

Isòtops i arqueologia: investigació del consum alimentari i dels historials de residència

Jane E. Buikstra, Cristina Rihuete Herrada

Introducció

Tradicionalment la recerca arqueològica dels règims dietètics ha estat centrada en la recuperació dels residus alimentaris procedents dels assentaments. Pel que fa a la reconstrucció de moviments migratoris i patrons de residència, les comparacions dels trets morfològics i estilístics distintius de l'arquitectura i dels artefactes mòbils han estat els elements que han proporcionat la base inferencial. No obstant això, els residus informen més del consum potencial que de l'efectiu, mentre que els atributs morfològics i decoratius poden comparèixer independentment o mitjançant influències directes i indirectes que no suposen necessàriament desplaçament de poblacions.

Des de finals dels setanta, l'aplicació de les anàlisis químiques a l'estudi dels teixits humans antics ha permès explorar qüestions de paleodieta i historials de residència a través dels valors isotòpics cristal·litzats als ossos i les dents. Els coneixements acumulats fins llavors sobre el metabolisme de les plantes i els animals (BENDER, 1968; CRAIG, 1954; HALL, 1967; SMITH I EPSTEIN, 1971; per a una síntesi vegeu AMBROSE I KRIGBAUN, 2003; KATZENBERG, 2000; KOCH I BURTON, 2003; PRICE, 1989; SANDFORD, 1993) van ser redimensionats per un geoquímic i un arqueòleg (VOGEL I VAN DER MERWE, 1977; VAN DER MERWE I VOGEL, 1978), la col·laboració pionera dels quals inicià una veritable revolució en l'estimació del consum alimentari i les

seves implicacions en l'anàlisi dels canvis en les estratègies productives i en l'esfera de l'economia política. Actualment és possible valorar les importants relacions sinèrgiques entre dieta i salut i avaluar tant les transformacions a gran escala com les diferències intrapoblacionals.

En els darrers anys i gràcies a estudis previs sobre els marcadors isotòpics referents a l'evolució del paisatge (FAURE I POWELL, 1972; FULLAGAR [*et al.*], 1971), un arqueòleg implicat en la docència i investigació del medi ambient va proposar una estratègia per a inferir patrons de residència mitjançant la comparació dels valors d'isòtops d'estrónci fixats als teixits corporals durant els primers i els darrers cicles vitals (dent i os respectivament) (ERICSON, 1985; 1989). Aquesta aproximació als historials de residència, perfeccionada gràcies als estudis desenvolupats al llarg de les dues darreres dècades, afegeix avui dia l'anàlisi d'altres elements isotòpics, com l'oxigen i el plom.

En aquest article tractem les anàlisis isotòpiques aplicades a l'estudi de les restes humanes que permeten avaluar els patrons dietètics i de residència de l'antiguitat. En primer lloc plantejarem consideracions metodològiques d'interès, així com aspectes importants a tenir en compte per a una correcta interpretació de les dades. Posteriorment presentarem algunes aplicacions pràctiques que il·lustren el tipus d'inferències que es poden extreure tant en l'àmbit individual com poblacional.

Isòtops i teixits humans. Nocions i termes bàsics

Els isòtops d'un element químic són àtoms que comparteixen el mateix nombre de protons però divergeixen en el de neutrons (tenen masses atòmiques diferents). Als isòtops amb una massa major se'ls anomena *pesats* (p. e., ^{13}C , ^{15}N), i als que tenen una massa menor, *lleugers* (p. e., ^{12}C , ^{14}N). Malgrat això, la bibliografia bioarqueològica acostuma a reservar el terme *pesat* per als elements amb masses atòmiques globals més pesades, com per exemple l'estronci (^{88}Sr , ^{86}Sr) o el plom (^{206}Pb , ^{204}Pb).

A causa dels processos metabòlics que tenen lloc a la biosfera, les diferències de massa determinen diferències de comportament i al resultat se l'anomena *fraccionament isotòpic*, terme que defineix la diferència existent entre la proporció isotòpica del material analitzat i la del substrat de partida. En el cas del carboni, per exemple, la diferència entre la proporció isotòpica dels teixits de les plantes i la del carboni de l'atmosfera és resultat del fraccionament isotòpic. És fonamental, per tant, distingir la natura d'aquesta *deriva isotòpica* dels isòtops estables de la *descomposició* que caracteritza els isòtops inestables o radioactius (p. e. ^{14}C).

El contingut d'isòtops estables d'un determinat element es quantifica a partir d'espectròmetres de masses que mesuren la *proporció* existent en una determinada mostra respecte a la proporció d'un material de referència (estàndard). El valor resultant (δ) s'expressa en parts per mil (‰) i deriva de la següent fórmula:

$$\delta = [(R_{\text{mostra}} / R_{\text{estàndard}}) - 1] \times 1000 \text{ (‰)}$$

on R és igual a la proporció isotòpica de l'element considerat (p. e. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, etc).

Un valor δ elevat generalment indica que la mostra és més pesada i, consegüentment, té un valor més positiu que el del material de referència. Per això els termes *enriquit* o *empobrit* es refereixen a l'isòtop més pesat (p. e., «la mostra estava enriquida en ^{13}C »). Un altre aspecte important és l'escala, atès que els valors poden ser negatius (cas del carboni) o positius (cas del nitrogen). En el cas del carboni, per exemple, això és a causa del fet que el material de referència (carboni marí fòssil de la formació geològica Peedee a Carolina del Sud - PDB) és més posi-

tiu (està més enriquit en ^{13}C) que la major part dels materials biològics. Així, per exemple, un valor $\delta^{13}\text{C} = -10\text{‰}$ implica que la mostra conté 10 parts per mil (1%) *menys* de ^{13}C que el carboni marí. Contràriament, el material de referència per al nitrogen (nitrogen atmosfèric o *Ambient Inhabitable Reservoir* - AIR) conté menys ^{15}N que la majoria dels materials biogènics i, per aquest motiu, els valors $\delta^{15}\text{N}$ de les mostres analitzades són positius. En aquest cas, un valor $\delta^{15}\text{N} = 10\text{‰}$ indica que la mostra té 10 parts per mil *més* que el nitrogen atmosfèric (PRICE *et al.*, 1985; SCHOENINGER I MOORE, 1992).

Les anàlisis d'isòtops estables acostumen a realitzar-se sobre restes òssies, encara que en certs contextos amb condicions de preservació excepcionals també s'han emprat altres tipus de teixits, com ara el cabell (MACKO *et al.*, 1999). Atès que el procés de creixement i maduració afecta diferencialment els diversos teixits ossis, és fonamental determinar quin tipus de mostra hem de triar. Per exemple, malgrat que els ossos es remodelen constantment al llarg del cicle vital, la porció cortical (la més externa i compacta) presenta una taxa de canvi molt menor que la trabecular (la més interna i de textura esponjosa), i per això aquesta reflectirà més acuradament els darrers anys de vida de l'individu analitzat. En canvi, l'esmalt dentari no es remodela i, per tant, els seus valors isotòpics corresponen al període de formació i maduració de la dentició.

A més del tipus de mostra, un altre factor important a considerar és la diagenèsi (alteracions *post mortem* en la natura bioquímica de les restes esquelètiques). El teixit ossi està format per ~2/3 de matèria orgànica (principalment col·lagen) i ~1/3 de matèria inorgànica (fracció carbonatada de l'apatita). La integració de les restes humanes a la litosfera pot transformar significativament la composició d'ambdues fraccions (PRICE *et al.*, 1992; HEDGES, 2002). Pel que fa al col·lagen, és necessari purificar la mostra mitjançant l'eliminació de la fase mineral i dels contaminants orgànics i, posteriorment, verificar la composició química de l'extracte (DENIRO, 1985; AMBROSE, 1990). També és molt recomanable quantificar la proporció C/N, ja que els valors fora del rang 2,9-3,6 aconsellen descartar la validesa de la mostra. Quant a la fracció inorgànica, el pretractament de la mostra inclou l'eliminació dels carbonats més solu-

bles, perquè aquests són els que més probablement tindran un origen exogen (LEE-THORPE I VAN DER MERWE, 1991).

Mètodes per a l'estimació del règim dietètic: isòtops de carboni i nitrogen

La premissa bàsica d'aquest tipus d'anàliti-ques, fonamentada en estudis experimentals, és que la composició isotòpica de la dieta d'un animal determina la composició isotòpica dels seus teixits ossis. De manera molt general, els valors $\delta^{13}\text{C}$ (proporció isotòpica entre ^{13}C i ^{12}C) i $\delta^{15}\text{N}$ (proporció isotòpica entre ^{15}N i ^{14}N) permeten destriar entre diferents tipus d'espècies vegetals i establir l'origen terrestre, lacustre/flu- vial o marí dels principals recursos alimentaris (per a una revisió metodològica amb aplicacions pràctiques vegi's BOCHERENS, 1999; LARSEN, 1997; KATZENBERG 1992, 2000; SCHWARCZ I

SCHOENINGER, 1991; SCHOENINGER I MOORE, 1992).

El carboni entra a la biosfera en forma de CO_2 atmosfèric i posteriorment és fixat per les plantes mitjançant la fotosíntesi. Durant la fotosíntesi les plantes incorporen el carboni atmosfèric, que té un valor $\delta^{13}\text{C}$ de -7‰ , emprant una major quantitat de ^{12}C que de ^{13}C (s'emprobreixen en ^{13}C) (figura 1). Aquest fraccionament isotòpic fa que en els seus organismes la proporció original romangui alterada. Les plantes que fixen el diòxid de carboni en una molècula amb tres àtoms de carboni, anomenades *plantes C₃*, incorporen als seus teixits una quantitat menor d'isòtops ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$ mitjà = -26 ; rang entre -22 i -38‰) que les que ho fan mitjançant una molècula de quatre àtoms de carboni, o *plantes C₄* ($\delta^{13}\text{C}$ mitjà = $-12,5$; rang entre -9 i -21‰) (TIESZEN, 1991). Atès que no hi ha encavallament entre els valors dels rangs respectius, és possible estimar la seva im-

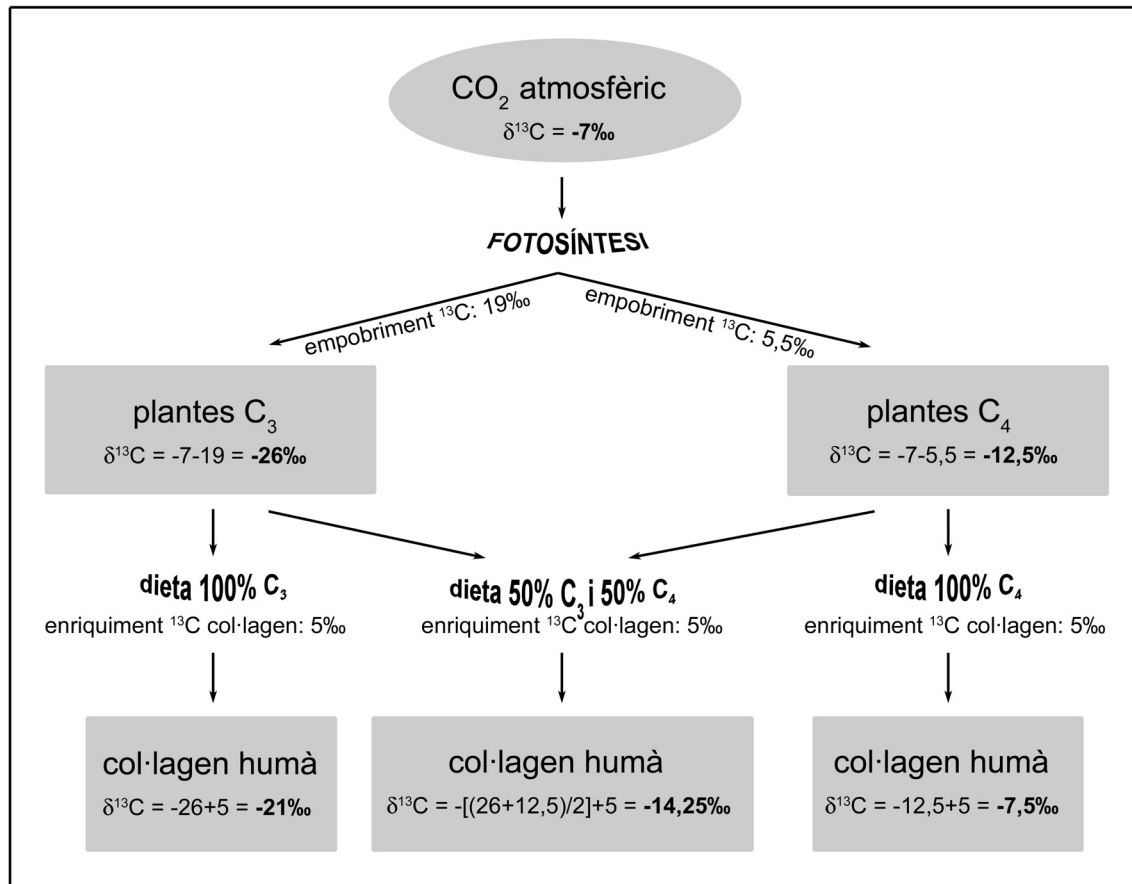


Figura 1. Valors isotòpics de tres dietes hipotètiques basades en plantes amb rutes metabòliques diferenciades (basat en VOGEL I VAN DER MERWE, 1977, amb dades de TIESZEN, 1991).

portància relativa en la dieta. El grup C_3 inclou la majoria dels arbustos i, en general, plantes de regions temperades i fredes (cereals com l'ordi, el blat o l'arròs, fruits secs i la major part de fruites i verdures). Entre les plantes C_4 trobem les de clima tropical i ambients de sabana, així com les d'altres regions especialment adaptades a la calor i l'aridesa (blat de moro, mill, melca, canya de sucre).

A més de discriminar entre plantes amb rutes fotosintètiques diferents, els isòtops de carboni també han estat emprats per a diferenciar entre dietes marines i terrestres (TAUBER, 1981; CHISHOLM [*et al.*], 1982; KEEGAN I DENIRO, 1988; LUBELL [*et al.*], 1994). La principal font de carboni als organismes marins és CO_2 dissolt, amb un valor $\delta^{13}C = 0\text{‰}$. Els valors $\delta^{13}C$ de les plantes C_4 poden encavallar-se amb els de les plantes marines i els de les plantes C_3 amb els del plàncton de les aigües fredes (SCHOENINGER I MOORE, 1992). Per aquesta raó la majoria dels vertebrats marins tenen valors $\delta^{13}C$ més elevats ($\delta^{13}C$ mitjà = $-12 \pm 1\text{‰}$) que els que caracteritzen una dieta típicament terrestre ($\delta^{13}C$ mitjà = $-20 \pm 1\text{‰}$) (RICHARDS [*et al.*], 2003). Finalment, els organismes que viuen als medis d'aigua dolça utilitzen una barreja de carboni format per residus terrestres i CO_2 dissolt (SCHOENINGER I MOORE, 1992). Conseqüentment, els seus valors $\delta^{13}C$ reflecteixen la contribució relativa de les diferents fonts de carboni i per això manifesten una gran variabilitat (KATZENBERG, 2000).

Estudis experimentals han mostrat que el valor $\delta^{13}C$ mitjà d'un organisme és similar al d'aquells dels quals es nodreix, però el fraccionament isotòpic determina un augment (enriquiment) de col·lagen en 5‰ i de l'apatita en 9‰ (KRUEGER I SULLIVAN, 1984; LEETHORP [*et al.*], 1989) (figura 1). Val a dir, però, que certs mamífers, com ara els herbívors ruminants, presenten diferències de valors apatita/col·lagen superiors als d'altres éssers vius —l'enriquiment de col·lagen també és de 5‰ , però l'apatita puja a $13,5\text{‰}$ (AMBROSE I KRIGBAUM, 2003)—. Així doncs, hom pot esperar que el col·lagen d'un d'aquests herbívors moderns, alimentat exclusivament amb plantes C_3 , tingui un valor $\delta^{13}C$ d'aproximadament -21‰ [$\delta^{13}C$ mitjà = $(-26) + 5$], mentre que el de l'apatita estarà al voltant de $12,5\text{‰}$ [$\delta^{13}C$ = $(-26) + 13,5$].

Aquestes diferències de fraccionament ($\Delta^{13}C_{\text{apatita-col.lagen}}$) són especialment rellevants perquè el valor $\delta^{13}C$ del col·lagen reflecteix principalment la porció proteica de la dieta (el col·lagen és una proteïna), mentre que el valor $\delta^{13}C$ de l'apatita reflecteix la dieta completa, és a dir, proteïna, greixos i hidrats de carboni (AMBROSE I NORR, 1993; TIESZEN I FAGRE, 1993). És per això que les anàlisis sobre mostres de col·lagen poden sobredimensionar la importància dietètica de la proteïna enriquida en ^{13}C , com el peix, i, alhora, subestimar aquells aliments vegetals igualment enriquits en ^{13}C però amb un baix contingut proteic, com el blat de moro (HARRISON I KATZENBERG, 2003). Les darreres aportacions sobre aquest tema estimen que quan la font de proteïnes té menys ^{13}C que el gruix de la dieta es produeixen grans diferències en els valors apatita-col·lagen ($>4,4\text{‰}$), mentre que les dietes amb proteïnes enriquides en ^{13}C i altres aliments no proteics empobrits en ^{13}C manifesten unes diferències menors ($<4,4\text{‰}$) (AMBROSE [*et al.*], 2003).

Les reconstruccions de la dieta mitjançant isòtops estables del nitrogen ($^{15}N/^{14}N$) es basen en el principi consistent en el fet que el valor $\delta^{15}N$ experimenta un increment a través dels successius nivells de la cadena tròfica d'aproximadament 3‰ (SCHOENINGER I DENIRO, 1984; SCHWARCZ, 1991). L'isòtop ^{15}N és el que guanya en proporció des del nivell vegetal fins a l'animal i, en general, els organismes d'hàbitats marins/lacustres presenten valors $\delta^{15}N$ superiors als dels terrestres (SCHOENINGER I MOORE, 1992). Malgrat això, el cicle del nitrogen és prou més complex que el del carboni i podem trobar casos, com alguns crustacis, amb proporcions isotòpiques inesperadament baixes (KATZENBERG, 2000; SANTIAGO [*et al.*], 2005). A més a més, factors mediambientals com el clima (aridesa) o l'acidesa i la salinitat dels sòls també influeixen en els valors $\delta^{15}N$ (AMBROSE, 1991). Per tot això, és molt recomanable combinar tots dos tipus d'anàlisis (especialment quan els valors apunten una dieta rica en marisc i peixos) i, sobretot, controlar les dimensions històriques i mediambientals del context objecte d'estudi. La figura 2 il·lustra la correlació entre els valors $\delta^{13}C$ i $\delta^{15}N$ del col·lagen ossi de grups humans amb dietes netament diferenciades.

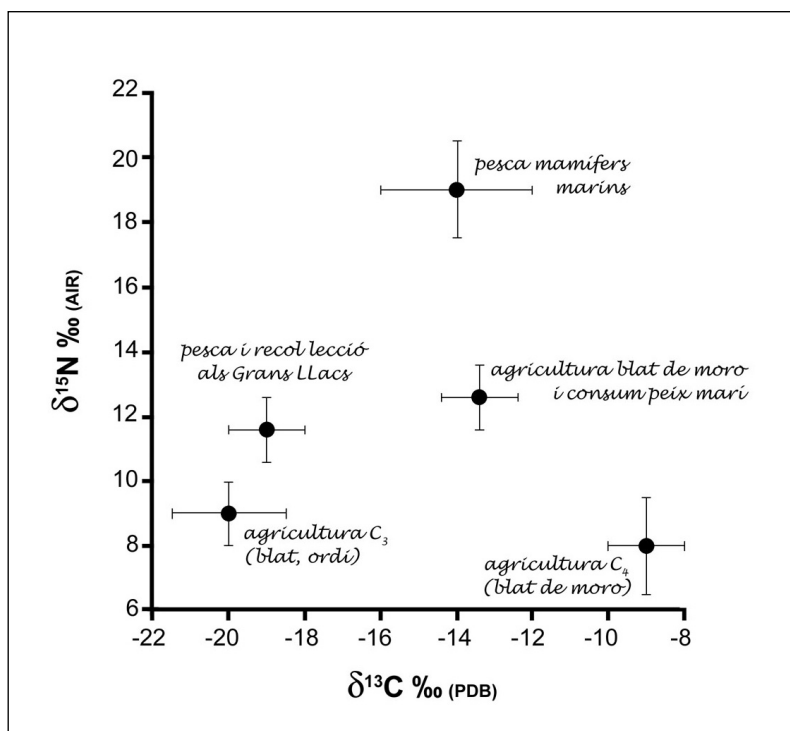


Figura 2. Proporcions isotòpiques del col·lagen ossi de diversos grups humans de l'antiguitat nord-americana amb estratègies productives diferenciades (SCHOENINGER, 2006: fig. 1; reproduïda amb permís de l'autora).

Finalment, els isòtops de nitrogen poden aportar informació molt valuosa en la investigació dels processos de deslletament. Dels principis de diferenciació entre organismes segons el seu lloc a la cadena tròfica es dedueix que els infants nodrits exclusivament amb llet materna ocuparan un lloc superior al d'aquestes dones. Diferents estudis han confirmat que els lactants manifesten un increment dual en carboni (1‰) i nitrogen (2-3‰) respecte als valors $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ de les seves mares, mentre que els infants amb una alimentació completament sòlida no mostren cap variació (FOGEL [et al.], 1989; KATZENBERG [et al.], 1996; HERRING [et al.], 1998; FULLER [et al.], 2006). Atès que la lactància influeix en la supressió temporal de l'ovulació, un avançament en la introducció de les dietes sòlides pot reduir el període de contracepció i, consegüentment, contribuir a una major taxa de fertilitat. Així doncs, les anàlisis d'isòtops estables aporten informació de primer ordre amb les quals avaluar hipòtesis de creixement demogràfic i transformacions socioeconòmiques relacionades. A continuació veurem altres tipus d'aplicacions.

Aplicacions en la investigació de la paleodietà: estratègies productives i distància social

Després de les investigacions pioneres de Vogel i Van der Merwe, la possibilitat de detectar la introducció del blat de moro (planta C_4) en les economies antigues nord-americanes (on la major part de les plantes potencialment consumibles són de tipus C_3) ha permès analitzar la variabilitat geogràfica i temporal en la taxa d'adopció del nou cultiu i avaluar el seu impacte en l'estat de salut i l'organització socioeconòmica de les poblacions paleoíndies (BUIKSTRA [et al.], 1988; BUIKSTRA I MILNER, 1991; KATZENBERG [et al.], 1995; HARRISON I KATZENBERG, 2003).

A Europa un estudi també pioner (MURRAY I SCHOENINGER, 1988) va seguir el mateix plantejament amb l'objectiu d'avaluar la importància relativa del mill (única planta C_4 amb rellevància econòmica dins la regió considerada, dominada pels cereals C_3) a la dieta d'una població de l'edat del ferro (necròpoli de túmuls hallstàtics de Magdalenska gora, Eslovènia). En aquest cas, els valors $\delta^{13}\text{C}$ del col·lagen humà

(valor mitjà = $-14,7\text{‰}$) són considerablement més positius que els enregistrats a la fauna herbívora de l'època ($\delta^{13}\text{C}$ mitjà = $-21,2\text{‰}$, rang entre $-19,6\text{‰}$ i $-21,9\text{‰}$) i que els obtinguts en una àmplia mostra europea caracteritzada per una dieta basada en plantes C_3 ($\delta^{13}\text{C}$ mitjà = $-19,5\text{‰}$, rang entre $-17,2\text{‰}$ i $-24,6\text{‰}$). Atès que els recursos marins o d'aigua dolça no sembla que hagin estat significatius en aquesta regió durant el període hallstàtic, els resultats indiquen un important consum de plantes C_4 , cosa que confirmaria la rellevància econòmica del mill.

Dissortadament, aquest tipus d'analítiques, llevat d'algunes excepcions, ha tingut molt poca continuïtat en l'àmbit de la prehistòria recent europea. No obstant això, la investigació dels canvis en les estratègies productives en la transició del mesolític al neolític sí que ha produït un considerable volum de literatura. L'anàlisi de Tauber (1981) a partir d'una reduïda mostra de restes humanes daneses és, de fet, el primer estudi d'isòtops estables fet a Europa. Els seus resultats indicaven diferències significatives entre una dieta mesolítica dominada pels recursos marins (valors $\delta^{13}\text{C}$ elevats) i una altra de neolítica fonamentada en aliments terrestres (valors $\delta^{13}\text{C}$ baixos). Aquestes conclusions donaren carta de legitimitat al model evolutiu clàssic que postulava l'abandonament de les formes extractives tradicionals en favor de l'explotació d'espècies domèstiques. Noves anàlisis plantejaren la virtual absència de proteïna marina a les dietes neolítiques de grups portuguesos (LUBELL [et al.], 1994) i un abandonament aparentment abrupte dels recursos marins a pràcticament tota la façana litoral de l'Europa septentrional i occidental (respecte al mesolític, valors $\delta^{13}\text{C}$ inferiors i valors $\delta^{15}\text{N}$ considerablement inferiors) (RICHARDS I HEDGES, 1999; SCHULTING I RICHARDS, 2001; RICHARDS [et al.], 2003). Malgrat això, aquesta interpretació no acaba d'encaixar bé amb el registre arqueològic per, almenys, tres raons: les evidències de pesca i recollida de mol·luscs marins continuen vigents durant el neolític, els conquillers de majors dimensions identificats fins ara són justament neolítics i, en darrer lloc, no resulta infreqüent documentar restes de cèrvids i bòvids salvatges en els conquillers mesolítics (MILNER [et al.], 2004). Una de les claus d'a-

questa aparent contradicció pot estar en la distorsió que presenten les datacions radiocarbòniques realitzades a partir de mostres d'organismes l'alimentació dels quals depèn de recursos aquàtics (*reservoir effect*). Atès que en contextos atlàntics aquestes mostres proporcionen resultats que són, de manera constant, 400 anys més antics que els obtinguts a partir de mostres d'animals amb una alimentació terrestre (STUIVER I BRAZIUNAS, 1993), molt possiblement el quadre representat seria més el d'una transició lenta que el d'un canvi dràstic (MILNER [et al.], 2004; fig. 1). D'altra banda, anàlisis isotòpiques recents dibuixen un panorama molt més complex dins el qual la variabilitat geogràfica (litoral *versus* interior) (LIDÉN [et al.], 2004) i, fins i tot, l'exogàmia inherent a un patró de residència patrilocal (valors diferenciats entre homes i dones i entre dones joves i adultes/velles) (SCHULTING I RICHARDS, 2001) tindrien un paper més destacat en les diferències de dieta que la distància temporal.

És evident, doncs, que l'escala de l'anàlisi (en termes de quantitat de mostres analitzades i de la seva variabilitat espacial-temporal) determina l'abast i la fiabilitat dels resultats, especialment quan les diferències intrapoblacionals són interpretades en clau de distància social. Novament és al continent americà on s'han realitzat nombroses investigacions que exploren la variabilitat de tractaments funeraris i l'estat de salut de les restes humanes segons un consum diferencial d'aliments. L'exemple que exposarem a continuació es basa en la investigació del túmul 72 de Cahokia, Illinois (AMBROSE [et al.], 2003), un dels jaciments clau dels inicis del període mississipià (segles XII-XIII d. de la n. e.).

És durant el període mississipià quan la tradició mil·lenària en la construcció de túmuls cerimonials arriba a la seva màxima expressió quant a monumentalitat i complexitat (MILNER, 2004). Cahokia, amb més d'un centenar de túmuls organitzats al voltant d'una plaça central, entre els quals destaca el més gran de tots els coneguts (30,5 m d'alçària per 5,6 ha d'extensió), ha estat objecte de debat per la seva caracterització sociopolítica en termes de cabdillatge (*chiefdom*) o fins i tot d'estat a partir d'un procés d'intensificació agrícola basat en el cultiu del blat de moro, d'una concentració de població en grans assentaments i d'asimetries socials

profundes amb una elit que monopolitzava el poder polític i l'exercici de la coerció (MILNER I WILLS, 2005). L'anàlisi realitzada sobre mostres de 9 individus dels 272 enterrats al túmul 72 (AMBROSE [et al.], 2003) mostra una correlació entre distància social, inferida a partir del tractament funerari, i règim alimentari. La major part dels individus d'estatus elevat consumien menys blat de moro i, probablement, més carn ($\delta^{13}\text{C}_{\text{col.lagen}} = -18,3\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatita}} = -9,7\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N} = 10,6\text{‰}$) que la major part dels adscrits a un estatus baix ($\delta^{13}\text{C}_{\text{col.lagen}} = -17,1\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatita}} = -3,6\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N} = 8,3\text{‰}$). En aquest darrer grup s'inclouen, bàsicament, dones enterrades en fosses comunes amb indicis osteològics d'un origen forà i caracteritzades per freqüències elevades de patologies indicatives d'estrès nutricional i estat de salut precari. És en aquest mateix grup de baix estatus on la dependència del blat de moro (aliment amb baix contingut proteic i nivells igualment baixos d'aminoàcids essencials), estimada en un 60% del total de la dieta, i l'accés limitat a aliments de major qualitat resulten especialment significatius. D'una banda, mostren diferències de consum clau que matisen les inferències derivades dels processos d'intensificació agrícola (no tot hom consumeix en la mateixa quantitat allò que es produeix); d'altra banda, obren una via per a entendre la jerarquització territorial i política, atès que és entre el grup de baix estatus on es localitzen les nombroses evidències de sacrificis humans. Un altre tipus d'anàlisis isotòpiques, que tractarem a continuació, podria contribuir a dilucidar l'extracció local o forana d'aquests individus, aparentment oferts com a tribut a les elits de Cahokia.

Mètodes per a avaluar historials de residència: isòtops d'estronci i oxigen

Els tres isòtops no radiogènics de l'estronci (^{88}Sr , ^{86}Sr , ^{84}Sr) comprenen, respectivament, $\sim 82,5\%$, $\sim 9,87\%$ i $\sim 0,56\%$ del total de l'estronci de la litosfera (FAURE I POWELL, 1972). L'isòtop radioactiu ^{87}Sr deriva de la descomposició del rubidi (^{87}Rb , amb una vida mitjana d'aproximadament $4,7 \times 10^{10}$ anys) i, per això, la seva abundància relativa en un substrat geològic

particular és resultat de la concentració inicial de ^{87}Rb i de l'antiguitat de les roques. Les proporcions $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ varien entre 0,700 i 0,750. Les unitats geològiques més antigues són les que presenten valors més alts, mentre que les més recents (p. e. materials volcànics <1-10 milions d'anys) no ultrapassen la xifra de 0,706. L'estronci de la litosfera s'incorpora a la cadena tròfica a través de l'aigua i roman integrat als teixits de les plantes i dels animals sense fraccionament isotòpic. La proporció d'estronci a l'esmalt dental, que cristal·litza durant els primers anys de vida, serà la de la geologia on visqué l'individu considerat durant la infantesa i podrem comparar-la amb la proporció fixada als ossos adults. D'altra banda, els teixits que es remodelen lentament, com la fracció cortical dels ossos llargs, reflectiran un període més llarg de la història recent d'un individu en comparació dels teixits que es formen durant un període més curt, com la fracció trabecular (PRICE [et al.], 2002).

Un dels aspectes clau a què ha de fer front aquest tipus d'analítiques és determinar fins a quin punt l'estronci pot haver estat incorporat diagenèticament a les restes recuperades en un context arqueològic. Hi ha qui defensa que els procediments de tractament de les mostres amb bany d'àcids permeten dissoldre els elements contaminants integrats als teixits per causes postdeposicionals (SILLEN, 1989; SILLEN I SEALY, 1995). D'altres argumenten que el problema no té solució i, per tant, la mostra hauria de ser preferentment esmalt dentari (BUD [et al.], 2000; 2004; PRICE [et al.], 2002). Una altra consideració important és el càlcul dels valors biogènics locals. Price i col·laboradors (2002) indiquen que els més acurats els proporcionen l'anàlisi de peces dentàries dels herbívors contemporanis fòssils de mida petita i rang de circulació limitat. També és possible emprar restes de mamífers moderns, però s'ha de tenir en compte l'impacte de factors com el consum d'aliments forans o l'ús de fertilitzants en la composició geoquímica de la mostra analitzada.

Una altra qüestió rellevant és el mateix reconeixement de *veritables* immigrants més enllà dels valors extrems representats dins la variabilitat local de l'àrea objecte d'estudi. Price i col·laboradors (1998; 2002) han proposat tres mètodes. El primer consisteix a considerar el valors

coneguts de la geologia considerada. Així, per exemple, l'estudi dels enterraments campaniformes de la regió alemanya de Bavària (PRICE [et al.], 1998) comparà restes de regions al nord-est del Danubi, on les roques granítiques més antigues tenen valors $\geq 0,710$, i d'altres al sud del Danubi, on les formacions sedimentàries de roques presenten valors $\leq 0,710$. En aquest cas, la xifra de 0,710 proporciona el llindar de demarcació. El segon mètode proposa que el criteri de demarcació sigui el valor mitjà dels resultats obtinguts a partir de l'esmalt dentari humà ± 2 desviacions estàndard (els valors fora d'aquest rang seran els de la població forana). El tercer és molt semblant a l'anterior, però en lloc de teixits humans es tracta de considerar el valor mitjà dels teixits animals ± 2 desviacions estàndard (els valors fora d'aquest rang quedaran fora de la variabilitat local).

La proporció isotòpica de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) també ha estat emprada en la investigació dels patrons de residència. A diferència de l'estrónci, la distribució dels valors $\delta^{18}\text{O}$ no està determinada per la geologia, sinó pel règim de precipitacions. Les dents i els ossos reflecteixen la proporció mitjana d'oxigen de l'aigua incorporada a l'organisme —beguda— durant el temps de formació dels teixits (BRYANT I FROELICH, 1996; LONGINELLI, 1984). Les masses de núvols que es formen a l'oceà per efecte de l'evaporació es desplacen cap a les zones continentals descarregant en primer lloc pluges amb valors $\delta^{18}\text{O}$ elevats. El clima i la geografia determinen, doncs, variacions en la composició isotòpica de l'aigua que es beurà en una determinada zona. Però també altres factors, com l'emmagatzematge, el processament culinari, la dieta o l'alletament poden influir en el valor $\delta^{18}\text{O}$ dels teixits humans (BRYANT I FROELICH, 1996; WRIGHT I SCHWARCZ, 1998). També a diferència de l'estrónci, l'oxigen experimenta processos de fraccionament isotòpic que determinen variacions segons l'espècie considerada, però aquestes variacions es poden predir i es poden aplicar els factors correctors adients. Segons Budd [et al.] (2004) el calibratge desenvolupat per Levinson [et al.] (1987) és l'utilitzat més sovint.

Investigacions recents assenyalen que els isòtops de plom també podrien aportar informació rellevant sobre qüestions de mobilitat poblacional (MONTGOMERY [et al.], 2000), però la seva

aplicació és encara molt limitada i, per això, no els tractarem aquí.

Aplicacions en la investigació dels historials de residència

Les anàlisis d'isòtops d'estrónci i oxigen han permès avaluar qüestions relacionades amb patrons de residència postmarital i moviments migratoris a escala poblacional i individual (EZZO [et al.], 1997; PRICE [et al.], 1994, 1998, 2001, 2002; BUIKSTRA [et al.], 1994). Els exemples que presentem a continuació es relacionen amb aquests darrers casos.

El grup arqueològic LBK (*Linearbandkeramik*, -5600-4800 a. de la n. e. segons DOLUKHANOV [et al.], 2005) es considera un exemple clàssic de moviments migratoris associats a la difusió de l'agricultura, a la qual haurien acompanyat altres restes materials molt distintives, com el tipus d'habitatge, la decoració ceràmica i els aixovars funeraris. Malgrat això, hi ha hagut un considerable debat entorn de la qüestió de si els canvis observats a bona part de l'Europa central van ser fruit de moviments de població o d'una adopció local per part de les diferents poblacions indígenes.

Les anàlisis d'isòtops d'estrónci realitzades fa pocs anys per a la resolució d'aquest problema han aportat dades molt positives (PRICE [et al.], 2001). Les restes humanes objecte d'aquest estudi procedeixen de dues necròpolis de la vall alta del Rin: Flomborn (LBK mitjà) i Schwetzingen (LBK recent). Les investigacions sobre la composició geoquímica local indiquen que els valors de la població autòctona han d'apropar-se als de les aigües del Rin, entre 0,708 i 0,709. Les mostres analitzades corresponen a cinc ossos i onze peces dentàries de Flomborn i sis ossos i vint-i-una dents de Schwetzingen.

Els individus amb proporcions isotòpiques de l'esmalt dentari fora del rang delimitat per la suma del valor mitjà dels ossos més dues desviacions estàndard van ser els identificats com a immigrants (Flomborn: $0,70995 \pm 0,00019$; Schwetzingen: $0,70941 \pm 0,00036$). A cada necròpoli els valors resultants permeten aïllar set d'aquests individus, corresponents al 64% de la mostra del cementeri més antic i al 33% de la

del més recent. A Flomborn no sembla donar-se cap correlació sexual, mentre que a Schwetzingen són les dones les que predominen. Així doncs, les dades de l'LBK mitjà obtingudes a Flomborn abonarien la interpretació segons la qual els desplaçaments de població sí que foren importants en la difusió de l'LBK. Aquest fenomen de caire continental seria més aviat regional en el cas de Schwetzingen, on l'elevada proporció de dones joves entre la població immigrant pot estar indicant un canvi de residència del grup femení determinat pels patrons de residència postmarital (patrilocalisme).

El segon i últim cas d'aplicació pràctica que comentarem es relaciona amb la fundació dinàstica al jaciment maia de Copán, Hondures (BUIKSTRA [et al.], 2004). Enterrats a l'acròpolis de Copan, a molts metres de fondària, es trobaren set tombes de deu individus que formaren part de l'elit durant els inicis del període clàssic (des del segle V de la n. e.). Entre elles s'hi inclouen dues de molt riques: la primera pertany a un home, identificat a partir dels artefactes i dels trets arquitectònics associats amb K'inich Yax K'uk Mo', Mandatari 1, fundador de la dinastia maia de Copan; la segona, encara més elaborada que l'anterior, correspon a una dona, identificada temptativament com la reina consort del Mandatari 1. El registre arqueològic es completa amb les restes d'un altre mandatari, tal vegada el 7, el 8 o el 9, tres possibles servidors, i una tomba molt enigmàtica («Motmot») que contenia l'esquelet articulat d'una dona i els caps de tres homes.

Les dades epigràfiques indiquen que el Mandatari 1 «arribà» l'any 426 de la n. e., però el lloc d'origen roman un punt fosc als texts. L'aixovar funerari, els detalls arquitectònics i les inscripcions epigràfiques de la tomba podrien vincular-lo, tot i que ambigüament, amb la vall de Mèxic a l'oest, amb el Petén al nord, així com amb altres localitats. Els mateixos indicadors arqueològics suggereixen que les dues dones, un dels homes i els caps aïllats tindrien un origen igualment forà.

La varietat de formacions geològiques i climàtiques de Mesoamèrica fa del món de l'antiguitat maia un context idoni per a examinar els possibles canvis de residència a través de les anàlisis isotòpiques. Amb l'objectiu d'aconseguir dades positives sobre l'origen d'aquests deu

individus es varen prendre les següents mostres de cadascun d'ells: un os, una dent d'erupció recent (incisiva o primera molar) i una dent d'erupció tardana (tercera molar) (BUIKSTRA [et al.], 2004).

En sis casos els resultats indiquen que es tractaria de persones que visqueren a l'entorn de Copan des de la infància fins a l'edat adulta: dos servidors, el mandatari més modern, la reina consort del Mandatari 1 i els dos caps trobats immediatament per sota de la làpida de tancament de la tomba Motmot. Els altres quatre serien immigrants: un servidor associat a materials que el vinculen amb la vall de Mèxic, K'inich Yax K'uk Mo', la dona de la tomba Motmot i el cap que tenia més a prop. Malgrat que en tots els casos els indicadors arqueològics suggereixen un vincle amb el jaciment de Teotihuacan i la vall de Mèxic, els valors isotòpics proporcionen dades prou convincents per a situar la seva joventut en una regió diferent. El Mandatari 1 i les restes recuperades a la base de la tomba Motmot s'associen estretament amb la zona on s'ubica el jaciment maia contemporani de Tikal, mentre que el servidor sembla haver crescut a un lloc encara més septentrional de la península del Yucatán. Així doncs, els resultats obtinguts mostren quines haurien estat les influències polítiques directes i indirectes durant el període clàssic al jaciment de Copán. Aparentment, les restes d'artefactes i l'epigrafia fan referència a un món ja desenvolupat, mentre que en els inicis les persones que exerciren una influència decisiva durant els primers anys de la dinastia eren emigrants d'una regió molt més restringida i septentrional del que hom havia previst fins ara.

Abstract

Isotopes and archaeology: research on food consumption and residential stories

In this article, we address applications of stable isotope analysis to questions of diet and residence mobility, as implemented through the study of human remains. We first examine the concepts necessary for understanding the manner in which ratios of stable isotopes reflect the biosphere (diet) and geosphere (residence). We consider factors es-

sential in developing methodologies appropriate to the study of these subjects in archaeological contexts, including fractionation effects, food web variation, and post-depositional alteration (diagenesis). We then turn to in-depth discussion of isotopes useful in the estimation of diet: carbon (from both collagen and apatite) and nitrogen. Case studies that illustrate applications to questions of chronological change and status differentiation in diet are presented. Finally, we discuss heavy (strontium) and light (oxygen) isotopes useful in estimating residential mobility. Examples from Europe and America illustrate the utility of isotopic evidence in the investigation of group and individual histories.

Resumen

Isótopos y arqueología: investigación del consumo alimentario y de los historiales de residencia

En este artículo abordamos las aplicaciones de los análisis de isótopos estables al estudio de la dieta y de los cambios de residencia a través de la investigación de restos humanos. En primer lugar exponemos los conceptos básicos que permiten entender la forma en que las proporciones isotópicas dan cuenta de la biosfera (dieta) y de la geosfera (residencia), además de aspectos cruciales en el desarrollo de metodologías apropiadas para el análisis de contextos arqueológicos, como los efectos del fraccionamiento isotópico, las variaciones en la cadena trófica o las alteraciones postdeposicionales (diagénesis). A continuación consideramos en mayor profundidad los isótopos útiles para la evaluación de la dieta: carbono (tanto del colágeno como de la apatita) y nitrógeno, y presentamos algunas aplicaciones que ilustran cómo se han investigado los cambios de dieta a través del tiempo o las diferencias de alimentación vinculadas a diferencias sociales. Para acabar, planteamos los principios del análisis de los isótopos pesados (estroncio) y los ligeros (oxígeno) aplicados a la investigación de la movilidad poblacional. Los ejemplos de aplicación en Europa y América con los que finaliza esta sección ilustran la utilidad de los datos isotópicos a la hora de evaluar los cambios de residencia a escala individual y grupal.

Referències bibliogràfiques

- AMBROSE, S.H. (1990). «Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis». *Journal of Archaeological Science*, 17, p. 431-452.
- AMBROSE, S.H. (1991). «Effects of diet, climate and physiology on Nitrogen isotope abundances in terrestrial food-webs». *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 293-318.
- AMBROSE, S.H.; KRIGBAUM, J. (eds.) (2003). *Bone Chemistry and Bioarchaeology*. Monogràfic de la revista *Journal of Anthropological Archaeology*, 22, p. 191-304.
- AMBROSE, S. H.; NORR, L. (1993). «Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate». Dins: LAMBERT, J. B.; GRUPPE, G. (ed.). *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Berlin: Spring Verlag, p. 1-37.
- AMBROSE, S. H.; BUIKSTRA, J. E.; KRUEGER, H. W. (2003). «Status and gender differences in diet at Mound 72, Cahokia, revealed by isotopic analysis of bone». *Journal of Anthropological Archaeology*, 22, p. 217-226.
- BENDER, M. M. (1968). «Mass Spectrometric Studies of Carbon 13 Variations in Corn and Other Grasses». *Radiocarbon*, 10, p. 468-472.
- BOCHERENS, H. (1999). «Isotopes stables et reconstitution du régime alimentaire des hominidés fossiles: une revue». *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 11 (3/4), p. 261-287.
- BRYANT, J. D.; FROELICH, P. N. (1996). «Oxygen Isotope Composition of Human Tooth Enamel from Medieval Greenland: Linking Climate with Society: Comment». *Geology*, 24, p. 477-478.
- BUDD, P.; MONTGOMERY, J.; BARRIERO, B.; THOMAS, R. G. (2000). «Differential Diagenesis of Strontium in Archaeological Human Dental Tissues». *Applied Geochemistry*, 15, p. 687-694.
- BUDD, P. A.; MILLARD, C.; CHENERY, S. L.; ROBERTS, C. (2004). «Investigating Population Movement by Stable Isotope Analysis: a Report from Britain». *Antiquity*, 78, p. 127-141.
- BUIKSTRA, J. E.; UTRY, W.; BREITBURG, E.; ISENBERG, L.; MERWE, N. van der (1988). «Diet and health in the Nashville Basin: human adaptation and maize agriculture in middle Tennessee». Dins: KENNEDY, B. V.; LEMOINE, G. M. (ed.). *Diet and Subsistence. Current Archaeological Perspectives*. Calgary: University of Calgary Press, p. 243-259.
- BUIKSTRA, J. E.; MILNER, G. R. (1991). «Isotopic and archaeological interpretations of diet in the central Mississippi Valley». *Journal of Archaeological Science*, 8, p. 319-330.
- BUIKSTRA, J. E.; PRICE, T. D.; WRIGHT, L. E.; BURTON, J. A. (2004). «Tombs from the Copan Acropolis: A Life History Approach». Dins: BELL, E. E.; CANUTO, M. A.; SHARER, J. (ed.). *Understanding Early Classic Copan*. Philadelphia: University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology, p. 191-212.
- CHISHOLM, B. S.; NELSON, D. E.; SCHWARCZ, H. P. (1982). «Stable carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets». *Science*, 216, p. 1131-1132.
- CRAIG, H. (1964). «Carbon 13 in Plants and the Relationships between Carbon 13 and Carbon 14 Variations in Nature». *J. Geology*, 62, p. 115-149.

- DENIRO, M. J. (1985). «Postmortem preservation and alteration of *in vivo* bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction». *Nature*, 317, p. 806-809.
- DOLUKHANOV, P.; SHUKUROV, A.; GRONENBORN, D.; SOKOLOFF, D.; TIMOFEEV, V.; ZAITSEVA, G. (2005). «The chronology of Neolithic dispersal in Central and Eastern Europe». *Journal of Archaeological Science*, 32, p. 1441-1458.
- ERICSON, J. E. (1985). «Strontium Isotope Characterization in the Study of Prehistoric Human Ecology». *Journal of Human Evolution*, 14, p. 503-514.
- ERICSON, J. E. (1989). «Some Problems and Potentials of Strontium Isotope Analysis for Human and Animal Ecology». Dins RUNDEL, P. W.; EHLINGER, J. R.; NAGY, K. A. (ed.). *Stable Isotopes in Ecological Research*. New York: Springer-Verlag, p. 252-259.
- EZZO, J. A.; JOHNSON, C. M.; PRICE, T. D. (1997). «Analytical Perspectives on Prehistoric Migration: A Case Study from East-central Arizona». *Journal of Archaeological Science*, 24, p. 447-66.
- FAURE, G.; POWELL, T. (1972). *Strontium Isotope Geology*. New York: Springer-Verlag.
- FOGEL, M.; TUROSS, N.; OWSLEY, D. W. (1989). *Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations*. Washington D.C.: Geophysical Laboratory-Carnegie Institution.
- FULLAGAR, P. D.; LEMMON, R. C.; RAGLAND, P. C. (1971). «Petrochemical and Geochronological Studies of Plutonic Rocks in the Southern Appalachians: Part I. The Salisbury Pluton». *Geological Society of America Bulletin*, 82, p. 409-416.
- FULLER, B. T.; FULLER, J. L.; HARRIS, D. A.; HEDGES, R. E. M. (2006). «Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios». *American Journal of Physical Anthropology*, 129, p. 279-293.
- HALL, R. L. (1967). «Those Late Corn Dates: Isotopic Fractionation as a Source of Error in Carbon-14 Dates». *Michigan Archaeologist*, 13, p. 171-180.
- HARRISON, R. G.; KATZENBERG, M. A. (2003). «Paleodiet studies using stable carbon isotopes from bone apatite and collagen: examples from Southern Ontario and San Nicolas Island, California». *Journal of Anthropological Archaeology*, 22, p. 227-244.
- HEDGES, R. E. M. (2002). «Bone diagenesis: An overview of processes». *Archaeometry*, 44, p. 319-328.
- HERRING, D. A.; SAUNDERS, S. R.; KATZENBERG, M. A. (1998). «Investigating the weaning process in past populations». *American Journal of Physical Anthropology*, 105, p. 425-439.
- KATZENBERG, M. A. (1992). «Advances in stable isotope analysis of prehistoric bones». Dins: SAUNDERS, S. R.; KATZENBERG, M. A. (ed.). *Skeletal Biology of Past Peoples: Research Methods*. New York: Wiley-Liss, p. 105-119.
- KATZENBERG, M. A. (2000). «Stable isotope analysis: a tool for studying past diet, demography and life history». Dins: KATZENBERG, M. A.; SAUNDERS, S. R. (ed.). *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. New York: Wiley-Liss, p. 305-328.
- KATZENBERG, M. A.; SCHWARCZ, H. P.; KNYF, M.; MELBYE, F. J. (1995). «Stable isotope evidence for maize horticulture and paleodiet in southern Ontario, Canada». *American Antiquity*, 60, p. 335-350.
- KATZENBERG, M. A.; HERRING, D. A.; SAUNDERS, S. R. (1996). «Weaning and infant mortality: evaluating the skeletal evidence». *Yearbook of Physical Anthropology*, 39, p. 177-199.
- KEEGAN, W. F.; DENIRO, M. J. (1988). «Stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen used to study coral-reef and terrestrial components of prehistoric Bahamian diet». *American Antiquity*, 53, p. 320-336.
- KOCH, P. L.; BURTON, J. (ed.) (2003). *Bone Chemistry*. Monogràfic de la revista *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, p. 1-113.
- KRUEGER, H. W.; SULLIVAN, C. H. (1984). «Models for carbon isotope fractionation between diet and bone». Dins: TURNLUND, J. E.; JOHNSON, P. E. (ed.). *Stable Isotopes in Nutrition*. American Chemical Society Symposium Series, 258, p. 205-222.
- LARSEN, C. S. (1997). *Bioarchaeology. Interpreting behavior from the human skeleton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LEE-THORPE, J. A.; VAN DER MERWE, J. A. (1991) «Aspects of the chemistry of modern and fossil biological apatites». *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 343-354.
- LEE-THORPE, J. A.; SEALY, J. C.; VAN DER MERWE, N. J. (1989). «Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet». *Journal of Archaeological Science*, 16, p. 585-599.
- LEVINSON, A. A.; LUTZ, B.; KLODNY, Y. (1987). «Variations in Oxygen Isotope Compositions of Human Teeth and Urinary Stones». *Applied Geochemistry*, 2, p. 67-71.
- LIDÉN, K.; ERIKSSON, G.; NORDQVIST, B.; GÖTHERSTRÖM, A.; BENDIXEN, E. (2004). «The wet and the wild followed by the dry and the tame» – or did they occur at the same time? Diet in Mesolithic-Neolithic southern Sweden». *Antiquity*, 78, p. 23-33.
- LONGINELLI, A. (1984). «Oxygen Isotopes in Mammal Bone Phosphate: A New Tool for Paleohydrological and Paleoclimatological Research?». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, p. 385-390.
- LUBELL, D.; JACKES, M.; SCHWARCZ, H.; KNYF, M.; MEIKLEJOHN, C. (1994). «The Mesolithic-Neolithic transition in Portugal: isotopic and dental evidence of diet». *Journal of Archaeological Science*, 21, p. 201-216.
- MACKO, S. A.; LUBEC, G.; TESCHLER-NICOLA, M.; ANDURSEVICH, V.; ENGEL, M. H. (1999). «The Ice Man's diet as reflected by the stable nitrogen and carbon isotopic composition of his hair». *FASEB Journal*, 13, p. 559-562.
- MILNER, G. R. (2004). *The Moundbuilders. Ancient Peoples of Eastern North America*. London: Thames & Hudson.
- MILNER, G. R.; WILLS, W. H. (2005). «Complex societies of North America». Dins: SCARRE, C. (ed.). *The Human Past*. London: Thames & Hudson, p. 678-715.
- MILNER, G. R.; CRAIG, O. E.; BIALEY, G. N.; PEDERSEN, K.; ANDERSEN, S. H. (2004). «Something fishy in the Neolithic? A re-evaluation of stable isotope analysis of Mesolithic and Neolithic coastal populations». *Antiquity*, 78, p. 9-21.
- MONTGOMERY, J.; P. BUDD; EVANS, J. (2000). «Reconstructing the Lifetime Movements of Ancient People: A Neolithic Case Study from Southern England». *European Journal of Archaeology*, 3, p. 370-385.
- MURRAY, M. L.; SCHOENINGER, M. J. (1988). «Diet, status and complex social structure in Iron Age Central Europe: some contributions of bone chemistry». Dins: GIBSON, B.; GESELOWITZ, M. (ed.). *Tribe and Polity in Late Prehistoric Europe*. New York: Plenum, p. 155-176.

- PRICE, T. D. (ed.) (1989). *The Chemistry of Prehistoric Human Bone*. Cambridge: Cambridge University Press.
- PRICE, T. D.; SCHOENINGER, M. J.; ARMELAGOS, G. J. (1985). «Bone Chemistry and Past Behavior: an Overview». *Journal of Human Evolution*, 14, p. 419-447.
- PRICE, T. D.; BLITZ, J.; BURTON, J.; EZZO, J. A. (1992). «Diagenesis in Prehistoric Bone: problems and solutions». *Journal of Archaeological Science*, 19, p. 513-529.
- PRICE, T. D.; JOHNSON, C. M.; EZZO, J. A.; BURTON, J. H.; ERICSON, J. E. (1994). «Residential Mobility in the Prehistoric Southwest: A Preliminary Study using Strontium Isotope Analysis». *Journal of Archaeological Science*, 21, p. 315-330.
- PRICE, T. D.; GRUPE, G.; SCHRÖTER, P. (1998). «Migration in the Bell Beaker Period of Central Europe». *Antiquity*, 72, p. 405-411.
- PRICE, T. D.; BENTLEY, R. A.; LÜNING, J.; GRONENBORN, D.; WAHL, J. (2001). «Prehistoric Human Migration in the Linearbandkeramic of Central Europe». *Antiquity*, 75, p. 593-603.
- PRICE, T. D.; BURTON, J. H.; BENTLEY, R. A. (2002). «The Characterization of Biologically Available Strontium Isotope Ratios for the Study of Prehistoric Migration». *Archaeometry*, 44, p. 117-135.
- RICHARDS, M. P.; HEDGES, R. E. M. (1999). «A Neolithic revolution?» New evidence of diet in British Neolithic». *Antiquity*, 73, p. 891-897.
- RICHARDS, M. P.; HEDGES, R. E. M. (2003). «Variations in bone collagen $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of fauna from Northwest Europe over the last 40.000 years». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193, p. 261-267.
- SANDFORD, M. K. (ed.). (1993). *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology*. Langhorne, New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- SANTIAGO, L. S.; SILVERA, K.; ANDRADE, J. L.; DAWSON, T. E. (2005). «El uso de isótopos estables en biología tropical». *Interciencia*, 30(9), p. 536-542.
- SCHOENINGER, M. J. (2006) «Population inferences from bone chemistry». Dins: UBELAKER, D. H. (ed.). *Handbook of North American Indians. Volume 3: Environment, Origins and Population*. Washington D.C.: Smithsonian Institution Press (e.p.).
- SCHOENINGER, M. J.; DENIRO, M. J. (1984). «Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals». *Geochim Cosmochim Acta*, 48, p. 625-639.
- SCHOENINGER, M. J.; MOORE, K. (1992). «Bone stable isotope studies in Archaeology». *Journal of World Prehistory*, 6, p. 247-296.
- SCHULTING, R. J.; RICHARDS, M. P. (2001). «Dating women and becoming farmers: new paleodietary and AMS dating evidence from the Breton Mesolithic cemeteries of Téviec and Hoëdic». *Journal of Anthropological Archaeology*, 20, p. 314-344.
- SCHWARZ, H. P. (1991). «Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies». *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 261-276.
- SCHWARZ, H.; SCHOENINGER, M. J. (1991). «Stable isotope analyses in human nutritional ecology». *Yearbook of Physical Anthropology*, 34, p. 283-321.
- SILLEN, A. (1989). «Diagenesis of the Inorganic Phase of Cortical Bone». Dins: PRICE, T. D. (ed.). *The Chemistry of Prehistoric Human Bone*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 211-29.
- SILLEN, A.; SEALY, J. C. (1995). «Diagenesis of Strontium in Fossil Bone: a Reconsideration of Nelson *et al.* (1986)». *Journal of Archaeological Science*, 22, p. 313-320.
- SMITH, B. N.; EPSTEIN, S. (1971). «Two Categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Ratios for Higher Plants». *Plant Physiol*, 47, p. 380-384.
- STUIVER, M.; BRAZIUNAS, T. F. (1993). «Modeling atmospheric ^{14}C influences and ^{14}C ages of marine samples to 10,000 BC». *Radiocarbon*, 35, 99, p. 137-190.
- TAUBER, H. (1981). « ^{13}C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark». *Nature*, 292, p. 332-333.
- TIESZEN, L. L. (1991). «Natural variations in the carbon isotope values of plants; implications for archaeology, ecology and paleoecology». *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 227-248.
- TIESZEN, L. L.; FAGRE, T. (1993). «Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO_2 bone collagen, bioapatite and soft tissues». Dins: LAMBERT, J. B.; GRUPE, G. (ed.). *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Berlín: Springer-Verlag, p. 121-155.
- VAN DER MERWE, N. J.; VOGEL, J. C. (1978). « ^{13}C Content of Human Collagen as a Measure of Prehistoric Diet in Woodland North America». *Nature*, 276, p. 815-816.
- VOGEL, J. C.; VAN DER MERWE, N. J. (1977). «Isotopic Evidence for Early Maize Cultivation in New York State». *American Antiquity*, 42, p. 238-242.
- WRIGHT, L. E.; SCHWARZ, H. P. (1998). «Stable Carbon and Oxygen Isotopes in Human Tooth Enamel: Identifying Breastfeeding and Weaning in Prehistory». *American Journal of Physical Anthropology*, 106, p. 1-18.
- Jane E. BUIKSTRA dirigeix el *Center for Bioarchaeological Research* de l'*Arizona State University* (EUA) i presideix el *Center for American Archaeology*. És membre de la *National Academy of Science* i ha estat presidenta de l'*American Anthropological Association*, l'*American Association of Physical Anthropologists* i la *Paleopathology Association*. La seva llarga trajectòria inclou investigacions de bioarqueologia, arqueologia funerària, paleopatologia, antropologia forense i paleodemografia.
- Cristina RIHUETE HERRADA codirigeix juntament amb els professors Vicente Lull, Rafael Micó i Roberto Risch (Universitat Autònoma de Barcelona) els projectes d'investigació sobre el grup arqueològic argàric del sud-est peninsular i la prehistòria recent de les Illes Balears (grup SGR Arqueoecologia Mediterrània). La seva recerca integra l'anàlisi de les restes humanes com un tipus d'evidència més de les restes arqueològiques.