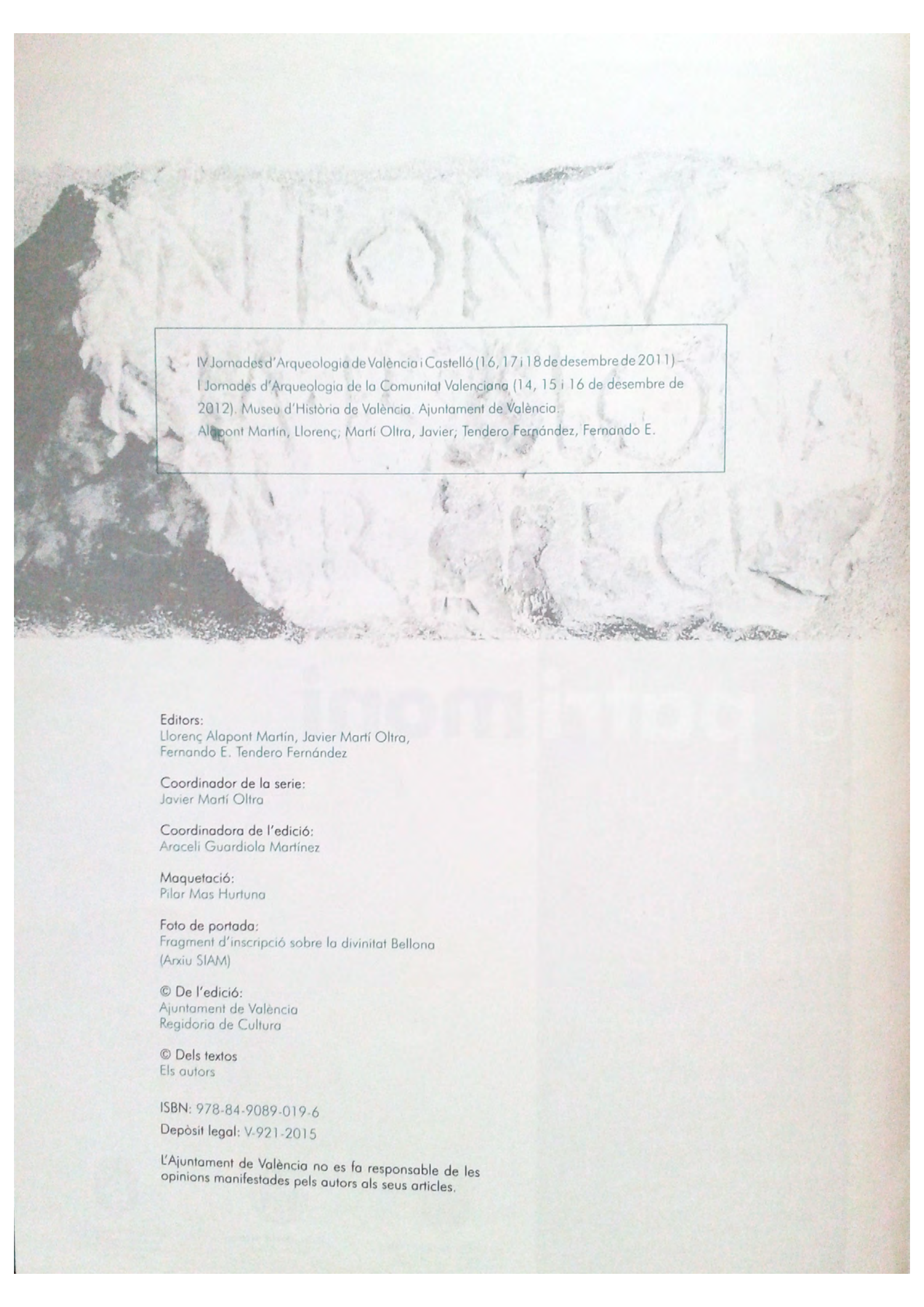
actuacions
sobre

el patrimoni

arqueològic
de la
Comunitat
Valenciana

Actes de les I Jornades
d'Arqueologia de la
Comunitat Valenciana

València, 2015



IV Jornades d'Arqueologia de València i Castelló (16, 17 i 18 de desembre de 2011) –
I Jornades d'Arqueologia de la Comunitat Valenciana (14, 15 i 16 de desembre de
2012). Museu d'Història de València. Ajuntament de València.
Alapont Martín, Llorenç; Martí Oltra, Javier; Tintero Fernández, Fernando E.

Editors:

Llorenç Alapont Martín, Javier Martí Oltra,
Fernando E. Tintero Fernández

Coordinador de la serie:

Javier Martí Oltra

Coordinadora de l'edició:

Araceli Guardiola Martínez

Maquetació:

Pilar Mas Hurtuna

Foto de portada:

Fragment d'inscripció sobre la divinitat Bellona
(Arxiu SIAM)

© De l'edició:

Ajuntament de València
Regidoria de Cultura

© Dels textos

Els autors

ISBN: 978-84-9089-019-6

Depòsit legal: V-921-2015

L'Ajuntament de València no es fa responsable de les
opinions manifestades pels autors als seus articles.

Utilidad de los análisis isotópicos sobre restos esqueléticos en arqueología: dieta, destete y movilidad territorial

Domingo Carlos Salazar-García

Resumen

Los análisis isotópicos llevan ya usándose décadas en el campo de la arqueología como complemento al estudio de la dieta, de las prácticas de destete y de las pautas de movilidad territorial de poblaciones pasadas. Aunque este tipo de estudios está ya muy extendido en el resto de países europeos, desafortunadamente, en España no parece acabar de consolidarse. Con este manuscrito se pretende dar a conocer de forma sucinta la utilidad de análisis isotópicos de distintos elementos químicos (carbono, nitrógeno, azufre, oxígeno y estroncio) en diversos restos esqueléticos arqueológicos (hueso, diente, cabello).

Palabras clave: dieta, destete, movilidad territorial, carbono, nitrógeno, azufre, oxígeno, estroncio.

Abstract

Isotopic analysis have been used during decades in the fields of Archaeology as a means of recovering information from diets, weaning practices, and mobility patterns of past populations. Although this methodological approach is quite widespread amongst most European countries, it is unfortunately so far not consolidated in Spain. The aim of this paper is to give a short and understandable overview of these methods and its applications to the general archaeological public. We will speak of several isotope analyses (carbon, nitrogen, sulphur, oxygen and strontium) carried on different archaeological tissues (bone, teeth, hair).

Key words: diet, weaning, territorial mobility, carbon, nitrogen, sulphur, oxygen, strontium.

Análisis isotópicos en arqueología

La aplicación de análisis isotópicos a la disciplina de la arqueología sigue siendo una asignatura pendiente en nuestro país. No es raro encontrar a estudiantes o profesionales de la arqueología que cuando se les pregunta sobre este tipo de analíticas responden con indiferencia o curiosidad debido a su desconocimiento. Sin duda, esto va asociado a la falta de desarrollo de las llamadas “ciencias arqueológicas” dentro del currículo universitario, que sigue centrado en las disciplinas arqueológicas tradicionales. Aunque es cierto que se está dando un empujón a esta sub-disciplina arqueológica en tierras valencianas con

estudios publicados durante estos últimos años (García-Guixé, Subirà y Richards, 2006; Salazar-García, 2009 y 2011; Salazar-García *et al.*, 2010 y 2014a y b), la verdad es que aún queda mucho por hacer. Desgraciadamente, los esfuerzos que se llevan a cabo para revertir esta situación en nuestro país no acaban de encontrar un buen caldo de cultivo por parte de las instituciones salvo de forma puntual y aislada. Sin embargo, en la gran mayoría de países europeos, así como en otros países desarrollados (Canadá, Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda) e incluso en vías de desarrollo (Sudáfrica, Brasil, Argentina, Chile), las ciencias arqueológicas en general, y la disciplina de las aplicaciones isotópicas en particular, están hoy en día

no solo consolidadas, sino que han pasado a ser uno de los ejes principales de la investigación y formación arqueológica. Entre otras cosas, este cambio interno de eje en la arqueología se aprecia en los contenidos de las revistas de investigación internacionales de referencia en nuestra disciplina (por ejemplo, la revista *Antiquity* o el *Journal of Archaeological Science*), que incluyen ingentes cantidades de publicaciones que utilizan la aplicación de las técnicas analíticas isotópicas (p. ej. Fernández *et al.*, 2013; Richards *et al.*, 2008). También aparecen este tipo de estudios en revistas de alto impacto como *Nature* o *PNAS*, aplicados a la arqueología y la evolución humana (p. ej. Copeland *et al.*, 2011; Richards y Trinkaus, 2009; Richards, Schulting y Hedges, 2003).

Ha sido a nivel internacional cuando durante las últimas dos décadas se ha ido incorporando en la investigación arqueológica de forma sistemática 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 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 se haya consolidado en muchos países esta sub-disciplina arqueológica. 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, la movilidad territorial, las prácticas de amamantamiento-destete, las características medioambientales, la jerarquía social, así como otro tipo de datos poblacionales, sociales y económicos de nuestros ancestros (p. ej. Britton *et al.*, 2011; Lee-Thorp y Sponheimer, 2006). En resumen, 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 en restos arqueológicos, especialmente en los prehistóricos, nos ofrecen información directa acerca de aspectos como la dieta que de otra forma solo se puede deducir mediante evidencias indirectas.

Tradicionalmente, la investigación arqueológica que ha pretendido reconstruir la alimentación, prácticas de amamantamiento-destete, y la movilidad territorial de las poblaciones prehistóricas, ha estado centrada en métodos de estudio indirectos al no disponer de posibilidades analíticas directas. Estos métodos tradiciona-

les se basaban en el estudio físico de restos óseos, de fragmentos de plantas, de artefactos y otras pruebas culturales halladas en yacimientos arqueológicos, quedando limitada la información potencial que podrían proporcionar estos restos si también se los analizara biogeoquímicamente. Tampoco hay que olvidar la problemática de la escala temporal en arqueología, especialmente en los yacimientos prehistóricos, que puede sesgar de forma importante las interpretaciones obtenidas de forma exclusiva mediante métodos de estudio indirectos. Y es que las acumulaciones que para las interpretaciones se integran en un mismo "momento" y por lo tanto son utilizadas para reconstruir las vidas cotidianas de nuestros ancestros, muchas veces han tardado múltiples generaciones en depositarse y, por ende, pueden comportar problemas a la hora de utilizarse para definir la dieta o pautas de movilidad de los individuos como tales, generando constructos imaginarios difíciles de vencer. Además, muchas veces las condiciones de preservación variables de los distintos tipos de restos pueden alterar las conclusiones obtenidas. Esto último se ve claramente, por ejemplo, en el caso de consumo de recursos vegetales, pues que no aparezcan en el registro arqueológico con la misma frecuencia que los restos animales no significa que no fuesen consumidos (p. ej. Salazar-García *et al.*, 2013).

Por todo esto es interesante poder contar con métodos analíticos directos sobre el propio esqueleto, como lo son los análisis isotópicos, que aproximen en mayor medida las interpretaciones sobre dieta y pautas de movilidad territorial a la realidad individual de cada sujeto y permitan, así, abordar su estudio de una manera más objetiva y acotada. Este tipo de análisis permite analizar directamente las evidencias de la alimentación mediante la caracterización de los alimentos que ingería una población, las prácticas de amamantamiento y destete, así como la procedencia o "indigenismo" de los individuos y sus desplazamientos por el territorio. No obstante, no hay que caer en el error de considerar a los métodos biogeoquímicos como válidos por sí solos, pues estos tienen también sus restricciones. Es por tanto necesario conocer sus limitaciones, e intentar combinar, siempre que sea posible, los métodos biogeoquímicos con los métodos tradicionales y con las diversas ramas de la antropología física para poder tener una idea más clara y global sobre las prácticas de subsistencia y modos de vida de los grupos humanos del pasado.

En este texto hablaremos brevemente sobre qué son los isótopos, para luego hablar sobre su uso en arqueología. Repasaremos el potencial que tienen estas analíticas en el estudio de las dietas, las prácticas de amamantamiento-destete, y las pautas de movilidad territorial.

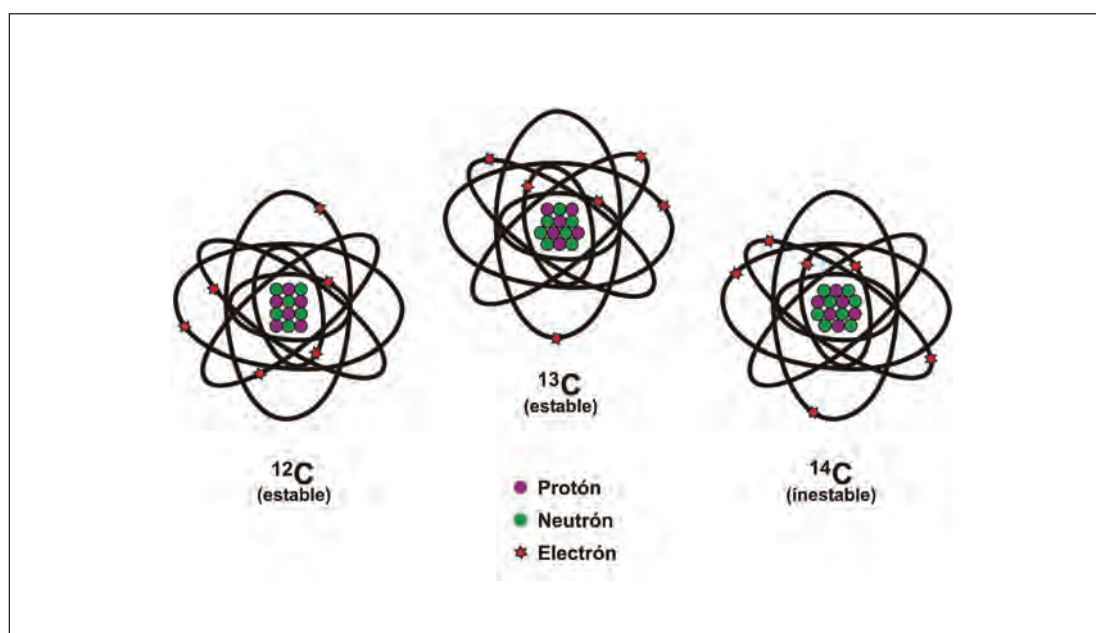


Figura 1. Isótopos del carbono: ^{12}C (6 protones y 6 neutrones), ^{13}C (6 protones y 7 neutrones) y ^{14}C (6 protones y 8 neutrones).

Isótopos al descubierto

Como ya hemos comentado, antes de proseguir habrá que responder a una pregunta clave para entender este tipo de analíticas: ¿Qué es un isótopo? 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 (Fig. 1). 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 estos últimos los radioactivos (como el ^{14}C), que no nos interesan aquí. A diferencia de los isótopos radioactivos, los isótopos estables ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) no se descomponen con el paso del tiempo, por lo que sus ratios se fijan y reflejan los procesos y entornos inorgánico-biogénicos en los que se formaron. También se considerará como isótopos estables a algunos isótopos de estroncio aun a pesar de que se forman por descomposición radioactiva, ya que no existe un cambio perceptible en el sistema $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a lo largo de las escalas temporales arqueológicas.

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.

Los isótopos estables de un elemento concreto se cuantifican a partir de espectrómetros de masas, aparatos que miden la proporción isotópica 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 más elevado indica que la muestra está enriquecida y es más pesada (tiene una proporción de isótopos pesados mayor) que otra con un valor δ menor. 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 esta 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 esta contiene 17 partes por mil más de ^{15}N que la muestra del nitrógeno atmosférico usado como referencia.

La mayoría de los análisis de isótopos estables que se desarrollan en el marco de la arqueología son a partir del análisis de los restos esqueléticos, 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 azufre ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$). 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 azufre, 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, por ejemplo, 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.

Los materiales arqueológicos principales sobre los que se realizan los análisis de isótopos estables suelen ser el hueso y el diente, debido a que son unos de los tejidos corporales que más se preservan en los yacimientos. El hueso está compuesto por sustancias orgánicas (33 %, de las cuales el 90 % es colágeno) e inorgánicas (66 %, la mayoría apatitas). El diente está formado por el esmalte (parte casi en totalidad inorgánica, mayormente hidroxapatitas), y la dentina (parte con un contenido del 18 % de materia orgánica). Entre estos tipos de componentes son el colágeno óseo y el esmalte dental los sustratos de análisis preferidos, ya que se ha visto que la apatita ósea tiene, a diferencia de los anteriores, problemas importantes de diagénesis (contaminación) en el lugar de enterramiento. En

el caso del colágeno óseo, que lleva utilizándose ya mucho tiempo para dataciones de radiocarbono, existen varios indicadores de calidad internacionalmente aceptados (ratios C: N, % C, % N, % S, rendimiento) que sirven para discriminar entre el colágeno bien preservado y el mal preservado (Brown *et al.*, 1988; Nehlich y Richards, 2009; Van Klinken, 1999). Por su parte, el diente es la parte esquelética que ha demostrado ser más resistente a la contaminación y degradación, especialmente su esmalte.

Siempre hay que tener en cuenta que, como toda técnica, los análisis isotópicos tienen sus limitaciones como metodología. Sin duda, la cuestión que restringe más la interpretación alimentaria es el hecho de que las medidas realizadas sobre colágeno (óseo o dental) reflejan, sobre todo, la ingesta de proteínas. Así pues, las comidas más ricas en proteínas como la carne o el pescado, al contribuir más a la composición isotópica del colágeno, son reflejadas en mayor medida en los análisis, produciéndose como resultado un enmascaramiento de la parte de la dieta procedente de los vegetales que poseen poca cantidad de proteínas.

Por supuesto, el uso de un material u otro a analizar condicionará la interpretación que se realice de los resultados obtenidos. Por ejemplo, como la tasa de remodelación para el colágeno oscila entre 5-20 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), los análisis sobre colágeno dan una imagen realista de la alimentación de los individuos a medio y largo plazo, pero presenta también el inconveniente de que su resolución no permite discernir variaciones estacionales o puntuales de la dieta. A la hora de interpretar los resultados, también es importante saber que el esmalte y la dentina no se remodelan en vida, y que cada pieza dental se forma en un momento concreto conocido de la vida del individuo. Ello implica que sus proporciones isotópicas, y por ende los resultados obtenidos, reflejan las del periodo de formación y maduración de la dentición, pero no las de los últimos años de vida como en el caso del análisis del colágeno óseo.

Isótopos y dieta

Conocer cuál es la alimentación de la que disfrutaron nuestros antepasados tiene una importancia fundamental, ya que esta desempeñó un papel clave en el funcionamiento de las sociedades humanas del pasado. La alimentación es sin duda un aspecto

central en la ecología y en el comportamiento de los homínidos, y también es indiscutible el papel que tuvo tanto en la emergencia de la economía de producción neolítica frente a la estrategia cazadora-recolectora como en la estratificación social posterior de las sociedades urbanas. En cualquier caso, la alimentación se debe entender como un concepto amplio que incluye la dieta (los distintos alimentos que se ingieren en conjunto), la nutrición (proceso biológico mediante el cual se asimilan los nutrientes obtenidos de la digestión necesarios para el crecimiento, funcionamiento y mantenimiento de las funciones vitales), la subsistencia (patrones de comportamiento adoptados para obtener los alimentos del entorno) y los hábitos dietéticos (actos voluntarios de elección, preparación e ingesta de los alimentos). Es decir, la alimentación es una realidad compleja en la que intervienen de forma prácticamente inseparable y entrelazada cuestiones fisiológicas, ecológicas y culturales.

Para el estudio de la dieta (la parte de la alimentación sobre la importancia relativa de los distintos alimentos ingeridos), los isótopos estables más usados son los del carbono y nitrógeno. El principio básico sobre el que se fundamentan estos estudios es el de "somos lo que comemos", es decir, que las unidades básicas que conforman todos los tejidos corporales de cualquier animal, incluyendo los huesos, provienen de los alimentos que estos han ingerido a lo largo de su vida. 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 estudios ecológicos y estudios de laboratorio con animales de dieta conocida, 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 estos con el carbono fósil marino) y $\delta^{15}\text{N}$ (proporción isotópica entre ^{15}N y ^{14}N de la muestra en relación a la proporción de estos con el nitrógeno atmosférico) permiten establecer el origen terrestre, lacustre-fluvial o marino de los principales recursos alimentarios. Además, los isótopos estables del carbono son capaces de forma aislada de discriminar entre la presencia en la dieta de plantas con rutas fotosintéticas diferentes, mientras que los del nitrógeno son capaces de situar a los humanos en el puesto de la cadena trófica que por su tipo de dieta les corresponda. Para poder afinar mejor las in-

terpretaciones sobre las proporciones de los distintos alimentos consumidos por los humanos, siempre que se pueda se tomarán muestras de la fauna asociada a los restos humanos (o en su defecto del mismo periodo cronológico y/o localización geográfica) para usarlas como referencia. Veamos ahora con más detalle qué es lo que específicamente hace que sea posible obtener este tipo de información para cada uno de los grupos isotópicos.

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 estas 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 hacen mediante una molécula de cuatro átomos de carbono, o plantas C_4 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{medio}} = -12.5\text{‰}$; rango entre -9 y -21‰). Si atendemos a los intervalos de confianza de la media de $\delta^{13}\text{C}$ tanto de plantas C_3 como de plantas C_4 , se puede observar cómo 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...). Así pues, a través del conocimiento de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se puede averiguar qué proporción de recursos C_3 y C_4 constituían la alimentación del individuo objeto de estudio. Además, los isótopos del carbono también pueden ser utilizados para distinguir entre dietas marinas y terrestres. Esto último no es difícil de comprender, y ocurre porque los vertebrados marinos poseen valores $\delta^{13}\text{C}$ claramente más elevados ($\delta^{13}\text{C}_{\text{medio}} = -12 \pm 1\text{‰}$) que los que caracterizan a una dieta típicamente terrestre ($\delta^{13}\text{C}_{\text{medio}} = -20 \pm 1\text{‰}$). Los vertebrados marinos tienen valores $\delta^{13}\text{C}$ más elevados porque su principal fuente de carbono es el CO_2 disuelto, que tiene un valor $\delta^{13}\text{C}$ de 0‰ , superior al $\delta^{13}\text{C}$ del atmosférico. Además de diferenciar entre dietas marinas y dietas terrestres, a veces se pueden discernir varia-

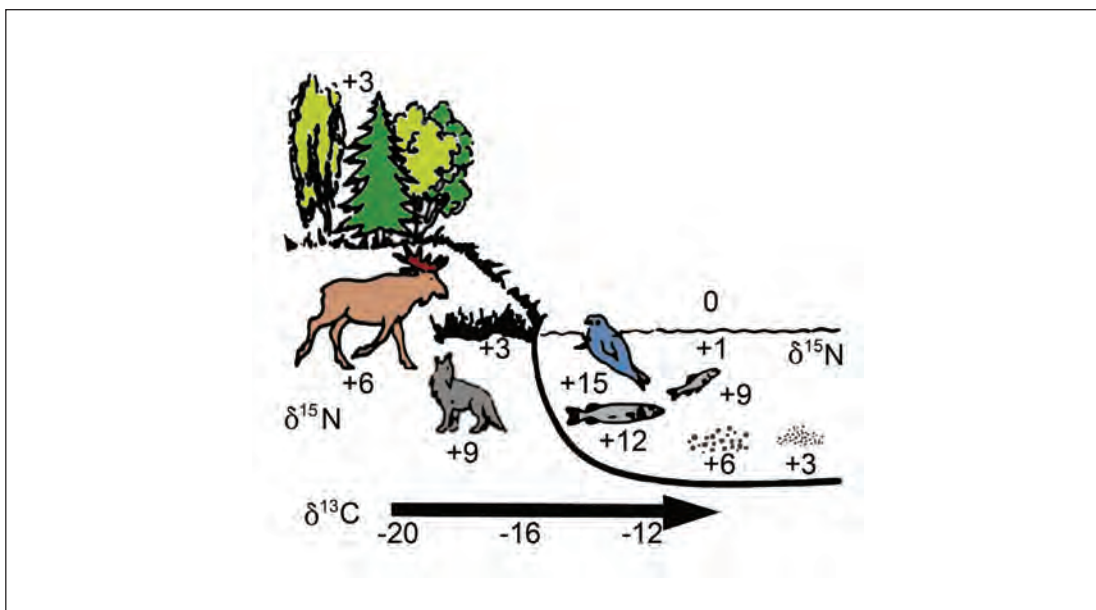


Figura 2. Cambio en los valores $\delta^{13}\text{C}$ (‰) entre ecosistemas terrestres y marinos, y de valores $\delta^{15}\text{N}$ (‰) entre niveles tróficos.

ciones de $\delta^{13}\text{C}$ en recursos de agua dulce debido a que estos utilizan una mezcla de carbono formado por residuos terrestres y CO_2 disuelto, aunque su alta variabilidad puede resultar enmascarándolos (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 alimentaria muy relevante mediante el estudio de isótopos estables del nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$). Estos estudios son claves para averiguar el nivel que un animal o ser humano ocupa en la cadena trófica, pues el valor $\delta^{15}\text{N}$ experimenta un incremento de aproximadamente entre 3-5 ‰ por cada peldaño que se sube en esta. 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 (las plantas tendrán los valores más bajos, seguidas de los herbívoros y omnívoros hasta llegar a los carnívoros, que tienen los valores más altos). Teniendo esto en cuenta, es relevante saber que son los organismos de ecosistemas marinos y lacustres los que generalmente presentan mayores valores $\delta^{15}\text{N}$ en comparación con los organismos de ecosistemas terrestres, en parte porque las cadenas alimentarias tienen más peldaños y, en consecuencia, se produce un mayor número de incrementos de $\delta^{15}\text{N}$ en el ecosistema (De Niro y Epstein, 1981).

En la figura 2 se ilustran los cambios de valores teóricos para carbono entre un ecosistema terrestre y otro marino, así como el incremento de nitrógeno entre sus distintos habitantes.

Isótopos, lactancia y destete

Una práctica que *a priori* se da en todas las épocas y sociedades del mundo es el amamantamiento de los individuos infantiles, con su posterior destete. Habitualmente, el destete, que consiste en la introducción de comidas suplementarias en la dieta de los individuos infantiles mientras el amamantamiento es eliminado de manera progresiva, es un proceso gradual. A grandes rasgos, la duración de ambos procesos es un factor cultural que suele variar entre poblaciones pero no dentro de una misma población. Por tanto, el estudio del amamantamiento y destete es útil como método indirecto para investigar la fertilidad de poblaciones pasadas y las causas de mortalidad infantil. Esto es posible porque debido a los efectos contraceptivos del amamantamiento, la edad de destete puede utilizarse como un indicador del espaciamiento entre partos y ser así un indicador de la fertilidad femenina. También es capaz de dar información sobre las causas de mortalidad infantil, ya que el periodo inmediato post-destete, momento en el que el individuo infantil deja de recibir los factores inmunológicos de la madre a través de la leche materna, es responsable de una alta tasa de mortalidad.

Lo que nos interesa a nosotros es que tanto el proceso de amamantamiento como el de destete, al implicar un cambio en la dieta, pueden ser detectados a través del análisis de los isótopos estables del carbono y del nitrógeno. Teniendo en cuenta que los

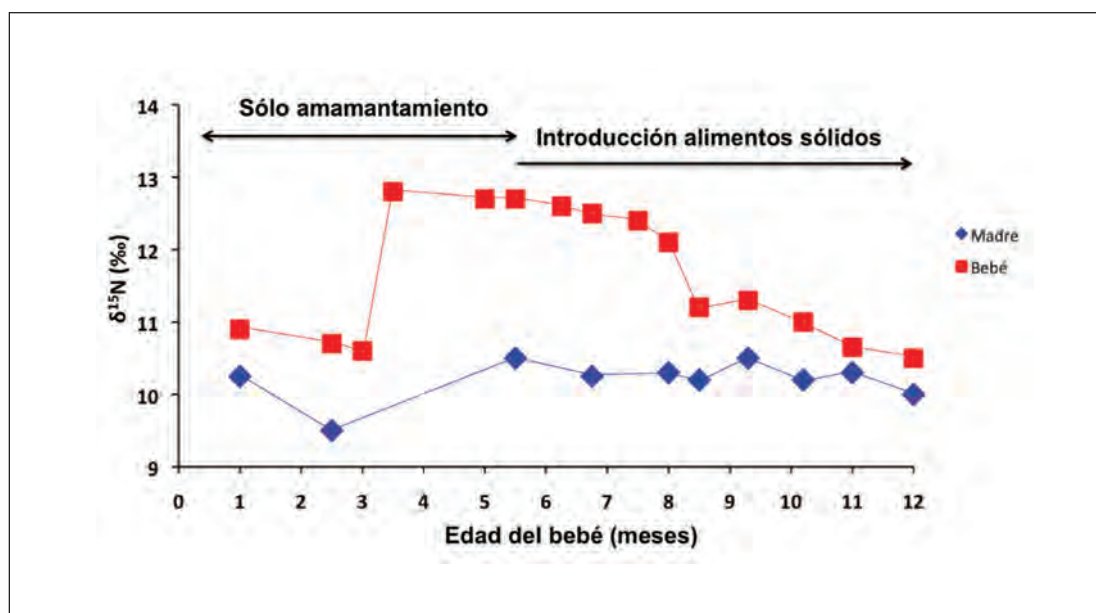


Figura 3. Variación de valores $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en un bebé y su madre durante los procesos de amamantamiento y destete.

valores $\delta^{15}\text{N}$ son indicativos del nivel trófico que ocupa un individuo en la cadena alimentaria, e imaginando a los niños amamantados como “carnívoros” que se alimentan de sus madres, estos estarán un nivel trófico por encima de sus madres. Esta situación será permanente mientras el individuo infantil consuma tan solo leche materna, y se irá modificando conforme se le vayan administrando otro tipo de alimentos en la dieta. Así pues, los valores $\delta^{15}\text{N}$ de los niños varían con la edad (Fig. 3): en el nacimiento son equiparables a los de la madre (reciben a través de la placenta los alimentos que ella ingiere), con el amamantamiento se incrementan (llegan a situarse un 3-5 ‰ por encima de los de la madre), y al empezar el destete descienden (hasta ocupar el mismo nivel trófico que el resto de la población adulta). En cuanto a los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del individuo infantil, estos indicarán el origen de las proteínas suplementarias que empiezan a introducirse con el destete.

Estos patrones isotópicos observados durante el ciclo de amamantamiento y destete permiten utilizar diversas aproximaciones a su estudio en poblaciones arqueológicas. Una de ellas es analizar el colágeno óseo de poblaciones enteras, contando con un número de individuos significativo para cada una de las edades (neonatos, distintas edades de infantiles, subadultos y adultos). Esta forma de muestreo permite comparar los valores isotópicos de los individuos infantiles con los de la población adulta, y ver en qué rango de edad

los valores de los infantiles están en su punto máximo (amamantamiento), en qué rango de edad van descendiendo (destete) y cuándo se equiparan a los de los adultos (fin del destete). Aunque este diseño es útil, uno de los puntos débiles que tiene es que todos los niños analizados murieron en una etapa muy temprana de su vida, algo que podría estar relacionado con un destete temprano, y por tanto no ser representativos de toda la población. La solución a esto es poder añadir al estudio el análisis de los isótopos estables de los dientes de los individuos adultos, que se forman durante la infancia y no se remodelan a lo largo de la vida, y así obtener datos de la infancia de individuos que sí alcanzaron la edad adulta.

Isótopos y movilidad territorial

El conocer cómo los individuos humanos se desplazaron por el territorio en el pasado es clave para poder entender mejor actividades de la vida cotidiana como la caza, los cambios de lugares de ocupación, el intercambio de objetos, la migración estacional, la procedencia, etc. Todo esto ayuda a acercarse mejor a comprender no solo las relaciones de estas poblaciones pasadas con los entornos geográfico, geológico y medioambiental, sino también las relaciones entre grupos de población e incluso intrapoblacionales. En este sentido, los estudios de dieta encuentran en los estudios sobre la movilidad territorial un aliado de

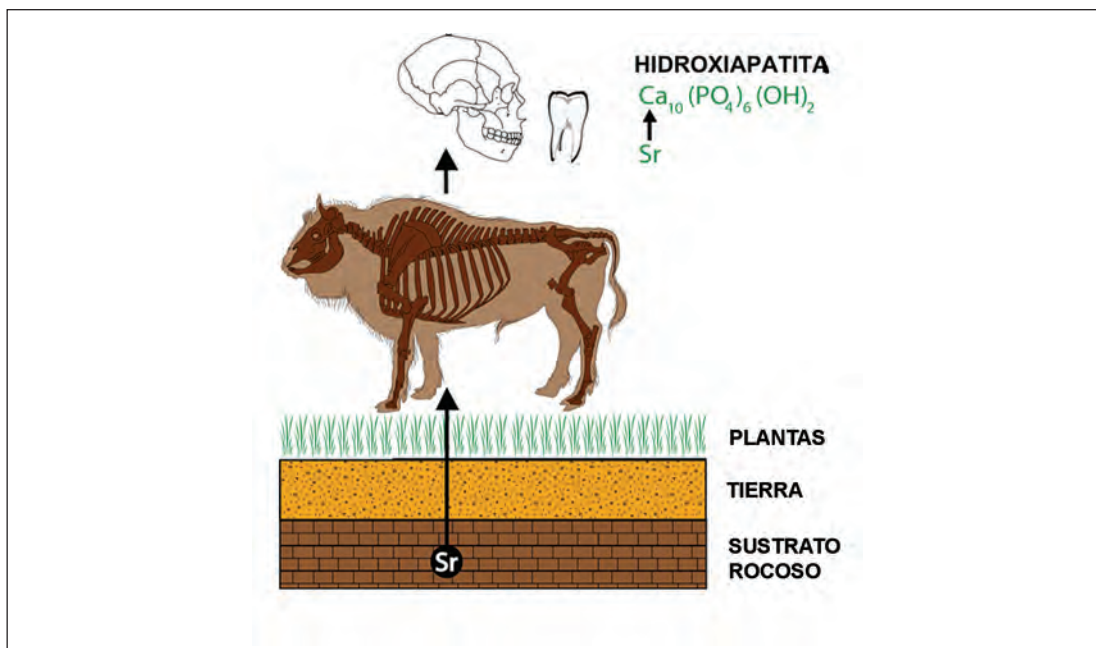


Figura 4. Esquema del movimiento de estroncio desde el estrato geológico del suelo hasta los humanos.

tremenda importancia para averiguar aspectos tanto sociales como paleodemográficos de las sociedades del pasado.

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 aparecer independientemente o mediante influencias directas e indirectas que no suponen necesariamente desplazamiento de individuos. Con el estudio de los isótopos de estroncio, azufre y oxígeno, en cambio, sí se pueden obtener datos concretos sobre los individuos de los cuales se estudien sus restos óseos, sean estos humanos o animales, obteniendo así información fiable sobre sus pautas de movilidad. Y, aunque muchas veces es difícil poder reconstruir una ruta de movimiento o la procedencia de un individuo, sí es más factible averiguar si este murió en la misma zona donde pasó la infancia o si, por el contrario, terminó sus días en otro lugar. Y, combinando esta información con el perfil antropológico, dieta, etc., se puede obtener valiosa información como, por ejemplo, sobre la jerarquía y el acceso a los alimentos o el tipo de enterramiento.

Los análisis de estroncio aplicados a la arqueología se basan en que sus proporciones isotópicas, que dependen exclusivamente de la geología de cada zona, se fijan en el esmalte dentario cuando este se forma durante la infancia. Cada zona geológica tendrá unos valores propios, ya que el isótopo radiogénico del estroncio (^{87}Sr) deriva de la descomposición del rubidio (^{87}Rb) y, por ende, de la antigüedad de las rocas, variando según su edad la proporción $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0.700 y 0.750. Las unidades geológicas más antiguas son las que presentan valores más altos, mientras que las más recientes son las que presentan valores más bajos (por ejemplo, los materiales volcánicos). A la cadena alimentaria se incorpora el estroncio de la litosfera a través del agua, quedando integrado en los tejidos de las plantas y de los animales (Fig. 4). Al consumir el ser humano plantas y animales, la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en sus tejidos corporales pasa a ser idéntica a la de la zona de la que provienen dichos alimentos; por tanto, el ratio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ puede ser usado para averiguar el sustrato geológico donde los individuos han vivido (Bentley, 2006). Esto es posible al comparar los valores del esmalte dental (correspondiente al momento de la infancia en el que se forma) con los del mapa de estroncio biodisponible, elaborado mediante el análisis de isótopos de estroncio de conchas de caracoles y plantas contemporáneas de las distintas zonas geológicas de la región de estudio. Del mismo modo, dentro de una misma población y conociendo la proporción isotópica de estroncio en la geología de la zona del yacimiento gracias también al análisis

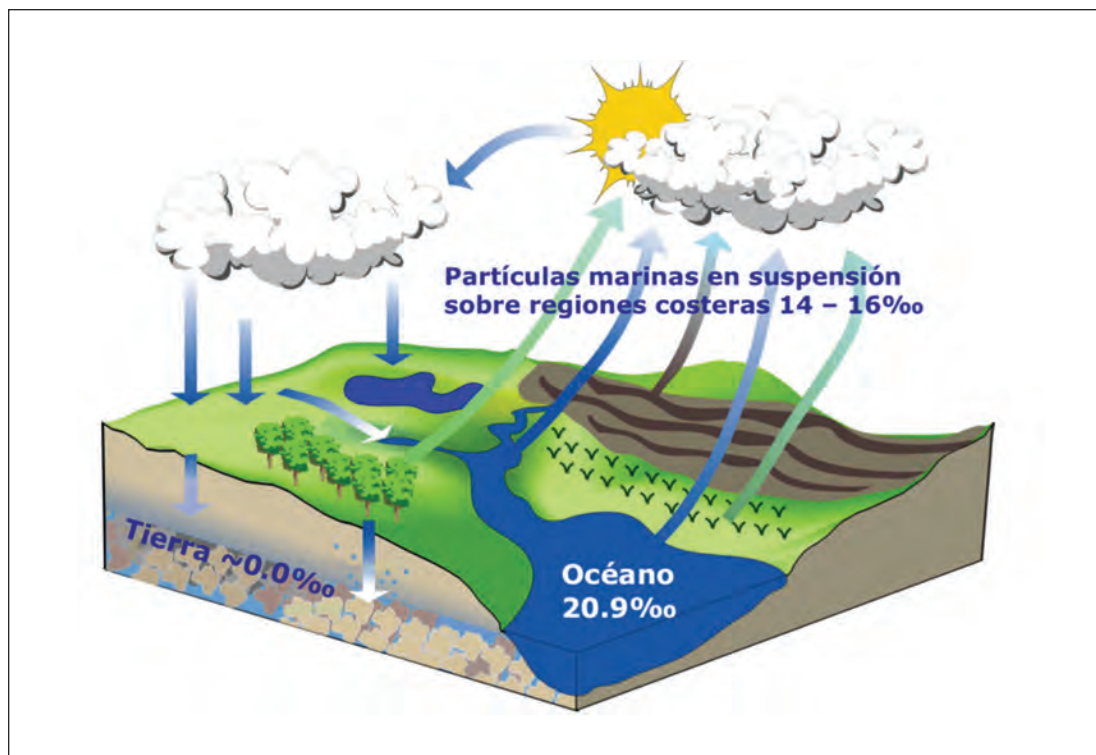


Figura 5. Valores $\delta^{34}\text{S}$ (‰) en distintas localizaciones geográficas.

isotópico de dientes de microfauna, se puede saber si los distintos individuos son o no locales (Copeland *et al.*, 2010).

Añadiendo los análisis de isótopos de azufre (S) y oxígeno (O) se puede complementar la información sobre las pautas de movilidad de los individuos que ofrecen los análisis isotópicos de estroncio sobre esmalte dentario. Los valores $\delta^{34}\text{S}$ (proporción isotópica entre ^{34}S y ^{32}S) varían según la distancia entre el individuo y la costa marina, pues se enriquecen a mayor tiempo se esté más cerca del litoral (Fig. 5), por lo que combinándolos con los resultados basados en la geología, se puede obtener valiosa información sobre si hubo o no estacionalidad en dicha población (Richards, Fuller y Hedges, 2001). Por otra parte, los valores $\delta^{18}\text{O}$ pueden aportar datos sobre la procedencia de los individuos porque el ratio $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ en la precipitación varía con la temperatura (y por tanto la latitud), con la altitud, cantidad de precipitación y distancia del océano (Fig. 6) (Sponheimer y Lee-Thorp, 1999). Aunque los átomos de oxígeno están presentes en todo el organismo, hasta ahora lo más utilizado en arqueología para los análisis isotópicos de oxígeno han sido los fosfatos del hueso y los carbonatos del esmalte, a diferencia de lo que ocurre con los análisis de isótopos de azufre, que se realizan solo sobre colágeno óseo.

Conclusiones

Los distintos tipos de análisis isotópicos que se pueden realizar sobre material arqueológico permiten obtener una serie de evidencias directas difíciles de obtener mediante estudios arqueológicos tradicionales. El tipo de alimentación, los tiempos del amamantamiento y destete o las pautas de movilidad son solo algunas de las aplicaciones isotópicas que existen en el campo de la arqueología. Por todo ello, es fundamental que las nuevas arqueólogas y los nuevos arqueólogos estén familiarizados con este tipo de analíticas. Desgraciadamente, la poca formación y utilización de los análisis isotópicos en la arqueología valenciana es solo un caso más de la falta de "modernización" de la disciplina arqueológica en nuestra tierra. Las y los estudiantes que se formen como arqueólogas y arqueólogos en nuestro país lo van a tener muy difícil para competir con otras y otros estudiantes europeos, sobre todo en el campo de la investigación, si no cambia la cosa. Y la situación no va a cambiar sola, tenemos que cambiarla entre todas y todos; hay que dar una vuelta de títmón a la situación actual. Para ello, algo fundamental es presionar a las instituciones académicas para que incluyan en los grados y postgrados de arqueología asignaturas de arqueología biomolecular y bioarqueología. Se tiene también que fomentar la utilización de

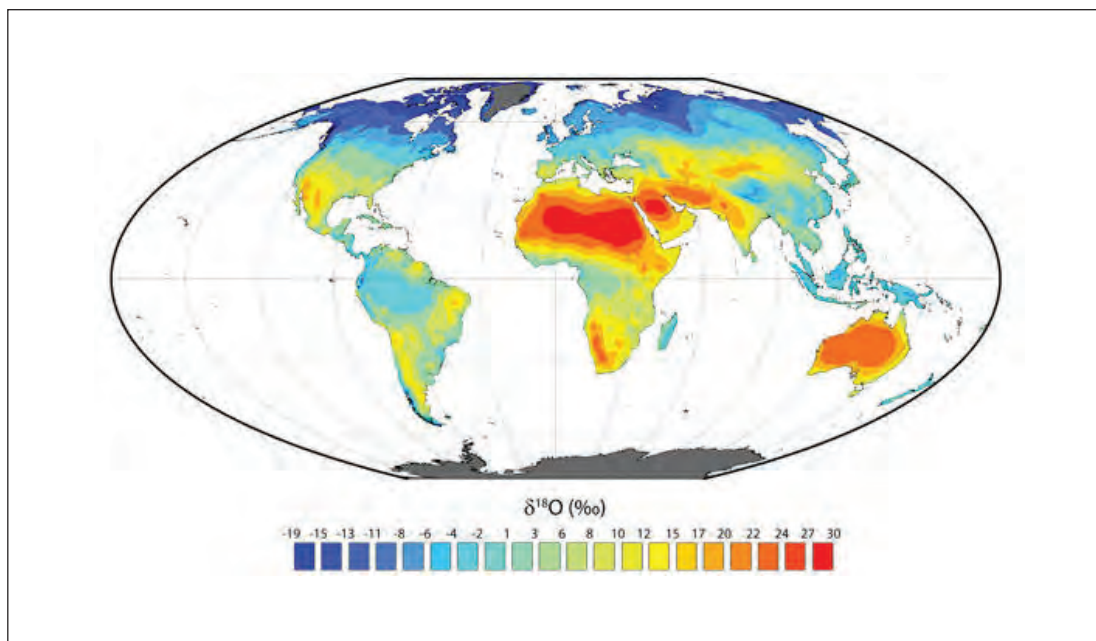


Figura 6. Distribución general de valores $\delta^{18}\text{O}$ (‰) sobre un mapa del mundo.

378

las técnicas biogeoquímicas en los proyectos de investigación, y considerar las colaboraciones con otras áreas de conocimiento. Y, por supuesto, exigir financiación para el desarrollo de estas técnicas y la creación de laboratorios en nuestra tierra.

Domingo Carlos Salazar-García
 Department of Archaeology University of Cape Town
 Department of Human Evolution
 Max-Planck Institute for Evolutionary Anthropology
 domingo_carlos@eva.mpg.de

Bibliografía

BENTLEY, R. A. (2006): "Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review". *Journal of Archaeological Method and Theory*, 13, 135-187.

BRITTON, K.; GRIMES, V.; NIVEN, L.; STEELE, T. E.; MCPHERRON, S.; SORESSI, M.; KELLY, T. E.; JAUBERT, J.; HUBLIN, J.-J. 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, 176-185.

BROWN, T. A.; NELSON, D. E.; VOGEL, J. S. y SOUTHON, J. R. (1988): "Improved Collagen Extraction by Modified Longin Method". *Radio-carbon*, 30, 171-177.

COPELAND, S. R.; SPONHEIMER, M.; LEE-THORP, J. A.; LE ROUX, P. J.; DE RUITER, D. J. y RICHARDS, M. P. (2010): "Strontium isotope ratios in fossil teeth from South Africa: assessing laser ablation MC-ICP-MS analysis and the extent of diagenesis". *Journal of Archaeological Science*, 37, 1437-1446.

COPELAND, S. R.; SPONHEIMER, M.; DE RUITER, D. J.; LEE-THORP, J. L.; CODRON, D.; LE ROUX, P. J.; GRIMES, V. y RICHARDS, M. P. (2011): "Strontium isotope evidence for landscape use by early hominins". *Nature*, 474, 76-78.

DE NIRO, M. J. 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. J. y EPSTEIN, S. (1981): "Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 97-115.

FERNÁNDEZ, J.; SALAZAR-GARCÍA, D. C.; SUBIRÀ, M. E.; ROCA DE TOGORES, C.; GÓMEZ, M.; RICHARDS, M. P. y ESQUEMBRE, M. A. (2013): "Late Mesolithic burials of Casa Corona (Villena, Spain): direct radiocarbon and paleodietary evidence of the last forager populations in Eastern Iberia". *Journal of Archaeological Science*, 40, 671-680.

GARCÍA-GUIXÉ, E.; SUBIRÀ, M. E. y RICHARDS, M. P. (2006): "Paleodiets of Humans and Fauna at the Spanish Mesolithic Site of El Collado". *Current Anthropology*, 47, 549-556.

LEE-THORP, J. A. y SPONHEIMER, M. (2006): "Contributions of Biogeochemistry to Understanding Hominin Dietary Ecology". *Yearbook of Physical Anthropology*, 49, 131-148.

- NEHLICH, O. y RICHARDS, M. P. (2009): "Establishing collagen quality criteria for sulphur isotope analysis of archaeological bone collagen". *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1, 59-75.
- RICHARDS, M. P. y TRINKAUS, E. (2009): "Isotopic evidence for the diets of European Neanderthals and early modern humans". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 16034-16039.
- RICHARDS, M. P.; FULLER, B. T. y HEDGES, R. E. M. (2001): "Sulphur isotopic variation in ancient bone collagen from Europe: implications for human palaeodiet, residence mobility, and modern pollutant studies". *Earth and Planetary Science Letters*, 191, 185-190.
- RICHARDS, M. P.; SCHULTING, R. J. y HEDGES, R. E. M. (2003): "Sharp shift in diet at onset of Neolithic". *Nature*, 425, 366.
- RICHARDS, M.; HARVATI, K.; GRIMES, V.; SMITH, C.; SMITH, T.; HUBLIN, J.-J.; KARKANAS, P. y PANAGOPOULOU, E. (2008): "Strontium evidence of Neanderthal mobility at the site of Lakonis, Greece, using laser-ablation PIMMS". *Journal of Archaeological Science*, 35, 1251-1256.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2009): "Estudio de la dieta en la población neolítica de Costamar. Resultados preliminares de análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno". En FLORS, E. (coord.): *Torre la Sal (Castellón). Evolución del paisaje antrópico desde la prehistoria hasta el medioevo*. Monografies de Prehistòria i Arqueologia Castellonenques, 8, 411-418. Castellón.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2011): "Aproximación a la dieta de la población calcolítica de La Vital a través del análisis de isótopos estables del carbono y del nitrógeno sobre restos óseos". En PÉREZ, G., BERNABEU, J., CARRIÓN, Y., GARCÍA-PUCHOL, O., MOLINA, LI. y GÓMEZ, M. (eds.): *La Vital (Gandia, Valencia). Vida y muerte en la desembocadura del Serpis durante el III y el I milenio a.C.* Serie de Trabajos Varios del SIP, 113, 139-143. Valencia.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C., RICHARDS, M. P., NEHLICH, O., HENRY, A. G. (2014a): "Dental calculus is not equivalent to bone collagen for isotope analysis: a comparison between carbon and nitrogen stable isotope analysis of bulk dental calculus, bone and dentine collagen from same individuals from the Medieval site of El Raval (Alicante, Spain)". *Journal of Archaeological Science*, 47, 70-77.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; AURA, J. E.; OLÀRIA, C. R.; TALAMO, S.; MORALES, J. V. y RICHARDS, M. P. (2014b): "Isotope evidence for the use of marine resources in the Eastern Iberian Mesolithic". *Journal of Archaeological Science*, 42, 231-240.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; POWER, R. C.; SANCHIS-SERRA, A.; VILLAVERDE, V.; WALKER, M. J. y HENRY, A. G. (2013): "Neanderthal diets in central and southeastern Mediterranean Iberia". *Quaternary International*, 318, 3-18.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; VIVES-FERRÁNDIZ, J.; FULLER, B. T. y RICHARDS, M. P. (2010): "Alimentación estimada de la población del Castellet de Bernabé (ss. V-III A. C.) mediante el uso de ratios de isótopos estables de C y N". *Saguntum-PLAV*, Extra 9, 313-322. Valencia.
- SPONHEIMER, M. y LEE-THORP, J. A. (1999): "Oxygen Isotopes in Enamel Carbonate and their Ecological Significance". *Journal of Archaeological Science*, 26, 723-728.
- VAN KLINKEN, G. J. (1999): "Bone Collagen Quality Indicators for Palaeodietary and Radiocarbon Measurements". *Journal of Archaeological Science*, 26, 687-695.