

Introducció

L'alimentació és un aspecte central en l'ecologia i en el comportament de les espècies i condiona la vida dels organismes: la recerca d'aliment ocupa sovint gran part del dia; la disponibilitat estacional pot tindre un fort impacte en qüestions com ara pautes de mobilitat, dimensió de la població i organització social; i, finalment, la qualitat i la quantitat del que s'ingerisca afectarà l'estat de salut de la població. A més, en el cas

ANÀLISIS QUÍMIQUES I PALEODIETA

ASSUMPCIÓ MALGOSA

GROB. Unitat d'Antropologia Biològica
Dept. Biologia Animal, Biologia Vegetal i
Ecologia
Universitat Autònoma de Barcelona

humà, les preferències i la transformació dels aliments que constitueixen el repertori dietètic dependrà no sols dels gustos individuals, sinó també de les tradicions culturals. Per tant, és una realitat complexa en què intervien qüestions ecològiques, fisiològiques i culturals, totes entrelaçades i pràcticament inseparables (Malgosa i Subirà, 1996).

L'alimentació, a més de ser una qüestió complexa, és també un concepte ampli. D'una banda, el terme *alimentació* inclou allò que pròpiament s'ingereix: verdures, carn, peix, aigua, etc., en definitiva, les distintes substàncies que constitueixen el que anomenem *menjar* o *dieta*. D'altra banda, en l'alimentació també s'inclou el profit que l'organisme obtindrà d'aquests aliments a través de la nutrició. Finalment, cal tindre en compte l'estratègia que cal desenvolupar per a

obtindre els aliments: que es base en la recol·lecció, la caça, el cultiu, etc., el que es denomina *patró de subsistència*. Encara que sovint aquests conceptes —dieta, nutrició i subsistència— es consideren sinònims, expressen aspectes molt diferents en relació amb l'alimentació. Així, la dieta comprén un conjunt d'actes voluntaris i conscients que van dirigits a la tria, la preparació i la ingestió dels aliments, fenòmens molt relacionats amb el medi sociocultural i econòmic i que determinen, en gran part, els hàbits dietètics i els estils de vida. D'altra banda, la nutrició fa referència als nutrients que componen els aliments, i comprén un conjunt de fenòmens involuntaris que succeeixen després de la ingestió dels aliments (digestió, absorció i assimilació de nutrients). La nutrició és el procés biològic pel qual els organismes assimilen els aliments i els líquids necessaris per al funcionament, el creixement i el manteniment de les seues funcions vitals. Quant al patró de subsistència, té una determinació cultural important i es defineix pels mitjans amb què un grup humà extrau i utilitza l'energia del seu entorn i que poden ser farratgers, ramaders, horticultors, agricultors, etcètera. Cada patró de subsistència comporta el seu propi nivell d'estratificació social, els seus patrons d'assentament i el grau d'especialització de la mà d'obra.

Aquest treball se centrarà bàsicament en l'estudi de la determinació de la dieta de poblacions antigues i, per tant, en el primer dels conceptes adés esmentats, és a dir, en la caracterització dels aliments que ingeria una població. No obstant això, els tres temes, dieta, nutrició i subsistència, estan tan íntimament

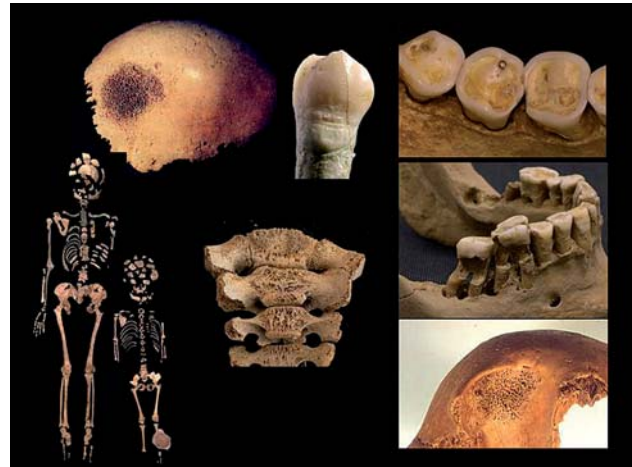


Figura 1. Bases antropològiques dels estudis sobre la dieta.

entrellaçats que les informacions procedents de tots els camps i metodologies tenen cabuda i se sostenen o corroboren els uns als altres (Hublin i Richards, 2009).

Els mètodes tradicionals per a la determinació de paleodietes es basen sovint en la interpretació incompleta, i a vegades enganyosa, dels registres arqueològics, com ara restes de fauna i flora, artefactes o altres proves culturals. Aquesta documentació permet inferir qüestions alimentàries, però val la pena tindre en compte totes les opcions possibles (ritual, estratificació social, etc.). Per contra, els estudis efectuats sobre l'esquelet mateix permeten abordar l'estudi de la dieta d'una manera més objectiva, analitzant directament les evidències de l'alimentació i també les conseqüències de la presència, l'abús o el defecte d'una determinada classe d'aliment.

Els estudis sobre l'esquelet analitzen tant les restes òssies com els registres dentals de les poblacions antigues (Fig. 1) (Malgosa i Subirà, 1996). En ambdós casos, l'anàlisi es pot dur a terme fent un abordament directe —analitzant la seua composició o les restes microscòpi-

ques—, o bé mitjançant l'anàlisi indirecta que la resposta nutricional presenta envers determinats aliments i la seua proporció en la dieta. Entre les primeres, hi ha les anàlisis químiques de les estructures esquelètiques (Ambrose i Katzenberg, 2002) i la composició del càlcul dental (Lalueza Fox et al., 1996; Henry i Piperno, 2008). Entre les segones, es troben el desgast dental (Pérez-Pérez et al., 1999; Romero i De Juan, 2005; Romero et al., 2005), les patologies òssies i dentals (Borgognini i Repetto, 1985; Carrasco i Malgosa, 1990; Chimenos, 1990; Chimenos i Martínez, 1993; Hillson 1979; Lukacs, 1989), l'estat de creixement i el desenvolupament de l'esquelet (Cohen i Armelagos, 1984).

Anàlisis químiques

En les últimes dècades els estudis sobre la dieta s'han orientat principalment cap a les anàlisis químiques (Ambrose i Katzenberg, 2002). Actualment es té un coneixement precís sobre els processos que segueixen els aliments perquè puguen ser utilitzats per l'organisme humà i així mantindre un estat funcional òptim, incloent-hi la formació i el manteniment de les estructures òssies; aquests processos inclouen la digestió dels aliments i la seua posterior absorció i transport a les distintes cèl·lules, on els nutrients seran utilitzats. Això permet relacionar la dieta amb la variabilitat en la composició química de l'os, ja que qualsevol dels elements químics que conformen l'esquelet té una única via d'entrada a l'organisme: l'alimentació. Per tant, es pot relacionar la quantitat d'un element present en l'os amb la possible ingestió majoritària d'un tipus d'aliment o d'un altre.

L'os està format per una matriu orgànica (30 % aproximadament) impregnada de sals minerals (70 % aproximadament), bàsicament hidroxiapatita, un fosfat càlcic hidratat. Aquesta estructura rígida és en realitat un teixit dinàmic que després de l'etapa de creixement continua remodelant-se a un ritme aproximat de 7 a 10 anys.

D'aquesta manera, la composició de l'os varia al llarg de la vida d'un organisme. La doble fracció de l'os, orgànica i inorgànica, permet d'efectuar-hi dos tipus d'anàlisi, segons que se n'empren una o l'altra: per a l'estudi amb isòtops estables s'analitza principalment la matriu orgànica de l'os, mentre que els elements traça s'analitzen sobre la fracció inorgànica (Mays, 1998).

Anàlisi d'isòtops estables

Els elements químics en estat natural no estan formats per àtoms totalment idèntics, sinó per una mescla de diverses formes que es diferencien entre elles pel nombre de neutrons del seu nucli i, per tant, en la seua massa atòmica. Els isòtops estables són els que no es descomponen i es mantenen impertorbables al llarg del temps, sent els més abundants en la naturalesa. En qualsevol reacció química o física hi ha una selecció a favor o en contra d'un o més dels isòtops, per la qual cosa hi ha diferències en la proporció de les diferents formes segons el medi en què es troben (Chisholm, 1989). Basant-se en aquesta diferent proporció, l'estudi dels isòtops, principalment els del carboni i els del nitrogen, s'utilitza per a la reconstrucció de les paleodietes. Actualment és un camp en ple desenvolupa-

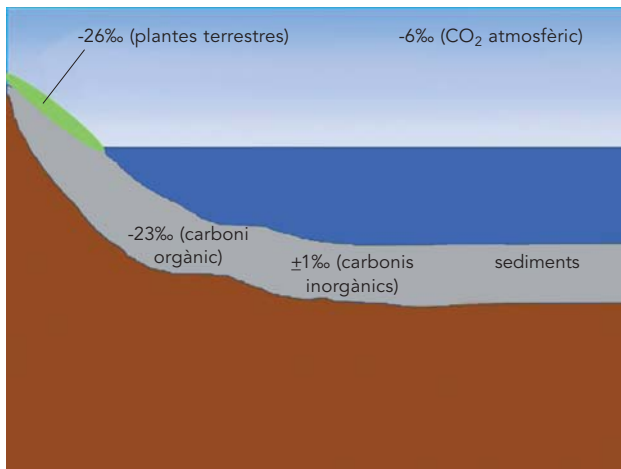


Figura 2. Distribució dels nivells d'isòtops de carboni.

ment, per la qual cosa la bibliografia que se cita ací n'és només una reduïda representació.

Carboni. Globalment, es pot dir que hi ha una variabilitat isotòpica espacial i temporal del CO_2 atmosfèric (Klinken et al., 2002). Prop del 99 % del CO_2 atmosfèric conté el carboni lleuger ^{12}C , una xicoteta part, l'1,1 % del CO_2 , és una miqueta més pesant, ja que conté ^{13}C , i, finalment, una molt reduïda proporció conté ^{14}C , que és radioactiu i inestable, i les aplicacions del qual han sigut fonamentalment paleocronològiques. En el procés d'absorció fotosintètica del CO_2 , la vegetació terrestre i el fitoplàncton marí practiquen una discriminació en contra de les molècules pesants, absorbint una major quantitat de ^{12}C que de ^{13}C ; d'aquesta manera, el carboni atrapat en els vegetals conté una menor proporció de ^{13}C que el carboni del CO_2 atmosfèric, per la qual cosa s'observa una reducció de la relació inicial.

A més, no totes les plantes duen a terme les dues mateixes fases de la fotosíntesi; d'acord amb això, es classifiquen en tres tipus: plantes C3, plantes C4 i plantes CAM [crassulacean acid metabolism]. En les plantes

C3, el primer compost orgànic fabricat en la fotosíntesi té tres àtoms de carboni, mentre que en el tipus C4 en té quatre. Així, la distinta incorporació del carboni en les plantes condueix a diferents proporcions de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ entre aquests tipus de plantes, amb un contingut de ^{13}C més elevat en les plantes C4 que en les C3. El 85 % de les plantes superiors són del tipus C3 (quasi totes les arbòries) i tenen uns valors de $\delta^{13}\text{C}$ molt baixos, entre -22‰ i -30‰ . L'altre 15 % de les plantes són del tipus C4, la majoria d'elles són plantes tropicals (dacsca, melca, canya de sucre, mill, soja, etc.) i tenen uns valors de $\delta^{13}\text{C}$ més alts, entre -10‰ i -14‰ . Així, doncs, el valor $\delta^{13}\text{C}$ dels ossos depèn, en gran part, del tipus de planta més abundant en la dieta.

Un altre motiu de diferenciació entre aliments el proporciona la font de carboni: marina o atmosfèrica. En el primer cas, la proporció és major d'1:100, mentre que si el carboni procedeix de l'atmosfera, la relació és aproximadament 1:100; per tant, el valor serà major si l'aliment prové d'un ambient marí (Fig. 2). Així, es poden diferenciar tres grups de plantes pel que fa al contingut de ^{13}C : les marines i les terrestres, C3 i C4, per la qual cosa la composició isotòpica dels ossos d'un animal dependrà del tipus d'alimentació, basada en una major proporció del tipus de plantes que constitueixen la base de la seua cadena alimentària. Els mamífers que mengen aquestes plantes enriqueixen els seus teixits amb isòtops pesants que resulten en valors d'un 3-5 % superiors als de la planta ingerida (Aufderheide, 1993).

Nitrogen. L'isòtop més freqüent del nitrogen és el ^{14}N (99,634 %) enfront del ^{15}N . Aquest últim presenta

valors pròxims al 0 ‰ en l'atmosfera i al 10 ‰ isòtops de nitrogen reflecteix els nivells basals de la cadena alimentària: les plantes (Katzenberg, 2000). Les plantes obtenen el nitrogen a partir dels ions amoni i nitrats del sòl i de l'aigua o del nitrogen atmosfèric, a partir dels bacteris fixadors del N₂. Per tant, hi ha diferències en els nivells de nitrogen presents en l'atmosfera i els presents en el sòl, sent el ¹⁵N més abundant en el segon cas; també hi ha diferències entre les plantes, ja que les lleguminoses obtenen nitrogen a partir dels bacteris fixadors del nitrogen que es troben en les arrels i, per tant, tenen nivells superiors de ¹⁴N.

Una altra font de nitrogen és l'aigua dolça i l'aigua marina, en què és fixat per bacteris i per algues blaves. En els organismes marins, el ¹⁵N és més abundant; els valors dels organismes aquàtics són més positius que els dels terrestres pel fet que els nitrats usats pel fitoplàncton estan enriquits per la dissolució de nitrats i d'amoníacs de l'aigua marina. A més, hi ha un enriquiment d'un 3-4 ‰ a mesura que s'ascendeix de nivell tròfic, tant en organismes marins com en terrestres. Com que la cadena tròfica marina és més llarga que la terrestre, els organismes marins presenten valors més alts. Per exemple, els organismes terrestres tenen una mitjana de +5,7 ‰, mentre que en els mamífers marins és de +15,6 ‰; així doncs, es produeix un increment de δ ¹⁵N al llarg de la cadena tròfica. Altres factors que afecten els valors concrets de δ ¹⁵N de les plantes inclouen la temperatura, l'altitud, la pluviositat, la salinitat del sòl i l'aplicació de fertilitzants naturals, com el guano (Ambrose, 1991).

En els animals, la disponibilitat d'aigua pot ser crítica; per exemple, els animals adaptats a la sequera o els que habiten en els deserts mostren valors δ ¹⁵N anormalment alts (Schoeninger et al., 1983), cosa que també s'observa en restes humanes procedents de zones àrides, que sovint mostren valors molt alts de δ ¹⁵N.

Quantificació. La desviació de la concentració isotòpica de ¹³C (δ ¹³C) en qualsevol mostra, viva o fòssil, es mesura respecte a un estàndard, que sol ser el carboni contingut en el carbonat càlcic de la petxina d'un determinat fòssil marí denominat PDB (Pee Dee Belemnite), o VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite), que pertany a una formació geològica del Cretaci a Carolina del Nord, i el valor del qual ha sigut establert per l'Agència Internacional de l'Energia Atòmica.

Tant en el cas del carboni com en el del nitrogen, els valors obtinguts s'expressen en tants per mil (‰) i es veuen reflectits en les fórmules següents:

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ mostra} - ^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ estàndard})}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ estàndard} \times 1.000}$$

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ mostra} - ^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ estàndard})}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ estàndard} \times 1.000}$$

En el cas del carboni els valors sempre són negatius, mentre que en el nitrogen poden ser-ho o no. Els intervals de variació de δ ¹³C i de ¹⁵N poden ser representats en un eix de coordenades (Fig. 3) en el qual s'observen diferents categories associades a diversos patrons alimentaris.

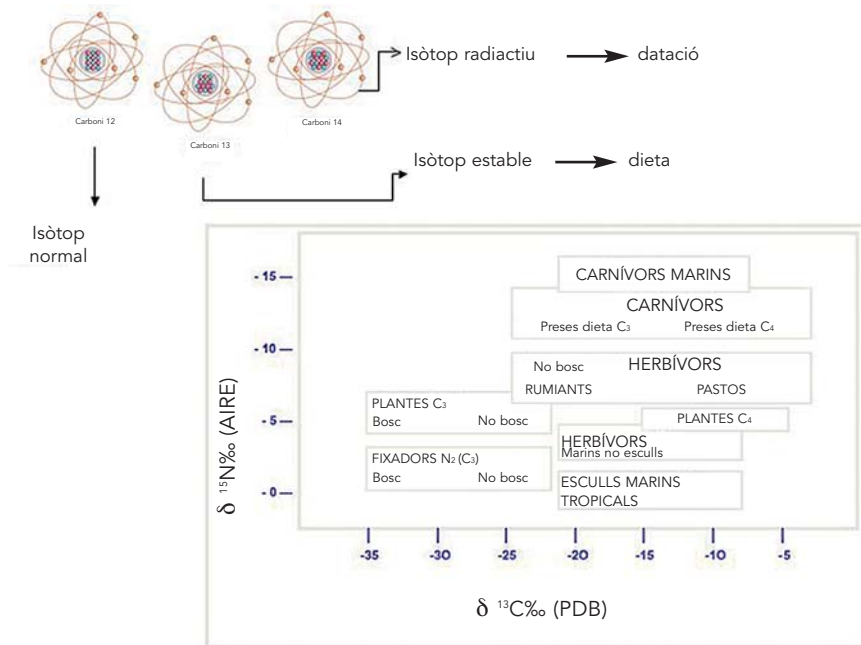


Figura 3. Distribució dels isòtops de C i N en distints ecosistemes (modificat de Keegan, 1989).

Aplicacions. Aquest tipus d'estudis tenen diverses aplicacions i contribueixen al coneixement sobre l'homogeneïtat de la dieta en una població, les variacions espacials, ecològiques i temporals entre grups humans, i també a la valoració de l'estatus social individual (Schwarcz, 1991). També han sigut molt utilitzats en Amèrica per a determinar el paper de la dacsa en la dieta dels diferents grups ètnics (Buikstra i Milner, 1991; Larsen et al., 1992), mentre que a Europa s'han emprat per a conèixer la contribució d'aliment de diversos ecosistemes —marí versus terrestre (García et al., 2004), aigua dolça (Katzenberg et al., 2009), etc.— en distintes poblacions, però sobretot per a avaluar els canvis alimentaris durant la transició mesolític-neolítica (Lubell et al., 1994; García et al., 2006; Schulting et al., 2008). A pesar que tant l'esmalt, com la dentina, i l'os mostren un bon registre de la dieta i de les pràctiques alimentàries, la utilització d'altres elements orgànics també pot

aportar informacions significatives; per exemple el cabell (Macko et al., 1999), o fins i tot la fusta del sarcòfag que va contindre l'individu (Filley et al., 2001).

Cal no oblidar tampoc la seua aplicació a contextos més antics, per exemple a l'estudi d'homínids, ja que ha sigut possible obtenir resultats significatius a partir de material fòssil. Així, per exemple, s'ha reafirmat l'estatus carnívor i depredador de l'home de Neandertal (Richards et al., 2000; Bocherens et al., 2005; Bocherens, 2009) o l'oportunitat i l'adaptabilitat de *Australopithecus africanus* (Van der Merwe et al., 2003) o l'estacionalitat del *Paranthropus robustus* (Sponheimer, 2006).

D'altra banda, els isòtops estables poden aportar proves per a conèixer el moment del deslletament dels infants en l'antiguitat. Diferències en els valors de δ¹⁵N poden reflectir el canvi de nivell tròfic que es produeix quan el xiquet rep aliments sòlids en compte de rebre-ls a través de la mare (Fogel et al., 1997; Herring et al.,

1998; Schurr, 1998). Un lactant es troba en un nivell tròfic superior en la cadena alimentària i, per tant, té un valor de $\delta^{15}\text{N}$ superior al de sa mare o al d'un xiquet no lactant. Aquests resultats també es poden comparar amb isòtops de carboni els valors dels quals poden reflectir la introducció d'aliments sòlids (com la dacsa) en la dieta, i amb els valors d'isòtops d'oxigen, que indicarien si un bebé ingereix llet materna o altres fonts d'aigua (Wright i Schwarcz, 1998).

Oxigen, hidrogen, estronci i plom. Les anàlisis d'isòtops estables s'han convertit, en els últims anys, en una eina poderosa i no invasiva per a estudiar la conducta animal i humana que ha ampliat l'espectre d'elements i de materials analitzats. El coneixement cada vegada més gran dels cicles geoquímics dels isòtops i l'augment del nombre de qüestions plantejades amb relació a la dieta i el seu origen, ha tingut, com a conseqüència, la utilització d'isòtops, que tradicionalment eren emprats en altres problemàtiques —per exemple la paleoclimàtica— per a la resolució de temes paleoantropològics. Els isòtops de l'oxigen van ser ràpidament integrats en aquesta temàtica per a resoldre qüestions com el deslletament. S'ha observat que les dents que es desenvolupen més tardanament estan més enriquides en ^{13}C , al mateix temps que estan més empobrides en ^{18}O , en comparança amb les dents que es desenvolupen en edats més primerenques. En la població de Kaminaljuyú, un estat antic de Guatemala, la datació de la qual comprén des del Preclàssic Mitjà fins al Postclàssic Tardà (del 700 aC al 1500 dC), els valors trobats per a les premolars, per exemple, tenien de mitja-

na un 0,5 % més de $\delta^{13}\text{C}$ que les primeres molars del mateix esquelet, mentre que les terceres molars no estaven significativament més enriquides que les premolars (Wright i Schwarcz, 1998); el canvi de les primeres molars premolars pareix que es deu a la transició als aliments sòlids a partir de la llet materna, que és rica en lípids. Després dels dos anys, quan comença la mineralització de les premolars, els nivells de $\delta^{13}\text{C}$ de la dieta infantil no van canviar sistemàticament. En relació amb els isòtops d'oxigen, les primeres molars i premolars tenen uns valors de $\delta^{18}\text{O}$ pareguts, encara que en les terceres molars la mitjana és un 0,7 % inferior respecte de les primeres molars, i un 0,5 % inferior a les premolars. Tant la primera molar com la premolar tenen valors de $\delta^{18}\text{O}$ majors, ja que la llet materna està més enriquida en ^{18}O que l'aigua potable. Sembla que hi hagué un procés asincrònic en els canvis de $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$ que demostra que les mares kaminaljuyú practicaven una alimentació complementària. La composició isotòpica de l'esmalt dels kaminaljuyú indica que molts xiquets continuaven prenent llet —rica en ^{18}O — entre els dos i els sis anys, quan les premolars es mineralitzen. Encara que els aliments sòlids es van introduir prompte, abans que s'iniciara la mineralització de les premolars, la llet materna pareix que haja aportat una proporció important dels líquids absorbits pels kaminaljuyú fins als cinc o els sis anys d'edat (Wright i Schwarcz, 1998).

També els ossos recuperats dels jaciments arqueològics poden ser analitzats per a obtindre informació sobre altres aspectes de la vida, com la migració. Els isòtops de carboni, oxigen i hidrogen poden ajudar a determinar l'origen geogràfic per mitjà de les propor-

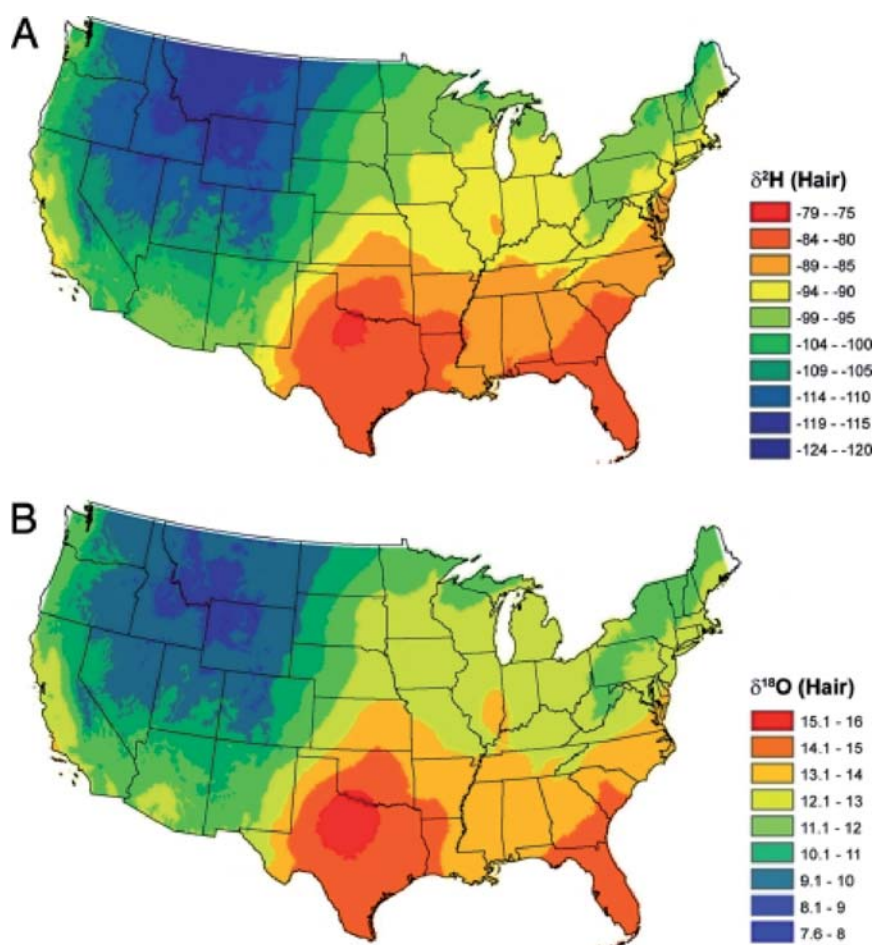


Figura 4. Mapa de distribució dels nivells de $\delta^2\text{H}$ i $\delta^{18}\text{O}$ als EUA generats a través de GIS (d'Ehleringer et al., 2009).

cions d'aquests en l'aigua que beuen (Fig. 4) (Daux et al., 2008; Thompson et al., 2008; Ehleringer et al., 2008); així mateix, els isòtops d'estrónci i el plom en les dents i els ossos pot ser emprat per a reconstruir la migració en les poblacions humanes i la seua afinitat cultural. Per exemple, la composició isotòpica de l'estrónci dels ossos i les dents reflecteix la composició d'isòtops d'estrónci de la geologia local. Ara bé, l'estrónci consumit és incorporat en l'esquelet durant la formació d'os, però també durant la seua remodelació. Tenint en compte que l'os està sotmés a una contínua renovació de la seua fase inorgànica, els mesuraments d'estrónci ossi reflecteixen els últims anys de la vida de la

persona. D'altra banda, l'esmalt de les dents es forma durant la infància i els canvis que pugui patir la seua composició són relativament petits i no comporten una veritable remodelació, com la de l'os. Per això, les diferències d'isòtops d'estrónci entre l'os i l'esmalt de les dents en una sola persona reflecteix els canvis en la història de residència d'aquella persona. Així doncs, la relació d'aquests isòtops mesurats en les dents i en els ossos humans pot servir com a marcador de la geologia de les àrees on els individus es van criar i on van morir, respectivament (Price et al., 2002).

Quant al plom, el distint origen radiogènic de tres dels seus quatre isòtops estables dóna lloc a un senyal

isotòpic característic de qualsevol depòsit geològic. Com que el plom no es fracciona en els sistemes biològics, inclòs el metabolisme humà, la composició isotòpica del plom de l'esquelet reflecteix la font o les fonts a què van estar exposades les persones. Se suposa que els diferents grups culturals seran exposats a diferents fonts de plom a través dels processos naturals i de pràctiques culturals (Carlson, 1996).

Un desenvolupament recent en la ciència forense és l'anàlisi isotòpica del cabell, que podria ser aplicada a restes capil·lars conservades. El cabell té una taxa de creixement reconeixible d'uns 9 a 11 mm per mes, o 15 cm per any, sent aquest creixement dependent principalment de la dieta, incloent sobretot l'aigua. La composició isotòpica de l'aigua potable depèn de la seua ubicació i de la geologia, per això els isòtops d'estronci (^{87}Sr , ^{88}Sr) i d'oxigen (^{18}O i ^{16}O) varien en tot el món. Aquestes diferències en la relació isotòpica es veuen reflectides en el nostre cabell quan creix, i, per tant, és possible d'identificar els últims moviments geogràfics mitjançant l'anàlisi del cabell. Per exemple, seria possible determinar el lloc de residència recent d'un sospitós comparant la composició isotòpica de distintes zones del cabell. Aquesta anàlisi del cabell és un mètode no invasiu que s'està tornant molt popular en els casos en què l'ADN o altres mitjans tradicionals no són resolutius (Sharp et al., 2003; Smith, 2007). Actualment també es disposa de dades diverses que demostren que el pèl i les dents contenen un llarg historial dels ritmes biològics, registrat en la ràtio d'isòtops; així, l'anàlisi de la distribució d'isòtops en aquests materials procedents d'espècimens arqueològics podria donar informació

sobre la fisiologia de les persones i dels animals antics (Appenzeller et al., 2007).

Aquests estudis ofereixen, doncs, una visió de l'amplitud de possibilitats que poden tindre les anàlisis isotòpiques aplicades a les restes antigues. No obstant això, per a millorar-ne els resultats, l'investigador hauria de poder determinar els nivells originals d'isòtops en l'organisme en el moment de la seua mort i això no sempre és exactament així. A partir de la mort d'un organisme, es desencadenen una sèrie de processos i de reaccions en el cos mateix i en el seu ambient immediat. Els processos diagenètics —físics, químics i biològics— tendiran a modificar les restes i la seua composició. Per això, és important entendre els processos de diagènesi que puguen afectar el senyal isotòpic original a fi d'interpretar els seus nivells i obtindre una imatge precisa de la paleodieta (Bocherens, 2002). També és important, per a l'investigador, saber les variacions d'isòtops en els individus, entre individus i en el temps.

Anàlisi d'elements traça

Tal com el nom indica, els elements traça són aquells elements químics que es troben en petites quantitats, en aquest cas en l'os. El seu estudi segueix pautes semblants a l'estudi dels isòtops estables, perquè en ambdós casos es tracta de metodologies químiques analítiques i es basa en el fraccionament tròfic de determinats elements. Es tracta de quantificar la concentració d'un determinat element traça en els ossos de diferents individus d'una població i contrastar-la amb estàndards o patrons que en permeten la classificació segons el tipus de dieta. En aquest cas, els patrons emprats són les res-

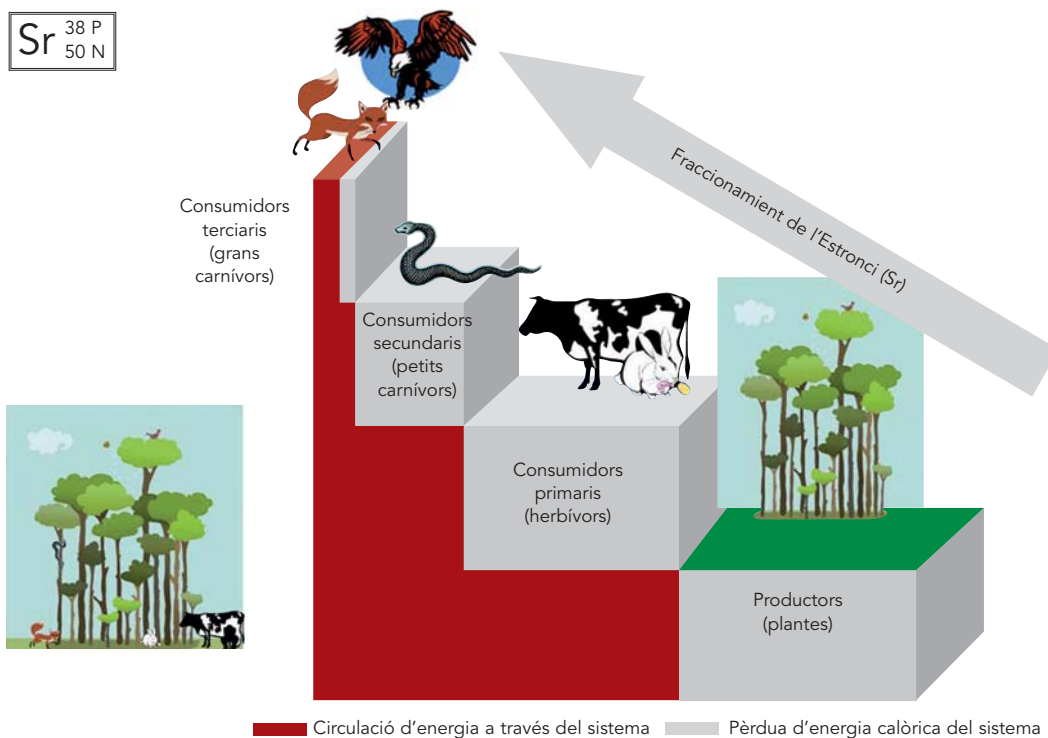


Figura 5. Fraccionament de l'estranci al llarg de la cadena tròfica.

tes de fauna de dieta coneguda del mateix jaciment i estratigrafia.

La quantitat d'un element traça al llarg d'una cadena tròfica varia en funció de raons fisiològiques de l'alimentació del grup. S'utilitzen elements químics no essencials per a l'organisme que no estiguen limitats per uns requeriments concrets (Ezzo, 1994). Tres d'aquests elements en particular (l'estranci, el bari i el vanadi) estan significativament concentrats en les plantes; uns altres dos, el coure i el zinc, es troben majorment disponibles en els aliments d'origen animal (Underwood, 1977).

L'estranci és l'element més paradigmàtic de les anàlisis de paleodieta mitjançant elements traça. Es tracta d'un element alcalinoterri que les plantes absorbeixen del sòl amb facilitat, juntament amb el calci, i que té un

comportament químic molt semblant a aquest. Els animals herbívors tenen, per tant, un accés fàcil a l'estranci i, per això, constitueixen un important reservori d'aquest element. No obstant això, la seua concentració en els teixits animals no és la mateixa que en les plantes del lloc, ja que el tracte intestinal dels animals discrimina l'estranci en favor del calci. En les etapes successives de la cadena tròfica (omnívors i carnívors) la proporció d'estranci es reduirà encara més per dues raons (Fig. 5): una és la ja esmentada discriminació del sistema digestiu i l'altra la major dificultat d'accés als dipòsits d'estranci, que en els animals són els ossos (Gilbert, 1985). Aquest procés d'empobriment d'un element en els diferents estadis d'alimentació, des d'un herbívor fins a un carnívor, es dona també en altres elements traça. Així, alguns elements veuen reduïdes les

←
Sr, Ba

Herbívor – Omnívor – Carnívor

Zn, Cu
→

seues quantitats al llarg de la cadena tròfica (en general els alcalinoterris com l'estrónci, el bari o el magnesi, abundants en els sòls i en les plantes), mentre que d'altres, com el coure i el zinc, incrementen la seua ràtio en ser retinguts en els teixits musculars (Klepinger, 1984; Francalacci i Borgognini, 1988). És interessant de poder integrar les dades dels diferents elements traça pel diferent tipus d'informació que aporten i per la interacció que hi ha entre ells (Fig. 6). En conjunt, l'estudi multielemental ens pot donar una aproximació a l'alimentació bàsica del grup humà (Francalacci, 1987; Subirà i Malgosa, 1992).

Aplicacions de les anàlisis d'elements traça. L'anàlisi dels isòtops i dels elements traça facilita informació sobre les proporcions d'algund tipus d'aliments en la dieta d'un grup. S'ha aplicat a distints contextos i èpoques, fins i tot a restes fòssils (Safont *et al.*, 1999; Sponheimer *et al.*, 2004; entre d'altres), i també combinant amb diversos models químics (Sillen *et al.*, 1995). Així mateix ens permeten conèixer l'estat de salut d'una població, en tant que la deficiència d'algun element químic present en un producte alimentari pot quedar reflectida en els nivells basals dels elements traça en l'os. D'altra banda, qualsevol supòsit que estiga relacionat amb un canvi en la dieta pot quedar reflectit en l'os, tant les diferències entre grups socials, bé d'edat, de sexe o d'estratificació social (Aufderheide, 1989; Blakely, 1989; Hatch i Geidel, 1985), com les diferències entre cronologies dins d'un mateix jaciment (Sillen, 1984). Finalment, aquest tipus d'estudi pot reflectir possibles contaminacions i enverinaments

Figura 6. Variació dels elements traça segons la base alimentària.

associats a l'aliment o al seu tractament, com també d'altres associats a les activitats laborals (Aufderheide *et al.*, 1991; Runia, 1988).

Limitacions de les anàlisis químiques en restes antigues

Tot tipus d'anàlisi sobre l'os necessita d'una bona conservació del material, màximament quan aquesta anàlisi és química. A pesar de l'escassa quantitat d'os que fa falta per a l'anàlisi d'elements traça, 0,5 grams, l'os ha d'estar tan indemne com siga possible per a poder considerar-ne acceptables les dades (Subirà, 1993). En el cas dels isòtops estables, cal l'extracció del col·lagen d'un gram d'os, evitant d'utilitzar aquella part de l'os en què la matriu orgànica pràcticament haguera desaparegut o estiguera alterada per la presència de microorganismes. En aquest sentit, alguns autors consideren que no es conserva col·lagen en restes de més de 10.000 anys, i que l'error en el mesurament podria procedir del ^{13}C del carbonat present en l'hidroxiapatita (Sillen, 1994).

Altres consideracions a tindre en compte són la possible variabilitat geogràfica i regional, i la interrelació entre marcadors alimentaris, per exemple alimentació marina i plantes C3 i C4, i la complexitat en la interpretació dels resultats quan es tenen en compte influències fisiològiques, com les diferències de sexe en el metabolisme de Sr/Ca en les quals les dones solen tindre ràtios

Sr/Ca majors que els hòmens, a causa de les demandes de l'embaràs i de la lactància (Eckhardt, 2004).

Però potser el principal toc d'atenció resideix en la impossibilitat de comparar els valors absoluts obtinguts en diferents poblacions, tant per l'ús de diverses metodologies analítiques, com pels diversos processos diagenètics lligats a les característiques pròpies de cada jaciment i de cada època. Per això, és extremadament important la comparació dels nivells químics obtinguts amb els de la fauna del lloc.

Conclusions

L'Antropologia biològica proporciona diferents eines per estudiar la dieta d'una població, sent les anàlisis químiques una evidència directa de la contribució alimentària. Isòtops estables –principalment de carboni i nitrogen, però també d'oxigen, hidrogen, i estronci- i elements traça –estronci, bari, zinc i coure- mostren la situació del grup humà dins un marc contextual de tipus alimentaris (herbívor/omnívor/ carnívor, dieta marítima/terrestre, plantes C3/C4), la relació amb la lactància, l'origen i la mobilitat del grup o la persona.

No obstant això, és la interpretació conjunta de les diferents anàlisis (químiques, patològiques o de creixement) el que proporciona un cos de dades consistent per explicar l'alimentació dels grups del passat.

Bibliografia

AMBROSE, S.H. (1991). «Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundance in terrestrial foodwebs», *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 293-317.

AMBROSE, S.H. I KATZENBERG, M.A. (2002). *Biogeochemical approaches to paleodietary analysis*. Nova York: Kluwer Academic Publishers.

APPENZELLER, O.; QUALLS, C.; BARBIC, F.; FURLAN, R., I PORTA, A. (2007). «Stable isotope ratios in hair and teeth reflect biologic rhythms», *PLoS ONE*, 2 (7): e636. doi:10.1371/journal.pone.0000636

AUFDERHEIDE, A.C. (1989). «Chemical analysis of skeletal remains». En Iscan, M.Y.; Kennedy, K.A.R. (eds.). *Reconstruction of life from the skeleton*. Nova York: Alan R. Liss, p. 237-260.

— (1993). «Reconstrucción química de la dieta del hombre de Acha»,. En MUÑOZ I.; ARRIAZA, B.; AUFDERHEIDE, A.C. (eds). *Acha-2 y los orígenes del poblamiento humano en Arica*. Arica: Universidad de Tarapacá, p. 65-80.

AUFDERHEIDE, A.C.; WITTMERS, L.E.; RAPP, G. I WALLGREN, J. (1991). «El uso del contenido de plomo en material óseo para hipótesis antropológicas», *Eres*, 2, p. 51-58.

BLAKELY, R.L. (1989). «Bone strontium in pregnant and lactating females from archaeological samples», *American Journal of Physical Anthropology*, 80, p. 173-185.

BOCHERENS, H. (2002). «Preservation of isotopic signals in Pleistocene mammals». En Ambrose, S.H.; Katzenberg, M.A. (2002). *Biogeochemical approaches to paleodietary analysis*. Nova York: Kluwer Academic Publishers, p. 65-88.

— (2009). «Neanderthal dietary habits: review of the isotopic evidence». En Hublin, J.; Richards, M.P. (eds.) (2009). *The evolution of hominid diets. Integrating approaches to the study of Palaeolithic subsistence*. (Holanda): Springer, p. 241-250.

BOCHERENS, H.; DRUCKER, D.G.; BILLIOU, D.; PATOU-MATHIS, M. I VANDERMEERSCH, B. (2005). «Isotopic evidence for diet and subsistence pattern of the Saint-Césaire I Neanderthal: review and use of a multi-source mixing model», *Journal of Human Evolution*, 49 (1), p. 87.

BORGOGNINI, S.M. I REPETTO, E. (1985). «Antropologia dentaria nella Preistoria». En Vogel, G.; Gambacorta, G. (eds.). *Storia della Odontoiatria*. Milà: Ars Medica Antiqua Editrice.

BUIKSTRA, J.E. I MILNER, G.P. (1991). «Isotopic and archaeological interpretations of diet in the Central Mississippi Valley», *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 319-329.

CARLSON, A. K. (1996). «Lead isotope analysis of human bone for addressing cultural affinity: a case study from Rocky Mountain House, Alberta», *Journal of Archaeological Science*, 23, p. 557-567.

CARRASCO, T. I MALGOSA, A. (1990): «Paleopatología oral y dieta. Interpretación de la patología oral de 112 individuos procedentes de una necrópolis talayótica mallorquina (siglos VI al II a.C.)», *Dynamis*, 10, p. 17-37.

CHIMENOS, E. (1990). *Estudio paleoestomatológico de poblaciones prehistóricas de Catalunya*. Saragossa: Pórtico.

CHIMENOS, E. I MARTÍNEZ, A. (1993). «Prevalencia de paleopatología oral infecciosa y su relación con la dieta en poblaciones prehistóricas», *Archivos de Odontología*, 9, p. 139-145.

- CHISHOLM, B.S. (1989). «Variations in diet reconstructions based on stable carbon isotopic evidences». En Price, T.D. (ed.). *The Chemistry of prehistoric human bone*. Nova York: Cambridge University Press, p. 10-37.
- COHEN, M.N. I ARMELAGOS, G.J. (eds.) (1984). *Paleopathology at the origins of agriculture*. Orlando: Academic Press.
- DAUX, V.; LÉCUYER, C.; HÉRAN, M.A.; AMIOT, R.; SIMON, L.; FOUREL, F.; MARTINEAU, F.; LYNNERUP, N.; REYCHLER H. I ESCARGUEL G. (2008). «Oxygen isotope fractionation between human phosphate and water revisited», *Journal of Human Evolution*, 55 (6), p. 1138-1147.
- ECKHARDT, R. B. (2004). *Human paleobiology*. Cambridge University Press.
- EHLERINGER, J.R.; BOWEN, G.J.; CHESSON, L.A.; WEST, A.G.; PODLESAK, D.W. I CERLING, T.E. (2008). «From the cover: hydrogen and oxygen isotope ratios in human hair are related to geography», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (8), p. 2788-2793.
- EZZO, J.A. (1994). «Putting the "Chemistry" back into archaeological bone chemistry analysis: modelling potential paleodietary indicators», *Journal of Anthropological Archaeology*, 13, p. 1-34.
- FILLEY, T.R.; BLANCHETTE, R.A.; SIMPSON, E. I FOGEL, M.L. (2001). «Nitrogen cycling by wood decomposing soft-rot fungi in the "King Midas tomb", Gordion, Turkey», *PNAS [Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America]*, 98 (23), p. 13346-13350.
- FOGEL, M.L.; TUROSS, N.; JOHNSON, B.J. I MILLER, G.H. (1997). «Biogeochemical record of ancient humans», *Organic Geochemistry*, 27, p. 275-287.
- FRANCALACCI, P. (1987). *Oligoelementi e paleonutrizione: Aspetti metodologici e applicativi in due Giacimenti Italiani. (Grotta delle Arene Candide e Grotta dell'Uzzo)*. [Dottorato di ricerca in Scienze Antropologiche.]
- FRANCALACCI, P. I BORGOGNINI, S.M. (1988). «Multielementary analysis of trace elements and preliminary results on stable isotopes in two Italian prehistoric sites. Methodological aspects». En Grupe, G.; Herrmann B. (eds.). *Trace elements in environmental History*. Berlin: Springer.
- GARCÍA, E.; SUBIRÁ, M.E. I RICHARDS, M.P. (2004). «Régime et société d'après l'analyse des isotopes stables: l'exemple de la population de "Can Reinés" (Mallorca, Espagne, 600 ap. J.C.)», *Antropo*, 7, p. 171-176.
- GARCÍA, E.; RICHARDS, M.P. I SUBIRÁ, M.E. (2006). «Paleodiets of humans and fauna at the Spanish Mesolithic site of El Collado», *Current Anthropology*, 47 (3), p. 549-556.
- GILBERT, R.I. (1985). «Stress, paleonutrition, and trace elements». En GILBERT, R.I.; MIELKE, J. H. (eds.). *The analysis of prehistoric diets*. (EUA): Academic Press, p. 339-358.
- HATCH, J.W. I GEIDEL, R.A. (1985). «Status-specific dietary variation in two world cultures», *Journal of Human Evolution*, 14, p. 469-476.
- HENRY, A.G. I PIPERNO, D.R. (2008). «Using plant microfossils from dental calculus to recover human diet: a case study from Tell al-Raq?i, Syria», *Journal of Archaeological Science*, 35 (7), p. 1943-1950.
- HERRING, D.A.; SAUNDERS, S.R. I KATZENBERG, M.A. (1998). «Investigating the weaning process in past populations», *American Journal of Physical Anthropology*, 105, p. 425-439.
- HILLSON, S.W. (1979). «Diet and dental disease», *World Archaeology*, 111 (2), p. 147-161.
- HUBLIN, J. I RICHARDS, M.P. (eds.) (2009). *The Evolution of hominid diets. Integrating approaches to the study of Palaeolithic subsistence*. Springer. 300 p.
- KATZENBERG, M.A. (1992). «Advances in stable isotope analysis of prehistoric bones». En Saunders, S. R.; Katzenberg, M.A. (eds.). *Skeletal biology of past peoples: research methods*, Wiley Liss, p. 105-119.
- (2000). «Stable isotope analysis: a tool for studying past diet, demography, and life history». En Katzenberg, M.A.; Saunders, S.R. (eds.). *Biological anthropology of the human skeleton*. Nova York: Wiley-Liss, p. 305-328.
- KATZENBERG, M.A.; GORIUNOVA, O. I WEBER, A. (2009). «Paleodiet reconstruction of Bronze Age Siberians from the mortuary site of Khuzhir-Nuge XIV, Lake Baikal», *Journal of Archaeological Science*, 36, p. 663-674.
- KEEGAN, F.W. (1989). «Stable isotopic analysis of prehistoric diet». En Iscan, M.Y.; Kennedy, K.A.R. (eds.). *Reconstruction of life from the skeleton*. Alan R. Liss, p. 223-236.
- KLEPINGER, R.L. (1984). «Nutritional assessment from bones», *Annual Review of Anthropology*, 13, p. 75-96.
- KLINKEN, G.J. V.; RICHARDS, M.P. I HEDGES, R.E.M. (2002). «An overview of causes for stable isotopic variations in past European human populations: environmental, ecophysiological, and cultural effects». En Ambrose, S.H.; Katzenberg, M.A. (2002). *Biogeochemical approaches to paleodietary analysis*. Nova York: Kluwer Academic Publishers, p. 39-63.
- LALUEZA FOX, C.; JUAN, J. I ALBERT, R. M. (1996). «Phytolith analysis on dental calculus, enamel surface, and burial soil: information about diet and paleoenvironment», *American Journal of Physical Anthropology*, 101, p. 101-113.
- LARSEN, C.S.; SCHOENINGE, M.G.; VAN DER MERWE, J.; MOORE, K.M. I LEETHRP, J.A. (1992). «Carbon and nitrogen stable isotopic signatures of human dietary change in the Georgia Bight», *American Journal of Physical Anthropology*, 89, p. 197-214.
- LUBELL, D.; JACKES, M.; SCHWARCZ, H.; KNYF, M. I MEIKLEJOHN, C. (1994). «The Mesolithic-Neolithic transition in Portugal: isotopic and dental evidence of diet», *Journal of Archaeological Science*, 21 (2), p. 20 1-216.
- LUKACKS, J.R. (1989). «Dental paleopathology: methods for reconstructing dietary patterns». En Iscan, M.Y.; Kennedy, K.A.R. (1989). *Reconstruction of life from the skeleton*. Nova York: Alan R. Liss, p. 261-286.

- MACKO, S.A.; LUBEC, G.; TESCHLER-NICOLA, M.; ANDRUSEVICH, V. I ENGEL, M.H. (1999). «The Ice Man's diet reflected by the stable nitrogen and carbon isotopic composition of his hair», *Federation of American for Experimental Biology Journal*, 13 (3), p. 559-562.
- MALGOSA, A. I SUBIRÀ, M.E. (1996). «Antropologia i dieta: metodologies per a la reconstrucció de l'alimentació de poblacions antigues», *Cota Zero*, 12, p. 15-27.
- MAYS, S. (1998). *The archaeology of human bones*. Londres; Nova York: Routledge.
- PÉREZ-PÉREZ, A.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J.M. I ARSUAGA, J.L. (1999). «Nonocclusal dental microwear analysis of 300.000-year-old *Homo heidelbergensis* teeth from Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Spain)», *American Journal of Physical Anthropology*, 108 (4), p. 433-457.
- PRICE, T.D.; BURTON, J.H. I BENTLEY, R.A. (2002). «The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration», *Archaeometry*, 44 (1) (2002), p. 117-135.
- RICHARDS, M.P.; PETTITT, P.B.; TRINKAUS, E.; SMITH, F.H.; PAUNOVIĆ, M. I KARAVANI, I. (2000). «Neanderthal diet at Vindija and Neanderthal predation: the evidence from stable isotopes», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97 (13), p. 7663-7666.
- ROMERO, A. I DE JUAN, J. (2005). «Scanning microscopy exam of hominoid dental enamel surface: exploring the effect of abrasives in the diet». En *Science, Technology and Education of Microscopy: an overview*. Méndez-Vilas, A.; Labajos-Broncano, L. (eds.). (2005). *Current Issues on Multidisciplinary Microscopy Research and Education*. Badajoz: Formatex (Microscopy Book Series, 2), p. 1-17.
- ROMERO, A.; MARTÍNEZ-RUIZ, N. I DE JUAN, J. (2005). «Análisis de microdesgaste dentario-vestibular en sujetos humanos actuales», *Revista Española de Antropología Física*, 25, p. 68-69.
- RUNIA, L. (1988). «Discrimination factors on different trophic levels in relation to the trace element content in human bones». En Grupe, G.; Herrmann, B. (eds.). *Trace elements in environmental History*. Berlin: Springer, p. 53-66.
- SAFONT, S.; MALGOSA, A.; SUBIRÀ, M.E. I GIBERT J. (1998). «Can trace elements in fossils provide information about palaeodiet?», *International Journal of Osteoarchaeology*, 8, p. 23-37.
- SCHOENINGER, M.J.; DENIRO, M.J. I TAUBER, H. (1983). «Stable nitrogen isotope ratios of collagen bone reflect marine and terrestrial components of prehistoric diets», *Science*, 220, p. 1381-1383.
- SCHULTING, R.J.; BLOCKLEY, S.M.; BOCHERENS, H.; DRUCKER, D. I RICHARDS, M. (2008). «Stable carbon and nitrogen isotope analysis on human remains from the Early Mesolithic site of La Vergne (Charente-Maritime, France)» *Journal of Archaeological Science*, 35 (3), p. 763-772.
- SCHURR, M.R. (1998). «Using stable nitrogen-isotopes to study weaning behavior in past populations», *World Archaeology*, 30, p. 327-342.
- SCHWARCZ, H.P. (1991). «Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies», *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 261-275.
- SHARP, Z.; ATUDOREI, V.; PANARELLO, H.O.; FERNÁNDEZ, J. I DOUTHITT, C. (2003). «Hydrogen isotope systematics of hair: archeological and forensic applications», *Journal of Archaeological Science*, 30, p. 1709-1716.
- SILLEN, A. (1994). «L'alimentation des hommes préhistoriques», *La Recherche*, 264, p. 384-390.
- SILLEN, A.; HALL, G. I ARMSTRONG, R. (1995). «Strontium calcium ratios (Sr/Ca) and strontium isotopic ratios ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) of *Australopithecus robustus* and *Homo* sp. from Swartkrans», *Journal of Human Evolution*, 28 (3), p. 277-285.
- SMITH, J.M. (2007). «Stable isotope abundances in forensic evidence». En Blackledge, R.D. (ed.). *Forensic analysis on the cutting edge. New methods for trace evidence analysis*. John Wiley and Sons, p. 398-421.
- SPONHEIMER, M.; RUITER, D.J. de, LEE-THORP, J.A. I SPÄTH, A. (2005). «Sr/Ca and early hominin diets revisited: new data from modern and fossil tooth enamel», *Journal of Human Evolution*, 48 (2), p. 147-156.
- SPONHEIMER, M.; PASSEY, B.H.; RUITER, D.J. de; GUATELLI-STEINBERG, D.; CERLING, T.E. I LEE-THORP, J.A. (2006). «Isotopic evidence for dietary variability in the early hominin *Paranthropus robustus*», *Science*, 314 (5801), p. 980-982.
- SUBIRÀ, M.E. (1993). *Elementos traza en restos humanos talayóticos*. Saragossa: Pórtico.
- SUBIRÀ, M.E.; MALGOSA, A. (1992). «Multi-element analysis for dietary reconstruction at a Balearic Iron Age site», *International Journal of Osteoarchaeology*, 2, p. 199-204.
- THOMPSON, A.H.; CHAIX L I RICHARDS, M.P. (2008). «Stable isotopes and diet at Ancient Kerma, Upper Nubia (Sudan)», *Journal of Archaeological Science*, 35 (2), p. 376-387.
- UNDERWOOD, E.J. (1977). *Trace elements in human and animal nutrition*. 4a. ed. Nova York: Academic Press.
- VAN DER MERWE, N.; THACKERAY, J.F.; LEE-THORP, J.A I LUYT, J. (2003). «The carbon isotope ecology and diet of *Australopithecus africanus* at Sterkfontein, South Africa», *Journal of Human Evolution*, 44 (5), p. 581-597.
- WRIGHT, L.E. I SCHWARCZ, 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.