

# Anàlisi d'isòtops estables en arqueologia: aplicació i integració a la recerca arqueològica\*

Carles Tornero, Maria Saña

## Isòtops estables i arqueologia

En les últimes dues dècades l'anàlisi d'isòtops estables s'ha anat aplicant a la recerca arqueològica amb una intensitat creixent. L'augment del volum de coneixements sobre les condicions de fixació, preservació, recuperació i mesura dels isòtops estables dels diferents elements químics, l'augment del nombre de treballs experimentals, l'establiment de les relacions entre les concentracions resultants i les característiques fisiològiques dels organismes vius i l'abaratiment del preu de l'anàlisi són alguns dels aspectes que han influït en el fet que, des de diferents àmbits científics, i des de l'arqueologia en particular, s'estigui assistint en l'actualitat a un major interès cap a aquest tipus d'anàlisi. En l'àmbit de la química orgànica les anàlisis d'isòtops estables es varen desenvolupar primerament en les anomenades *ciències de la terra*, especialment en els camps de la geocronologia i de la geoquímica. Amb posterioritat es varen començar a aplicar a la bioquímica, la biologia i l'ecologia, i es va saltar des d'aquesta última cap a les anomenades disciplines que intenten explicar *allò social*, com l'antropologia, la

sociologia, l'etnografia i, pel cas que ens ocupa, l'arqueologia (LULL, 1983: 15).

En el marc general de la investigació en arqueologia i des de diferents tendències de recerca, la majoria de les anàlisis d'isòtops estables es desenvolupen a partir de l'anàlisi de les restes orgàniques, establint-se de forma majoritària les relacions entre alguns isòtops estables de quatre elements químics principals: carboni  $C^{13}/C^{12}$ , oxigen  $O^{18}/O^{16}$ , nitrogen  $N^{15}/N^{14}$  i estronci  $Sr^{87}/Sr^{86}$ . De forma minoritària i encara en fases experimentals, aquestes anàlisis s'estan desenvolupant també en elements químics com el sulfur ( $S^{32}/S^{34}$ ) (MÁRQUEZ-GRANT [et al.], 2003; RICHARDS [et al.], 2003; GARCIA [et al.], 2004) l'hidrogen ( $H^2/H^1$ ) (CORMIE [et al.], 1994ab; SHARP [et al.], 2003) o el calci ( $Ca^{44}/Ca^{40}$ ) (CLEMENTZ [et al.], 2003). La utilització i selecció d'aquests elements químics respon principalment al fet que el carboni, l'oxigen i el nitrogen són, juntament amb l'hidrogen i el sulfur, els elements anomenats *chons* o *quintet de la vida*, presents no només en tota forma de vida orgànica sinó també en totes les seves relacions biològiques, involucrats, per tant, en tot el conjunt de reaccions químiques dels processos

\* Aquest treball ha estat realitzat en el marc de diferents projectes d'investigació arqueològica. *Programma: From the Adoption of Agriculture to the Landscape: Long term Interaction between Man and Environment in the East Mediterranean Basin. Union Européenne*. INCO-MED: ICA3-2002-10053, *Proyecto Interacción social y proceso de neolitización en el valle medio del río Éufrates (9000-6000 antes de nuestra era)*. Ministerio de Educación y Ciencia. HUM2004-04099/HIST i *Proyecto Aplicación de la biogeoquímica isotópica a la investigación arqueológica*. Universitat Autònoma de Barcelona EME2006-17; i s'inscriu en el marc dels treballs d'investigació que realitza el Grup de Recerca de Qualitat de la Generalitat de Catalunya: *Seminari d'Arqueologia Prehistòrica del Pròxim Orient (SAPPO) (2005 GR 00241)*. Carles Tornero gaudeix d'una beca predoctoral d'investigació del *Ministerio de Educación y Ciencia* (exp. núm. BES-2005-8158).

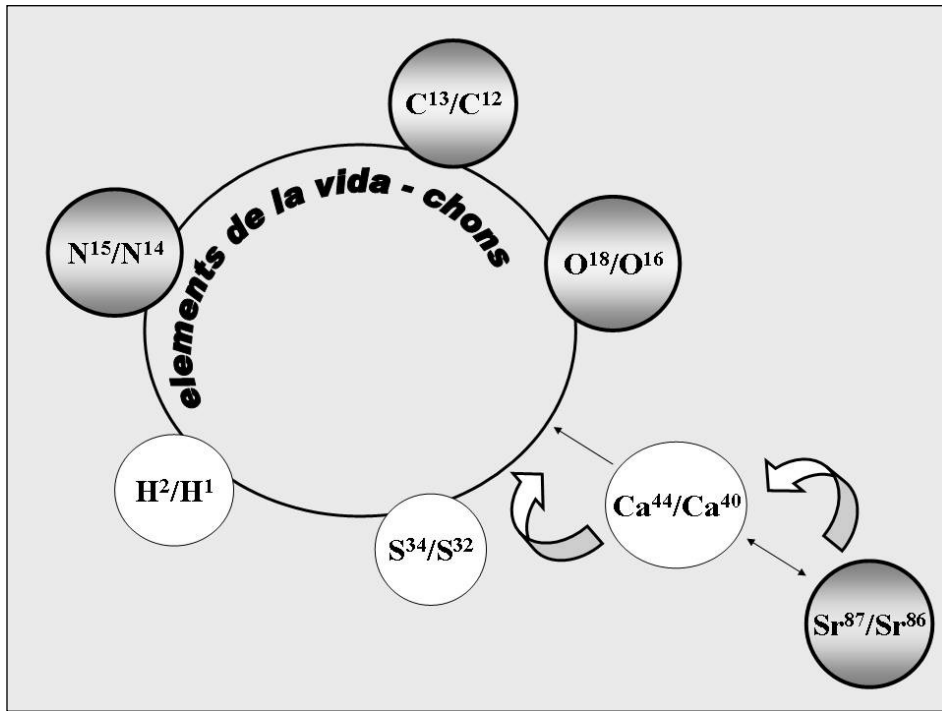


Figura 1. Representació esquemàtica de les principals relacions entre els isòtops estables de diferents elements químics recomptats en el material arqueològic d'origen orgànic.

orgànics (consum d'aliments vegetals i animals, d'aigua, producció d'aliments...). La utilització de l'estrónci, en canvi, respon més aviat a les seves pròpies particularitats com a referent geològic del lloc on s'esdevenen aquests processos (BENTLEY, 2006) (figura 1).

Les anàlisis d'isòtops estables es poden aplicar sobre les diferents categories de materials arqueològics, i es realitzen més comunament en restes humanes. Darrerament, però, són nombroses i significatives també les aplicacions que es comencen a efectuar sobre restes vegetals i de fauna, tant de forma directa (aplicades sobre la mateixa resta) com indirecta (aplicades en els residus producte dels processos de producció d'aliment en què han intervingut plantes o animals). Les aplicacions efectuades sobre aquestes últimes són, no obstant això, quantitativament inferiors. En cada una d'aquestes categories de materials arqueològics el tipus de teixit potencialment analitzable és variable. Per al cas de les restes humanes i animals predominen sobretot les anàlisis a partir d'ossos i dents, i, en casos excepcionals de conservació, restes de cabell (MACKO [et al.], 1999) i banyes (SCHWEISSING I GRUPE, 2003; POLL [et al.], 2005). Per al cas de les restes vegetals predominen els treballs realitzats a partir de llavors carbonitzades, encara que recentment s'ha demostrat la possibilitat de tre-

ballar també amb restes de fustes carbonitzades (FERRIO, 2005). Per al cas de les restes de residus de les produccions alimentàries (producció làctia, de cereals...), l'anàlisi se sol realitzar de manera indirecta a partir dels suports i contenidors on es preserven aquests residus (ceràmiques, estructures d'emmagatzematge...) (DUDD I EVERSHERD, 1998; DUDD [et al.], 1999; CRAIG [et al.], 2000; COPLEY [et al.], 2005abc).

### I. L'aplicació de les anàlisis d'isòtops estables a l'arqueologia: breu repàs històric

Les primeres anàlisis d'isòtops estables realitzades en arqueologia es varen començar a publicar sobretot a partir de la segona meitat de la dècada dels anys setanta. Aquests treballs es varen desenvolupar en centres i laboratoris de recerca dels Estats Units i de l'Àfrica del Sud i tenien com a objectiu comú evidenciar aspectes relatius al consum alimentari a partir de la mesura de les concentracions isotòpiques en restes humanes.

La primera proposta en aquesta línia fou realitzada per J. C. Vogel i Nikolaas van der Merwe l'any 1977. Es tracta d'un estudi centrat en l'adopció i en els inicis del consum de blat de

moro en diverses regions del territori nord-americà. El treball té els seus orígens en una proposta que anteriorment havia efectuat Robert Hall, l'any 1967. Aquest autor, juntament amb Bender (1968), observen que les datacions realitzades de determinades espècies de plantes com el blat de moro donaven cronologies més recents que les esperades en determinats contextos arqueològics. Això es produeix just en el moment que es descobreix un segon tipus de metabolisme fotosintètic per a les plantes anomenades  $C_4$  (HATCH I SLACK, 1966). Aquestes plantes mostren diferències en el fraccionament isotòpic del carboni, que donen com a resultat quantitats més altes de  $C^{14}$  i de  $C^{13}$ . A partir d'aquestes consideracions, Robert Hall proposa que si es documenten aquestes diferències en les plantes s'haurien de poder reconèixer també en els teixits de les persones que consumeixen aquestes espècies. D'aquesta manera, l'anàlisi de la relació dels isòtops estables del carboni  $C^{13}/C^{12}$  en restes humanes podria ser emprat com a marcador de la importància del consum de blat de moro en les respectives dietes (ROBERT HALL, 1967: 177-179). Basant-se en aquesta relació i a partir de l'anàlisi de mostres de les restes d'individus datats entre el III mil·lenni a. de la n. e. i el 1300 de la n. e., Vogel i Van der Merwe documenten un canvi gradual en les concentracions isotòpiques del carboni. Els valors  $\delta C^{13}$  presenten una elevada variabilitat, amb valors de  $-21,9\%$  per als períodes més antics i de  $-9,1\%$  per als períodes més recents. Aquests valors els serveixen per a confirmar la introducció i dependència alimentària dels recursos vegetals tipus  $C_4$  en consonància amb l'expansió del cultiu del blat de moro als territoris nord-americans (VOGEL I VAN DER MERWE, 1977; VAN DER MERWE I VOGEL, 1978).

També en aquesta línia de recerca, Vogel [*et al.*] (1978) realitzaren una sèrie de treballs on es relacionaven les pautes alimentàries de les diferents poblacions prehistòriques a l'Àfrica del Sud amb els ecosistemes predominants. Les anàlisis es varen centrar sobretot a diferenciar entre poblacions de costa i poblacions d'interior a partir dels valors  $\delta C^{13}$  del col·lagen, partint de la hipòtesi inicial que cada població explotava i consumia els recursos disponibles a l'entorn més immediat. Schoeninger [*et al.*] (1983) i Schwarcz [*et al.*] (1985) amplien posteriorment

aquesta línia de recerca mesurant les concentracions de nitrogen i comparant-les entre diferents poblacions de costa i interior a Amèrica i Europa. La correlació establerta entre recursos disponibles en un medi determinat i recursos consumits serveix a Nikolaas van der Merwe (1982) per a identificar pautes de consum diferencials d'acord amb el lloc de procedència de les persones d'una mateixa comunitat o població. Els resultats obtinguts a partir de l'anàlisi de les restes de l'esquelet d'un home adult recuperat al jaciment de Kgopolwe 3 (Transvaal Lowveld, Àfrica del Sud), que presentava unes pautes d'enterrament diferents a la resta de persones enterrades a l'àrea i interval temporal d'estudi, li permeten evidenciar el seu origen forà, i obre d'aquesta manera la possibilitat d'analitzar, a partir de les anàlisis isotòpiques, les pautes de mobilitat i residència d'individus i poblacions prehistòriques.

A Europa les primeres anàlisis d'isòtops estables en materials arqueològics les va realitzar Henrik Tauber l'any 1981. El treball es basava en l'estudi comparatiu de la dieta de diverses poblacions prehistòriques de Dinamarca, i es registraven diferències significatives entre les mostres corresponents als períodes mesolític i neolític. Mentre que les primeres apuntaven una dieta basada en l'explotació intensiva dels recursos marins, les segones permetien parlar d'una dieta relativament *més terrestre* (TAUBER, 1981: 333) (figura 2).

Paral·lelament a aquests primers estudis es comencen a publicar algunes consideracions des del punt de vista metodològic que seran de gran transcendència per a les mesures d'isòtops estables en restes arqueològiques de tipus orgànic. Cal tenir en compte, en aquest sentit, que fins aquell moment es treballava a partir de les concentracions dels isòtops estables del carboni i del nitrogen i que les mostres s'extreien del col·lagen preservat a la fracció orgànica de les restes òssies humanes, perquè fins llavors es pensava que a la fracció mineral no quedaven fixades les variacions isotòpiques resultat de l'alimentació. D'aquesta manera, les possibilitats d'anàlisi quedaven supeditades a les condicions de preservació del col·lagen, de forma que era impossible el seu desenvolupament en les restes de més antiguitat, on el col·lagen no es conserva íntegrament. Els treballs de Sullivan i Krueger

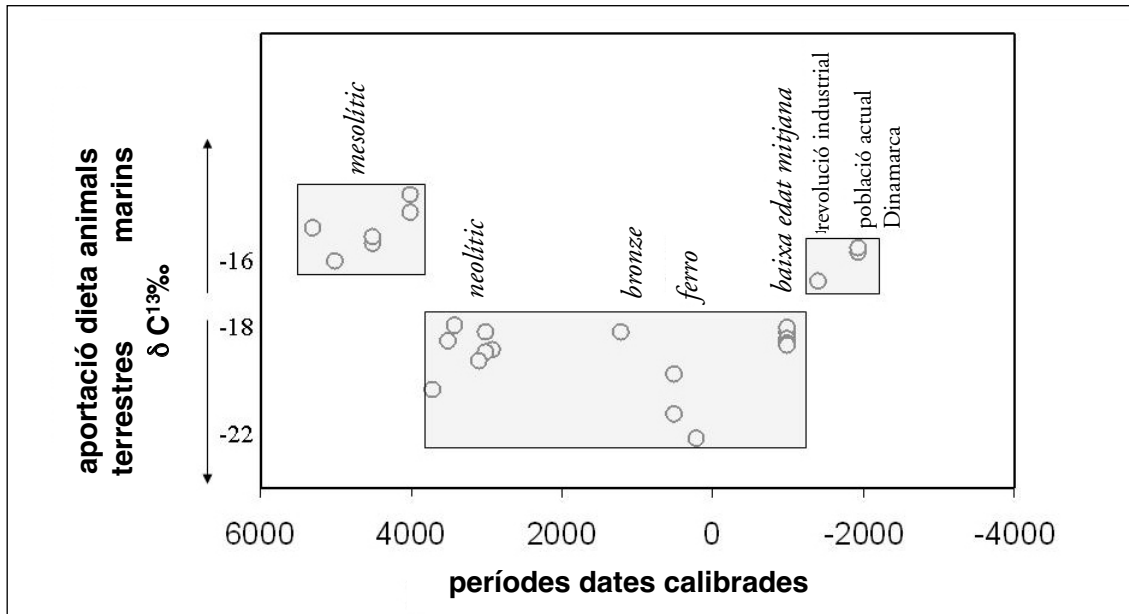


Figura 2. Representació de la variabilitat observada entre les anàlisis realitzades a la població prehistòrica de Dinamarca per H. Tauber el 1981 (a partir de Tauber, 1981: 333, fig. 2).

publicats l'any 1981 amplien en aquesta línia el marge d'aplicació i obren la possibilitat de realitzar l'anàlisi també a partir de la part mineral del teixit ossi i, de forma concreta, a partir del carbonat de la bioapatita, material en el qual les concentracions isotòpiques es conserven durant un període de temps relativament més llarg. Aquests dos autors varen realitzar una anàlisi dels valors  $\delta C^{13}$  en el col·lagen i en la bioapatita d'un conjunt de mostres modernes i arqueològiques extretes de restes òssies humanes i d'animals. El resultat fou que els valors del col·lagen i de la bioapatita es correlacionaven de forma positiva, de manera que quedava validada la lectura dels valors isotòpics del carboni o l'oxigen a la fracció inorgànica de les restes (figura 3).

És cap a finals dels anys setanta i principis dels vuitanta quan s'intensifica també la recerca experimental. Aquesta recerca es desenvolupa principalment a partir de mostres extretes de materials moderns i té com a objectiu general establir, en condicions controlades, referencials per a la interpretació dels valors de les concentracions de carboni i nitrogen resultat de l'anàlisi de mostres arqueològiques. En aquesta línia, són significatius els treballs de Vogel (1980) per a les restes vegetals i els de DeNiro i Epstein (1978a; 1978b, 1981) i DeNiro i Schoeninger (1983) per al col·lagen en animals terrestres.

Amb tot això, a la dècada dels vuitanta s'assisteix a l'extensió generalitzada de les anàlisis d'isòtops estables. Aquestes anàlisis es comencen a realitzar en nombrosos centres de recerca, abordant objectius més ambiciosos i aplicant-se a altres categories de materials arqueològics i no únicament a les restes humanes. La proliferació de projectes d'investigació centrats en aquesta problemàtica també comporta un augment significatiu del nombre de publicacions sobre la matèria. Els objectius d'aquestes aplicacions foren molt diversos. Predominen principalment els estudis orientats al coneixement de les paleodietes humanes, conjuntament amb el desenvolupament d'aplicacions innovadores com per exemple les centrades en l'estudi del procés de deslletament durant la infància (FOGEL [*et al.*], 1989). Es continuen treballant, al mateix temps, problemàtiques relatives a la reconstitució del medi (AMBROSE I DENIRO, 1989a) i a la documentació de les pautes de desplaçament i mobilitat de les persones (ERICSON, 1985).

Aquesta proliferació generalitzada d'estudis i publicacions en aquest àmbit de recerca, les noves aportacions i l'ampliació de les anàlisis d'isòtops estables a més categories de materials arqueològics comporta paral·lelament una autèntica revisió metodològica (DENIRO, 1987: 183). Cal tenir en compte en aquest sentit, tal

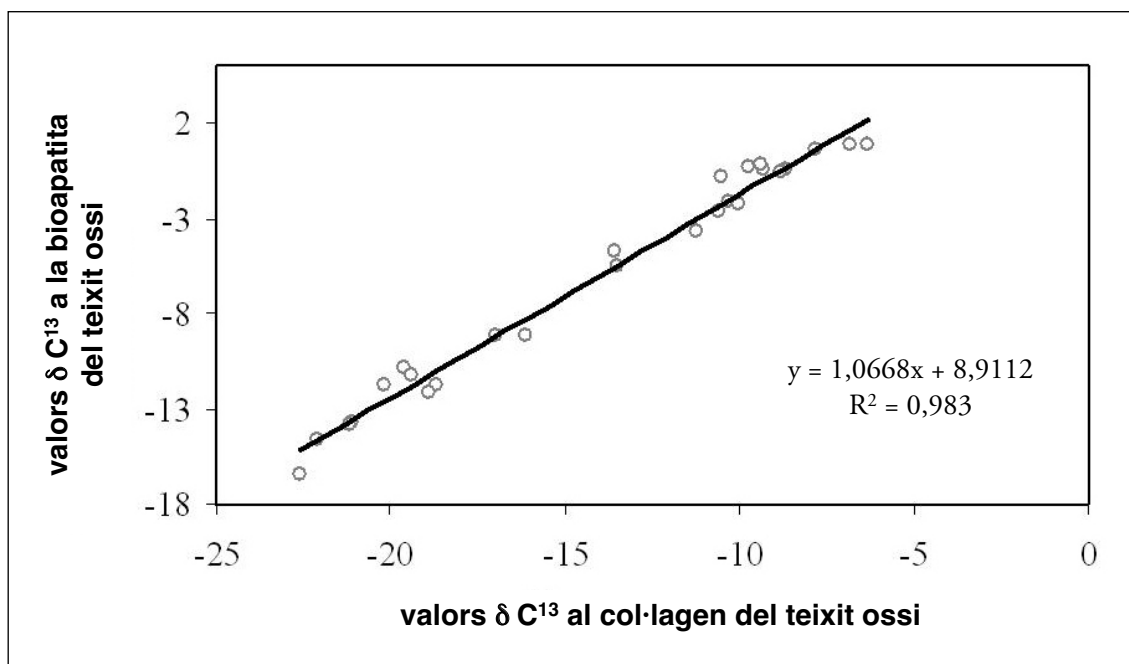


Figura 3. Representació de la correlació lineal que demostraren Sullivan i Krueger entre els valors δC<sup>13</sup> del col·lagen i la bioapatita de restes òssies (a partir de la Sullivan i Krueger, 1981: 334).

com s'ha esmentat anteriorment, que durant la dècada dels vuitanta la majoria d'estudis, en estar supeditats a la manca de treballs experimentals que permetessin avaluar el grau de representativitat de les mostres, quedaven limitats des del punt de vista interpretatiu. És significatiu en aquesta línia el treball de J. C. Sealy i J. van der Merwe (1988) d'un conjunt de mostres d'individus de l'holocè del sud-oest a l'Àfrica del sud. Tot i aconseguir resultats que evidenciaven un tipus d'alimentació basada en l'explotació del medi marí, contradient amb això la hipòtesi establerta anteriorment que contemplava el consum majoritari per part d'aquestes persones de plantes tipus C<sub>3</sub> (espècies representatives de l'àrea d'estudi i representades en el registre arqueològic), la interpretació dels autors no podia anar més enllà a causa del fet que es desconeixia en quina mesura els valors de les concentracions isotòpiques obtingudes amb l'anàlisi del col·lagen es correlacionaven amb la quantitat de carboni fixada inicialment a l'aliment ingerit. «It is not yet possible to treat these measurements as fully quantitative, since there is some uncertainty as to the mechanisms of translation of the carbon in food to the carbon in bone collagen.» (SEALY I MERWE, 1988: 89).

Per a molts investigadors i per a moltes investigadores, però, el punt d'inflexió més significatiu en l'aplicació de les anàlisis d'isòtops estables a la recerca arqueològica es pot situar l'any 1989, coincidint amb la publicació del treball d'Andrew Sillen, Judy Sealy i Nikolass van der Merwe «Chemistry and paleodietary research: No more easy answers». El text fou escrit i presentat durant la inauguració del segon *Advanced Seminar on Paleodiet* celebrat a Ciutat del Cap (Àfrica del Sud) el juny de l'any 1988. En aquesta presentació els autors desenvolupen una autocrítica sobre qüestions d'índole metodològica i apunten, amb una certa *crueltat*, les mancances que els impedeixen avançar en aquest camp de recerca. Remarquen en aquesta línia la necessitat urgent de disposar d'un corpus experimental i d'un coneixement més exhaustiu sobre les particularitats fisicoquímiques i fisiològiques implicades en els processos de fixació de les concentracions isotòpiques en els teixits posteriorment analitzats. A un nivell més concret s'insisteix en aspectes com la interpretació dels valors de nitrogen, la dificultat de ratificar les lectures a partir de les parts inorgàniques de les restes (principalment en el carbonat de la bioapatita d'ossos i dents), el desconeixement

respecte al temps de preservació de les concentracions i respecte als efectes del procés de diagènesi sobre les restes i la possibilitat de corregir-los (SILLEN *[et al.]*, 1989: 506). Aquest treball és summament rellevant, des del punt de vista metodològic, a l'hora d'integrar les anàlisis d'isòtops estables a la recerca arqueològica, no només com a estat de la qüestió i síntesi de la documentació disponible fins al moment, sinó també perquè aporta una crítica constructiva a partir de la qual es presenten noves direccions d'actuació i se suggereixen propostes per tal de superar les limitacions anteriorment esmentades (KATZENBERG i HARRISON, 1997: 267).

Els treballs realitzats i publicats a la dècada següent, la dècada dels noranta, deixen constància del ressò que tingueren aquestes reflexions. Aquests treballs permeten, en part, superar algunes de les dificultats amb què topaven des del punt de vista metodològic i tècnic les anàlisis anteriors. A partir del disseny i la realització de programes experimentals més sistemàtics, s'incideix en les possibilitats d'anàlisi de les fraccions inorgàniques dels teixits i s'avalua de forma específica la manera en què la condició de la mostra (en el que fa referència al seu grau de preservació i als efectes potencials sobre la mateixa mostra del procés de diagènesi) pot alterar o modificar l'obtenció de les mesures isotòpiques sobre les restes orgàniques. A l'augment de programes basats en la recerca experimental cal sumar-hi també durant aquests anys una major preocupació i interès vers les característiques fisiològiques de plantes i animals, que derivarà simultàniament en l'adquisició d'un coneixement més aprofundit sobre aquestes característiques.

Pel que fa referència als treballs orientats a l'obtenció de dades sota control a partir de les quals interpretar els valors isotòpics obtinguts de les restes arqueològiques, destaquen de forma significativa els treballs d'Ambrose i Norr (1993) i de Tieszen i Frage (1993), treballs presentats l'any 1991 a la reunió *Advanced Seminar on Paleodiet*, realitzada a Bad Homburg (Alemanya), lloc on uns anys abans s'havia deixat constància de la seva necessitat. El primer d'aquests treballs se centra en el control dels efectes de la dieta en rates de laboratori alimentades amb diferents plantes  $C_3$  i  $C_4$  i diferents aliments rics en proteïnes, cel·lulosa, lípids i midó. El segon, i repetint el mètode, desenvolupa l'ex-

perimentació a partir de ratolins. Els resultats obtinguts demostren que els diversos teixits de l'organisme representen diferencialment els components de la dieta. Mentre que de forma genèrica els valors  $\delta C^{13}\%$  del col·lagen dels ossos representen la part proteica de la dieta, els valors  $\delta C^{13}\%$  del carbonat de la bioapatita dels ossos són resultat d'una barreja del conjunt de la dieta en proteïnes, carbohidrats i lípids.

Pel que es refereix als treballs orientats a avaluar les possibilitats de recompte dels valors isotòpics de la fracció mineral de les restes, i de forma concreta en els grups/ions carbonat i fosfat de la bioapatita, els treballs principals són els realitzats per Lee-Thorp i Van der Merwe (1991) i el realitzat per O'Neil *[et al.]* (1994). Lee-Thorp i Van der Merwe (1991: 344-345) formalitzen el mètode per a la lectura del carbonat de la bioapatita, mentre que O'Neil *[et al.]* (1994) ho fan per al recompte dels valors d'oxigen del fosfat de la bioapatita. En tots dos treballs es demostra que, a partir del control dels processos implicats en la preparació de la mostra relatiu a l'eliminació dels possibles contaminants que poguessin alterar el recompte dels valors originals de les restes, així com els relatiu al tipus de reaccions químiques adequades per a l'aïllament dels grups/ions estructurals dels quals obtenir la lectura de les concentracions isotòpiques, era possible desenvolupar l'anàlisi amb molta fiabilitat en les fraccions minerals dels teixits ossis.

Per acabar, i amb relació als treballs realitzats amb l'objectiu de conèixer de manera més detallada la relació existent entre les condicions de preservació i alteració de les concentracions isotòpiques i els valors obtinguts amb la seva lectura, destaquen els publicats per Price *[et al.]* (1992) i per Lee-Thorp i Van der Merwe (1991). El primer suposa una aproximació al coneixement general dels processos i agents que poden estar implicats en l'alteració de les restes òssies durant la seva diagènesi, a la vegada que constitueix un recull de les diferents propostes analítiques per al reconeixement d'aquestes alteracions potencials. En el segon, i de forma pionera, es demostra que la bioapatita de l'esmal dentari preserva amb més fidelitat els valors isotòpics originals respecte a la dentina o a les restes òssies.

Tots aquests resultats incideixen en l'increment substancial d'aplicacions de les anàlisis

d'isòtops estables a la recerca arqueològica, que es constata sobretot a mitjan dècada dels anys noranta i que dura pràcticament fins a l'actualitat. Aquesta acceleració s'està traduint darrerament en un augment important del nombre de publicacions realitzades des de la mateixa arqueologia, ampliant-se de manera notable les línies i camps de recerca on a partir de les anàlisis d'isòtops estables s'intenta trobar respostes i generar explicacions pel que fa a situacions i dinàmiques històriques d'índole significativament diversa. Són diversos els aspectes que des del vessant metodològic i tècnic contribueixen últimament a aquest augment, tant quantitativament com qualitativament, de l'aplicació de les anàlisis d'isòtops estables a la investigació arqueològica.

En primer lloc, i per al cas de les restes humanes i de fauna, s'han començat a desenvolupar treballs en els quals es relacionen els diferents estadis de creixement i desenvolupament dels individus estudiats amb els processos diferencials de fraccionament de les concentracions isotòpiques en els diferents teixits i compostos analitzats. D'aquesta manera es fa possible correlacionar els valors obtinguts amb l'edat o estadi concret de creixement i desenvolupament d'una determinada persona o de l'animal. Utilitzant i combinant diferents teixits de l'esquelet d'un mateix exemplar amb dinàmiques de creixement i desenvolupament diferents, es pot seqüenciar temporalment el mostreig amb l'objectiu d'incidir en diferents moments de la seva vida (infància, joventut, maduresa...). Són interessants en aquest sentit els treballs publicats per Sealy *[et al.]* (1995), en els quals s'anàlitza el col·lagen de la dentina de les restes dentàries (que no es remodela un cop formada la dent) i el col·lagen de les restes òssies (en remodelació constant i cíclica durant la vida de l'individu), i s'obtenen d'aquesta manera dues sèries de valors representatives de dos estadis d'edat esquelètica diferents. A partir d'aquí es pot avaluar si les pautes de consum alimentari individual han experimentat variacions o no al llarg del temps. El treball de Mark R. Schurr (1997) se centra també en l'anàlisi dels valors  $\delta N^{15}$  d'individus infantils mesurats sobre el teixit ossi al final de l'etapa de creixement, just abans del moment de fusió de les epífisis. Això li permet relacionar els resultats obtinguts amb un interval relativament concret de la vida d'a-

quests individus (de >4 mesos a <2,5 anys) (SCHURR, 1997: 921-922). A més de seqüenciar temporalment les mostres a partir de la utilització de diferents teixits, cap a finals de la dècada dels noranta es comença a treballar també amb la possibilitat de realitzar anàlisis de forma *interespecifica* o *intraespecifica* a partir d'un únic teixit (BALASSE *[et al.]*, 1999).<sup>1</sup>

En segon lloc, i en consonància amb aquests avenços tècnics, es fa cada vegada més necessari l'establiment de protocols objectius de cara a l'obtenció i al tractament de les mostres. Les revisions efectuades darrerament d'aquest aspecte han permès reduir considerablement els marges d'error en la lectura de les concentracions originals de les mostres derivats de la seva contaminació o alteració potencial (KOCH *[et al.]*, 1997; BOCHERENS, 1997), de manera que és possible establir i corregir, si és necessari, el seu grau de representativitat. L'anàlisi dels efectes del procés de diagènesi sobre les concentracions isotòpiques originals es continua treballant amb intensitat, orientant principalment aquesta línia de recerca cap a l'elaboració de propostes que permetin evidenciar l'alteració de les concentracions isotòpiques originals, principalment per al cas del teixit ossi, la dentina i l'esmalt (MICHEL *[et al.]*, 1995; RINK I SCHWARCZ, 1995; KOHN *[et al.]*, 1998; SPONHEIMER I LEE-THORP, 1999).

El ràpid desenvolupament i avenç de la recerca en general ha fet que alguns dels aspectes metodològics i tècnics tractats en les primeres síntesis i visions generals sobre l'anàlisi d'isòtops estables en arqueologia, publicades a principis dels anys noranta, quedessin obsolets en poc temps (SCHWARCZ, 1991; SCHWARCZ I SCHOENINGER, 1991; TIESZEN, 1991; KOCH *[et al.]*, 1994). En l'actualitat, es poden consultar diferents treballs, alguns més específics que altres, on s'intenta resumir les possibilitats i limitacions

1. Aquests treballs ja havien estat desenvolupats per paleontòlegs o geoquímics a partir de mostres paleontològiques o modernes uns anys abans que s'apliquessin a l'arqueologia, tant a partir de dentina com d'esmalt (KOCH *[et al.]*, 1989; FRICKE I O'NEIL, 1996; STUART-WILLIAMS I SCHWARCZ, 1997; FRICKE *[et al.]*, 1998; KOHN *[et al.]*, 1998). Els primers treballs des de l'arqueologia són desenvolupats per primera vegada per Bocherens *[et al.]* 2001, i Balasse *[et al.]* 2001; 2002, tant en dentina com en esmalt de restes de caprins i bòvids recuperades en jaciments arqueològics.

d'aquestes aplicacions; en aquesta línia destaquen els publicats per Tykot i Young (1996), Larsen (1997), Katzenberg i Harrison (1997), Katzenberg (2000), Larsen (2002), Ambrose i Krigbaum (2003) o Harrison i Katzenberg (2003).

Durant aquests trenta anys, doncs, l'anàlisi d'isòtops estables en arqueologia s'ha anat consolidant des del punt de vista tècnic. Tot i això, i com a aspecte important a considerar, no ha estat fins aquests darrers anys que la figura de l'arqueòleg se n'ha fet partícip. Partint d'una absència pràcticament absoluta durant l'etapa inicial, quan les anàlisis eren desenvolupades principalment des de la geofísica i la geoquímica, no s'ha arribat, fins fa relativament poc, a una situació en la qual els diferents centres i institucions dedicades a la investigació arqueològica comencen a desenvolupar projectes propis sobre aquesta matèria, i són les mateixes persones que treballen en arqueologia les que realitzen tot el procés analític, des de la seva planificació i disseny fins a l'explicació dels resultats obtinguts. Aquest fet està suposant, evidentment, un enriquiment, una ampliació i una diversificació de les problemàtiques històriques abordades amb aquesta metodologia (KOHN, 1999: 335).

## 2. Principals línies de recerca treballades en l'actualitat

La majoria d'anàlisis basades en els isòtops estables aplicades a la recerca en arqueologia s'han desenvolupat en el marc de tres grans línies de treball. En cada un d'aquests camps d'estudi les problemàtiques històriques que de forma concreta s'han treballat són diverses, de manera que engloben marcs temporals i espacials també diversificats. Aquestes línies consisteixen en l'estudi del consum alimentari, l'estudi del medi (reconstitució de les condicions paleoecològiques i paleoclimàtiques) i l'estudi de les pautes de mobilitat.

L'estudi de la paleodieta humana s'efectua principalment a partir de l'anàlisi dels isòtops estables fixats en les mateixes restes humanes. Es parteix del principi que les composicions isotòpiques dels aliments ingerits influeixen de forma manifesta en la composició isotòpica dels teixits que les sintetitzen. Mitjançant l'anàlisi de

les restes humanes serà possible, doncs, determinar la dieta de cada individu. Aquests estudis es basen principalment en el recompte dels valors dels isòtops estables del carboni i el nitrogen ( $\delta C^{13}$  i  $\delta N^{15}$ ). Per al cas del l'anàlisi dels valors  $\delta C^{13}$ , el principi bàsic es fonamenta en el fet que les plantes que consumeixen les persones presenten entre elles uns valors  $\delta C^{13}$  diferencials i que aquestes diferències en els valors  $\delta$  de les plantes es traspassen també als teixits humans quan són consumides (TIESZEN, 1991; SCHOELLER, 1999). Respecte als valors  $\delta N^{15}$ , aquests són representatius principalment del contingut proteínic, de manera que es pot diferenciar l'animal del vegetal segons quina sigui la dieta dels individus analitzats (SCHOENINGER I DENIRO, 1984; AMBROSE I NORR, 1993; TIESZEN I FRAGE, 1993). Amb l'objectiu d'establir les paleodietes del passat, les anàlisis d'isòtops estables s'apliquen també directament sobre les restes de residus alimentaris recuperats a partir de les excavacions arqueològiques, si bé en menor mesura que sobre les restes humanes.

Alguns treballs interessants realitzats i publicats en el marc d'aquesta línia de recerca són per exemple els orientats a documentar quan es varen començar a consumir diversos aliments durant la prehistòria i els canvis experimentats en les pautes de consum (introducció de nous aliments, augment en el consum d'un aliment determinat, noves produccions alimentàries...). Entre els estudis concrets desenvolupats des d'aquesta perspectiva cal citar els publicats per Vogel i Van der Merwe (1977) i Katzenberg [*et al.*] (1995) sobre el blat de moro als territoris americans, l'estudi relatiu a la introducció del mill a l'Europa de l'Est publicat per Murray i Schoeninger (1988) o els orientats a avaluar la importància de les lleguminoses per al consum humà (SCHOENINGER I DENIRO, 1984; DENIRO, 1987) i en el context general de les primeres societats agrícoles a l'àrea del Pròxim Orient (ASAM [*et al.*], 2004; LÖSCH [*et al.*], 2006). La majoria d'estudis s'han dirigit, però, a establir els components majoritaris de la dieta, diferenciant entre recursos marins i terrestres (CHISHOLM [*et al.*], 1982; WALKER I DENIRO, 1986; KEENLEYSIDE [*et al.*], 2006) i dieta herbívora *versus* dieta carnívora, o a la determinació de la variabilitat en la dieta en un període i en un marc geogràfic concret (TAUBER, 1981; LUBELL



[*et al.*], 1994; LILLIE I RICHARDS, 2000; SCHULTING I RICHARDS, 2002). En aquest conjunt d'estudis la majoria de vegades l'èmfasi explicatiu recau en el recurs consumit més que en les persones que duen a terme el consum. Una excepció interessant són alguns estudis més específics centrats, per exemple, en l'anàlisi dels canvis en les pautes de consum dels individus infantils relacionables amb el procés de deslletament (KATZENBERG I PLEIFFER, 1995; SCHURR, 1997; HERRING [*et al.*], 1998; WRIGHT I SCHWARCZ, 1998 i 1999), el consum diferencial entre els membres d'una societat (AMBROSE [*et al.*], 2003; GARCIA [*et al.*], 2004), l'accés diferencial als recursos alimentaris (PRIVAT [*et al.*], 2002) o la distribució, intercanvi i comerç dels productes alimentaris (BENTLEY I KNIPPER, 2005).

Les anàlisis d'isòtops estables utilitzades per a conèixer quines eren les característiques del medi en un espai i en un temps donat es duen a terme a partir de diferents tipus de restes orgàniques, principalment a partir de les restes de fauna. Aquestes anàlisis es desenvolupen sobretot a partir de l'anàlisi dels valors  $\delta O^{18}$ , i es compta amb una àmplia sèrie d'estudis que serveixen de referent, en els quals s'estableix de manera específica la relació entre l'oxigen dels organismes vius i el del medi i clima on viuen. S'utilitzen també normalment amb aquesta finalitat els valors  $\delta C^{13}$  i  $\delta N^{15}$ . La majoria d'aquestes anàlisis han servit per a l'establiment de seqüències climàtiques en l'àmbit continental (RICHARDS I HEDGES, 2003), regional (SMITH [*et al.*], 2002) o local (DRUCKER [*et al.*], 2000), i per a caracteritzar alguns dels factors climàtics tals com la temperatura (STEPHAN, 2000), el grau d'humitat en l'ambient (IACUMIN [*et al.*], 1997) i els règims de pluja (FERRIO, 2005). La restitució de les condicions ecològiques s'ha orientat també bàsicament a l'establiment de seqüències amb l'objectiu d'identificar els moments d'inflexió i canvi en el medi vegetal (AMBROSE I DENIRO, 1989b; LEE-THORP I BEAMONT, 1995; DRUCKER [*et al.*], 2003).

El tercer aspecte, l'estudi de les pautes de mobilitat, es basa en el principi que els valors isotòpics obtinguts en restes humanes i animals són representatius de les característiques geològiques i ambientals de la seva àrea de vida. Les concentracions isotòpiques fixades als organismes a partir dels aliments consumits i l'aigua

beguda permeten reconèixer l'origen espacial o la identitat geogràfica d'individus i poblacions, de manera que és possible establir la seva procedència. Les anàlisis d'isòtops estables es realitzen sobre restes humanes i de fauna mesurant els valors  $\delta C^{13}$ ,  $\delta O^{18}$  i principalment els valors  $\delta Sr^{87}$ . Les problemàtiques majoritàriament treballades en aquesta línia són la determinació de l'origen forà o local de les persones i animals (WHITE [*et al.*], 1994, 1998, 2000), l'estudi del desplaçament de poblacions (PRICE [*et al.*], 1994; 1998; GRUPE [*et al.*], 1997) o la incidència en aspectes relatius a la configuració de l'estructura demogràfica de grups i ètnies a partir de la definició de la procedència dels seus individus (WHITE [*et al.*], 2004).

En l'actualitat, aquestes tres línies de recerca estan ampliant de manera significativa el ventall d'aplicacions, i es diversifiquen, en consonància, els temes i aspectes estudiats en arqueologia que fan servir l'anàlisi d'isòtops estables. Destaquen en aquest sentit tota una sèrie de publicacions relatives a les modalitats de gestió i explotació dels recursos animals i vegetals practicades durant la prehistòria. Per als vegetals les anàlisis s'han centrat sobretot en l'estudi de la producció agrícola a partir de l'avaluació de la disponibilitat d'aigua (ARAUS [*et al.*], 1999a; 1999b; 2001) i de la quantificació de la productivitat agrícola (ARAUS [*et al.*], 2003). Per als animals els aspectes tractats són bàsicament el control dels règims d'alimentació dels ramats (MAKAREWICZ I TUROSS, 2005; LÖSCH [*et al.*], 2006), el control de la reproducció (BALASSE [*et al.*], 2003), el control del procés de deslletament (BALASSE [*et al.*], 1997; 1999; 2000; 2001; BALASSE I TRESSET, 2002), els règims de mobilitat dels ramats tals com el pastoralisme (BALASSE [*et al.*], 2002) o la transhumància (BENTLEY I KNIPPER, 2005) i la domesticació de determinades espècies animals (BALASSE [*et al.*], 2000; NOENYGAARD [*et al.*], 2005; LÖSCH [*et al.*], 2006). Una altra línia de treballs basats en les anàlisis d'isòtops que també comença a despuntar és la dirigida a transcendir el aspectes merament descriptius referits més aviat als àmbits econòmic i ambiental i fer servir els resultats obtinguts amb l'objectiu d'incidir en els aspectes d'indole social i política. Les problemàtiques històriques més estudiades en aquest sentit són la desigualtat social (UBELAEKER [*et al.*], 1995; SHUTKOWSKI [*et*

*al.*], 1998; COX [*et al.*], 2001; PRIVAT [*et al.*], 2002) i les diferències de gènere (AMBROSE [*et al.*], 2003; GARCIA [*et al.*], 2004).

### 3. Integració de l'anàlisi d'isòtops estables a la recerca arqueològica

L'anàlisi d'isòtops estables suposa una nova eina per al coneixement de les societats prehistòriques. Si bé la seva aplicació es veu limitada per alguns dels aspectes metodològics i tècnics anteriorment comentats, obre al mateix temps tota una sèrie de possibilitats difícils de cobrir amb la utilització d'altres instruments analítics. Entre aquestes possibilitats, cal dir que es pot aplicar a la majoria de categories de materials que conformen el registre arqueològic. La mesura directa de la composició isotòpica d'aquests materials també facilita l'anàlisi comparativa entre intervals temporals i contextos espacials diferenciats. Un dels aspectes més avantatjosos, però, i pel que afecta específicament les restes humanes i de fauna, és que permet correlacionar els resultats obtinguts amb les característiques (edat, sexe) i situació (en el cas de les restes humanes) de cada individu. A això cal afegir que l'anàlisi dels isòtops fixats en el teixit ossi, en la dentina i en l'esmalt pot realitzar-se d'acord amb estratègies de mostreig que contemplin i tinguin en compte els seus processos de creixement i desenvolupament, de manera que és possible, per tant, representar seqüències temporals molt concretes de la vida d'aquests individus, i augmentar considerablement d'aquesta forma el marge de resolució temporal d'aquestes categories de materials arqueològics. El fet de poder treballar amb mostres que representen intervals de temps relativament curts obre les portes a l'estudi i anàlisi de la dinàmica social a escales temporals significativament reduïdes (setmanes, mesos), característica interessant a l'hora d'incidir en determinats fenòmens i problemàtiques fins ara difícilment evidenciables (ТΥΚΟТ, 2004: 434).<sup>2</sup> El repàs efectuat ha posat de manifest en aquesta línia que les anàlisis d'isòtops estables, a més de constituir un mitjà per a accedir a les caracte-

rístiques paleoclimàtiques i paleoecològiques del passat, s'estan convertint actualment en un instrument eficaç de cara a l'estudi de la dinàmica social i econòmica de les societats prehistòriques.

Cal tenir present, però, que totes aquestes possibilitats són només abordables quan es tenen en consideració tota una sèrie d'aspectes que van més enllà de l'aprenentatge tècnic. La integració, no pas aplicació, de les anàlisis d'isòtops estables a la investigació arqueològica passa per avaluar en cada cas el grau de representativitat de les restes sotmeses a anàlisi, representativitat que cal avaluar des del punt de vista temporal, espacial i també social, si el que es persegueix és l'obtenció d'informació rellevant i bàsica de cara al coneixement i estudi de les societats. És per això que esdevé imprescindible dissenyar i desenvolupar paral·lelament més programes experimentals amb l'objectiu d'arribar a identificar i controlar els agents i processos que han pogut tenir incidència sobre la conformació i composició física i química de les restes arqueològiques. A partir d'aquí serà possible arribar a establir protocols d'anàlisi que avalin el grau d'objectivitat necessari per a assegurar la significança dels resultats obtinguts. A tot això cal sumar també la necessitat d'aprofundir en l'objectivació dels processos implicats en l'obtenció i tractament de les mostres, així com en el conjunt de passos a seguir en el recompte final de les concentracions isotòpiques. A part del vessant més tècnic, doncs, encara és actualment necessari formular propostes metodològiques d'ampli abast que permetin integrar tota aquesta sèrie d'aspectes, propostes que englobin des de les problemàtiques arqueològiques i històriques sobre les quals es pretén generar coneixement fins a la mateixa descripció i explicació dels resultats.

L'anàlisi del contingut biogeoquímic de les restes arqueològiques comporta, en definitiva, la integració dels aspectes biològics, geològics, físics, químics i arqueològics amb la finalitat d'aconseguir una caracterització més àmplia d'aquestes restes per tal d'obtenir dades i informacions fins aquest moment moltes vegades inaccessibles. No obstant això, l'ampliació de l'esfera metodològica i tècnica, i, amb això, l'ampliació de les capacitats resolutives d'algunes de les categories de materials arqueològics, pot comportar, a mitjà i llarg termini, el que

2. Una bona síntesi genèrica d'aquesta línia d'anàlisi es pot trobar a Balasse [*et al.*] (1999).

considerem que pot ser una limitació al seu desenvolupament: una excessiva compartimentació de la investigació paral·lelament a un allunyament entre anàlisi arqueològica i investigació arqueològica. L'elevat grau d'especialització tècnica que requereixen alguns dels processos implicats en les anàlisis d'isòtops estables pot incrementar la distància entre objecte d'anàlisi i objecte de coneixement. D'aquí sorgeix la necessitat que les anàlisis biogeoquímiques de restes arqueològiques constitueixin una fase més del treball en arqueologia i que no quedin desvinculades de l'operació arqueològica global. D'aquesta manera ens allunyarem del perill de deixar-les relegades a mers requisits tècnics i assegurarem que la seva utilització i aplicació siguin el resultat d'una integració entre necessitats d'investigació i possibilitats tècniques per a la investigació. Això requereix, evidentment, transcendir el procediment tècnic en si, dotant de significat el procés analític a partir de la seva inclusió en propostes metodològiques d'índole més general i no circumscrites de manera específica a les anàlisis físiques i químiques. És convenient, per tant, que el procés d'anàlisi i investigació estigui realitzat amb perspectiva arqueològica i, per tant, des de l'arqueologia.

---

## Abstract

*Stable isotopes analysis in archaeology: archaeological research application and integration*

In the last two decades the analysis of stable isotopes has applied to the archeological research with increasing intensity. This intensity is mainly remarkable in the applications developed from the analysis of organic remains retrieved in the archeological sites and mainly from the study of the relations of abundance among some stable isotopes of four main chemical elements: carbon ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ), oxygen ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ), nitrogen ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) and strontium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ). In the following pages and in a first part, a general presentation is developed of how the analyses of stable isotopes have kept on incorporating into the archeological research from one synthesis where the main aspects and significant points of inflection during the last 30 years are remarked. The main lines of work are presented next in those that this type of analyses making special emphases in those recently open

intervenies. As last, and agreement with the possibilities of the stable isotope analyses in the general frame of the archeological research, the need is remarked of carrying out works integrated and from an eminently archaeological perspective.

---

## Resumen

*Análisis de isótopos estables en arqueología: aplicación e integración en la investigación arqueológica*

En las últimas dos décadas el análisis de isótopos estables se ha aplicado a la investigación arqueológica en general con intensidad creciente. Esta intensidad es principalmente notable en las aplicaciones desarrolladas a partir del análisis de restos orgánicos recuperados en los yacimientos arqueológicos y principalmente a partir del estudio de las relaciones de abundancia entre algunos isótopos estables de cuatro principales elementos químicos: los del carbono ( $\text{C}^{13}/\text{C}^{12}$ ), los del oxígeno ( $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ ), los del nitrógeno ( $\text{N}^{15}/\text{N}^{14}$ ) y los del estroncio ( $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ ). En las siguientes páginas y en una primera parte, se desarrolla una presentación general de cómo los análisis de isótopos estables se han ido incorporando a la investigación arqueológica a partir de una síntesis donde se remarcan los principales aspectos y puntos de inflexión significativos durante los últimos 30 años. Se presentan seguidamente las principales líneas de trabajo en las que interviene este tipo de análisis haciendo especial énfasis en aquellas recientemente abiertas. Por último, y de acuerdo con las posibilidades de los análisis de isótopos estables en el marco general de la investigación arqueológica, se remarca la necesidad de llevar a cabo trabajos integrados y desde una perspectiva eminentemente arqueológica.

---

## Referències bibliogràfiques

- AMBROSE, S.; DENIRO, M. (1989a). «The isotopic ecology of East African mammals». *Oecologia*, 69, p. 395-406.
- AMBROSE, S.; DENIRO, M. (1989b). «Climate and habitat reconstruction using stable carbon and nitrogen isotope ratios of collagen in prehistoric herbivore teeth from Kenya». *Quaternary Research*, 31, p. 407-422.
- 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.; GRUPE, G. (eds). *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Berlin: Springer-Verlag, p. 1-37.

- AMBROSE, S. H.; KRIGBAUM, J. (2003). «Bone chemistry and bioarchaeology». *Journal of Anthropological Archaeology*, 22, p. 193-199.
- AMBROSE, S. H.; BUIKSTRA, J.; KRUEGER, H. W. (2003). «Gender and status differences in diet at Mound 72, Cahokia, revealed by isotopic analysis of bone». *Journal of Anthropological Archaeology*, 22, p. 217-228.
- ARAUS, J.; FEBRERO, A.; CATALÀ, M.; MOLIST, M.; ROMAGOSA, I.; VOLTES, J. (1999a). «Crop water availability from a Pre-pottery Neolithic Site on the Euphrates, determined by the carbon isotope discrimination». Dins: DAMANIA [et al.] (eds.). *The origins of agriculture and crop domestication*. ICARDA, Aleppo, p. 178-190.
- ARAUS, J.; FEBRERO, A.; CATALÀ, M.; MOLIST, M.; VOLTES, J.; ROMAGOSA, I. (1999b). «Crop water availability in early agriculture: evidence from carbon isotope discrimination of seeds from a tenth millennium BP site on the Euphrates». *Global change biology*, 5, p. 201-212.
- ARAUS, J. L.; ARIEL, G.; ROMAGOSA, I.; MOLIST, M. (2001). «Focus: Estimated wheat yields during the emergence of agriculture based on the Carbon discrimination of grains: evidence from a 10th Millennium BP Site on the Euphrates». *Journal of Archaeological Science*, 28, p. 341-350.
- ARAUS, J. L.; SLAFER, G. A.; BUXÓ, R.; ROMAGOSA, I. (2003). «Productivity in prehistoric agriculture: physiological models for the quantification of cereal yields as an alternative to traditional approaches». *Journal of Archaeological Science*, 30, p. 681-693.
- ASAM, T.; BÖSL, C.; GRUPE, G.; LÖSCH, S.; MANHART, H.; MEKOTA, A.M.; PETERS, J. (2004). «Palaeoecosystem reconstruction and the Neolithic transition in temperate climates». Dins: GRUPE, G.; PETERS, J. (eds.). *Conservation policy and current research. Documenta Archaeobiologiae*, 2, p. 97-137.
- BALASSE, M.; BOCHERENS, H.; TRESSET, A.; MARIOTTI, A.; VIGNE, J. D. (1997). «Emergence de la production latière au Néolithique? Contribution de l'analyse isotopique d'ossements de bovins archéologiques». *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes*, 235, p. 1005-1010.
- BALASSE, M.; BOCHERENS, H.; MARIOTTI, A. (1999). «Intra-bone variability of collagen and apatite isotopic composition used as evidence of a change of diet». *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 593-598.
- BALASSE, M.; TRESSET, A.; BOCHERENS, H.; MARIOTTI, A.; VIGNE, J. D. (2000). «Un abattage "post-lactation" sur des bovins domestiques néolithiques. Etude isotopique des restes osseux du site de Bercy (Paris, France)». Dins: BASSANO, G.; GIACOBINI, G.; PERACINO, V. (eds.). *La gestion démographique des animaux à travers le temps – Animal management and demography through the ages* (VI<sup>e</sup> Colloque international de l'association «L'Homme et l'Animal. Société de Recherche Interdisciplinaire». Torí, Itàlia. 16-18 de setembre.). *Anthropozoologica*, 31 p. 39-48.
- BALASSE, M.; BOCHERENS, H.; MARIOTTI, A.; AMBROSE, S. (2001). «Detection of dietary changes by intra-tooth carbon and nitrogen isotopic analysis: an experimental study of dentin collagen of cattle (*Bos taurus*)». *Journal of Archaeological Science*, 28, p. 235-245.
- BALASSE, M.; AMBROSE, S. H.; SMITH, A. B.; PRICE, T. D. (2002). «The Seasonal Mobility Model for Prehistoric Herders in the South-western Cape of South Assessed by Isotopic Analysis of Sheep Tooth Enamel». *Journal of Archaeological Science*, 29, p. 917-932.
- BALASSE, M.; TRESSET, A. (2002). «Early weaning of neolithic domestic cattle (Bercy, France) revealed by intra-tooth variation in nitrogen isotope ratios». *Journal of Archaeological Science*, 29, p. 853-859.
- BALASSE, M.; SMITH, A. B.; AMBROSE, S. H.; LEIGH, S. R. (2003). «Determining Sheep Birth Seasonality by Analysis of Tooth Enamel Oxygen Isotope Ratios: The Late Stone Age Site of Kasteelberg (South Africa)». *Journal of Archaeological Science*, 30, p. 205-215.
- BENDER, M. M. (1968). «Mass spectrometric studies of carbon-13 variations in corn and other grasses». *Radiocarbon*, 10, p. 468-472.
- BENTLEY, A. (2006). «Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review». *Journal of Archaeological Method and Theory*. En premsa.
- BENTLEY, R. A.; KNIPPER, C. (2005). «Transhumance at the early Neolithic settlement at Vaihingen (Germany)». *Antiquity*, 79: <http://www.antiquity.ac.uk/projgall/bentley/index.html>.
- BOCHERENS, H. (1997). «Isotopic biogeochemistry as a marker of Neabderthal diet». *Anthropologischer Anzeiger*, 55, p. 101-120.
- BOCHERENS, H.; MASHKOUR, M.; BILLIOU, D.; PELLÉ, E.; MARIOTTI, A. (2001). «A new approach for studying prehistoric herd management in arid areas: intra-tooth isotopic analyses of archaeological caprine from Iran». *Earth and Planetary Sciences*, 332, p. 67-74.
- CHISHOLM, B.; NELSON, D.; SCHWARCZ, H. (1982). «Stable-carbon isotopes ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets». *Science*, 216, p. 1131-1132.
- CLEMENTZ, M. T.; HOLDEN, P.; KOCH, P. L. (2003). «Are calcium isotopes a reliable monitor of trophic level in marine settings». *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, p. 29-36.
- COPLEY, M. S.; BERSTAN, R.; DUDD, S. N.; STRAKER, S.; PAYNE, S.; EVERSLED, R. P. (2005a). «Dairying in antiquity. I. Evidence from absorbed lipid residues dating to the British Iron Age». *Journal of Archaeological Science*, 32, p. 485-503.
- COPLEY, M. S.; BERSTAN, R.; STRAKER, S.; PAYNE, S.; EVERSLED, R. P. [et al.]. (2005b). «Dairying in antiquity. II. from absorbed lipid residues dating to the British Bronze Age». *Journal of Archaeological Science*, 32, p. 505-521.
- COPLEY, M. S.; BERSTAN, R.; MUKHERJEE, A. J.; DUDD, S. N.; STRAKER, S.; PAYNE, S.; EVERSLED, R. P. [et al.]. (2005c). «Dairying in antiquity. III. from absorbed lipid residues dating to the British Neolithic». *Journal of Archaeological Science*, 32, p. 523-546.
- CORMIE, A.; SCHWARCZ, H.; GRAY, J. (1994a). «Determination of the hydrogen isotopic composition of

- bone collagen and correction for hydrogen exchange». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, p. 365-375.
- CORMIE, A.; SCHWARCZ, H.; GRAY, J. (1994b). «Relation between hydrogen isotopic ratios of bone collagen and rain». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, p. 377-391.
- COX, G.; SEALY, J.; SCHRIRE, C.; MORRIS, A. (2001). «Stable carbon and nitrogen isotopic analyses of the underclass at the colonial Cape of Good Hope in the eighteenth and nineteenth centuries». *World Archaeology*, 33, p. 73-97.
- CRAIG, O.; MULVILLE, J.; PEARSON, M. P.; SOKOL, R. J.; GELSTHORPE, K.; STACEY, R.; COLLINS, M. (2000). «Detecting milk proteins in ancient pots». *Nature*, 408, p. 312-312.
- DENIRO, M. (1987). «Stable Isotopy and Archaeology». *American Scientist*, 75, p. 182-191.
- DENIRO, M. J.; EPSTEIN, S. (1978a). «Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, p. 495-506.
- DENIRO, M. J.; EPSTEIN, S. (1978b). «Carbon isotopic evidence for different feeding patterns in two Hyrax species occupying the same habitat». *Science*, 201, p. 905-906.
- DENIRO, M.; EPSTEIN, S. (1981). «Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, p. 341-345.
- DENIRO, M.; SCHOENINGER, M. (1983). «Stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen: variations within individuals, between sexes, and within populations raised on monotonous diets». *Journal of Archaeological Science*, 10 p. 199-203.
- DRUCKER, D.; BOCHERENS, H.; MARRIOTTI, A. (2000). «Contribution de la biogéochimie isotopique à l'étude de la paléo-biologie des grands mammifères du Pléistocène supérieur: Application aux rennes et aux chevaux magdaléniens et solutréen du sud-ouest de la France». *Mémoire de la Société Préhistorique Française*, 28, p. 13-27.
- DRUCKER, D.; BOCHERENS, H.; BRIDAULT, A.; BILLIQU, D. (2003). «Carbon and nitrogen isotopic composition of red deer (*Cervus elaphus*) collagen as a tool for tracking palaeoenvironmental change during the Late-Glacial and Early Holocene in the northern Jura (France)». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 195, p. 375-388.
- DUDD, S. N.; EVERSLED, R. P. (1998). «Direct demonstration of milk as an element of archaeological economies». *Science*, 282, p. 1.478-1.481.
- DUDD, S.; EVERSLED, R. P.; GIBSON, A. M. (1999). «Evidence for varying patterns of exploitation of animal products in different prehistoric pottery traditions based on lipids preserved in surface and absorbed residues». *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 1473-1482.
- ERICSON, J. E. (1985). «Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology». *Journal of Human Evolution*, 14, p. 503-514.
- FERRIO, J. P. (2005). *Reconstruction of climatic and crop conditions in the past based on the isotope signature of archaeobotanical remains*. Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida. Tesi doctoral, *treball inèdit*.
- FOGEL, M. L.; TURROSS, N.; OWSLEY, D. (1989). «Nitrogen Isotope Tracers of Human lactation in Modern and Archaeological Populations». *Annual Report of the Director, Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington, 1988-1989*. Washington, DC., p. 111-116.
- FRICKE, H. C.; O'NEIL, J. R. (1996). «Inter-and intra-tooth variation in the oxygen isotope composition of mammalian tooth enamel phosphate: implications for palaeoclimatological and palaeobiological research». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 126, p. 91-99.
- FRICKE, H. D.; CLYDE, W. C.; O'NEIL, J. R.; GINGERICH, P. D. (1998). «Intra-tooth variations in  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\text{PO}_4$ ) of mammalian tooth enamel as a record of seasonal variations in continental climate variables». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62, p. 1839-1850.
- GARCIA, E.; SUBIRÀ, M. E.; 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.
- GRUPE, G.; PRICE, T. D.; SCHRÖTER, P.; SÖLLER, F.; JOHNSON, C. M.; BEARD, B. L. (1997). «Mobility of Bell Baker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: a study of southern Bavarian skeletal remains». *Applied Geochemistry*, 12, p. 517-525.
- HATCH, M.; SLACK, C. (1966). «Photosynthesis by sugarcane leaves. A new carbonxylation reaction and the pathway of sugar formation». *Biochem. J.*, 101, p. 103-111.
- HALL, R. (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.
- HERRING, D.; SAUNDERS, S.; KATZENBERG, M. (1998). «Investigating the weaning process in past populations». *American Journal of Physical Anthropology*, 105, p. 425-439.
- IACUMIN, P.; BOCHERENS, H.; DELGADO HUERTAS, A.; MARIOTTI, A.; LONGINELLI, A. (1997). «A stable isotope study of fossil mammal remains from the Paglicci cave, southern Italy. N and C as palaeoenvironmental indicators». *Earth and Planetary Science Letters*, 148, p. 349-357.
- KATZENBERG, M. A. (2000). «Stable isotope analysis: A tool for studying past diet, demography, and life history». Dins: KATZENBERG, M. A.; SAUNDERS, S. R. (eds.). *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. New York: Wiley-Liss, p. 305-327.
- KATZENBERG, M. A.; PLEIFFER, S. (1995). «Nitrogen isotope evidence for weaning age in a nineteenth century

- Canadian skeletal sample». Dins: GRAUER, A. L. (ed.). *Bodies of evidence*. New York: John Wiley, p. 221-235.
- KATZENBERG, M. A.; SCHWARCZ, H. P.; KNYF, M.; MELBYE, F. (1995). «Stable isotope evidence for maize horticulture and paleodiet in southern Ontario, Canada». *American Antiquity*, 60, p. 335-350.
- KATZENBERG, M. A.; HARRISON, R. G. (1997). «What's in a Bone? Recent Advances in Archaeological Bone Chemistry». *Journal of Archaeological Research*, vol. 5, núm. 3, p. 265-293.
- KEENLEYSIDE, A.; SCHWARCZ, H.; PANAYOTOVA, K. (2006). «Stable isotopic evidence of diet in a Greek colonial population from the Black Sea». *Journal of Archaeological Science*, 33, p. 1205-1215.
- KOCH, P. L.; FISHER, D. C.; DETTMAN, D. (1989). «Oxygen isotope variation in the tusks of extinct proboscideans: A measure of season of death and seasonality». *Geology*, 17, p. 515-519.
- KOCH, P.; FOGEL, M. L.; TUROSS, N. (1994). «Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes». Dins: LAJTHA, K.; MICHENER, B. (eds.). *Methods in Ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Press, p.63-92.
- KOCH, P.; TUROSS, N.; FOGEL, M. L. (1997). «The Effects of Samples Treatment and Diagenesis on the Isotopic Integrity of Carbonate in Biogenic Hydroxylapatite». *Journal of Archaeological Science*, 24, p. 417-429.
- KOHN, M. J. (1999). «Biochemistry enhanced: you are what you eat». *Science*, 283, p. 335-336.
- KOHN, M. J.; SCHOENINGER, M. J.; VALLEY, J. W. (1998). «Variability in oxygen isotope compositions of herbivore teeth: reflections of seasonality or developmental physiology?». *Chemical Geology*, 152, p. 97-112.
- LARSEN, C. S. (1997). *Bioarchaeology: Interpreting Behavior From the Human Skeleton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LARSEN, C. S. (2002). «Bioarchaeology: The Lives and Lifestyles of Past People». *Journal of Archaeological Research*, vol. 10, p. 119-166
- LEE-THORP, J. A.; VAN DER MERWE, N. J. (1991). «Aspects of the Chemistry of Modern and Fossil Biological Apatites». *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 343-354.
- LEE-THORP, J.; BEAMONT, P. B. (1995). «Vegetation and seasonality shifts during the Late Quaternary deduced from  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios of grazers at Equus Cave, South Africa». *Quaternary Research*, 43, p. 426-432.
- LILLIE, M.; RICHARDS, M. (2000). «Stable isotope analysis and dental evidence of diets the Mesolithic-Neolithic transition in Ukraine». *Journal of Archaeological Science*, 27, p. 965-972.
- LÖSCH, S.; GRUPE, G.; PETERS, J. (2006). «Stable isotopes and dietary adaptations in humans and animals at pre-pottery neolithic Nevalı Çori, Southeast Anatolia». *American Journal of Physical Anthropology*. En premsa.
- LUBELL, D.; JACKES, M.; SCHWARCZ, H.; KNYF, M.; MEIKLOJOHN, C. (1994). «The mesolithic-neolithic transition in Portugal: isotopic and dental evidence of diet». *Journal of Archaeological Science*, 21, p. 201-216.
- LULL, V. (1983). *La «cultura» del Argar. Un modelo para el estudio de las formaciones economico-sociales*. Madrid: Ed. Akal/Universitaria.
- 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.
- MAKAREWICZ, C.; TUROSS, N. (2005). «Foddering by mongolian pastoralists is recorded in the stable carbon ( $\text{d}^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\text{d}^{15}\text{N}$ ) isotopes of caprine dental collagen». *Journal of Archaeological Science*, 33, p. 862-870.
- MÁRQUEZ-GRANT, N.; FULLER, B. T.; RICHARDS, M. P. (2003). «Análisis preliminar de patrones de dieta en restos humanos de la Isla de Ibiza a partir del contenido de isótopos estables de carbono, nitrógeno y azufre». Dins: ALUJA, M. P.; MALGOSA, A.; NOGUÉS, R. M. (eds.). *Antropología y Biodiversidad*. Edicions Bellaterra, p. 352-359.
- MICHEL, V.; ILDEFONSE, P.; MORIN, G. (1995). «Chemical and structural changes in *Cervus elaphus* tooth enamels during fossilization (Lazaret cave): a combined IR and XRD Rietveld analysis». *Applied Geochemistry*, 10, p. 145-159.
- MURRAY; SCHOENINGER. (1988). «Diet, status, and complex social structure in Iron age central Europe: some contributions of bone chemistry». Dins: GIBSON, B.; GESELOWITZ, M. (eds.). *Tribes and polity in late prehistoric Europe*. New York: Plenum Press, p. 155-176.
- NOE-NYGAARD, N.; PRICE, T.; HEDE, S. (2005). «Diet of aurochs and early cattle in southern Scandinavia: evidence from  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  stable isotopes». *Journal of Archaeological Science*, 32, p. 855-871.
- O'NEIL, J. R.; ROE, L. J.; REINHARD, E.; BLAKE, R. E. (1994). «A rapid and precise method of oxygen isotope analysis of biogenic phosphate». *Isr. J. Earth Sci.*, 43, p. 203-212
- POLL, S.; WAGENSTALLER, J.; SCHWEISSING, M.; VON DEN DRIESCH, A.; GRUPE, G.; PETERS, J. (2005). «Sr isotopes in horn cores provide information on Early modern cattle trade». *Archaeofauna*, 14, p. 243-251.
- PRICE, T. D.; BLITZ, J.; BURTON, J. H.; EZZO, J. A. (1992). «Diagenesis in prehistoric bone: Problems and solutions». *Journal of Archaeological Science*, 19, p. 413-429.
- PRICE, T. D.; GRUPE, G.; SCHROTER, P. (1994). «Reconstruction of migrations patterns in the Bell Beaker period by stable strontium isotope analysis». *Applied Geochemistry*, 9, p. 413-417.
- PRICE, T. D.; GRUPE, G.; SCHROTER, P. (1998). «Migration in the Bell Beaker period of central Europe». *Antiquity*, 72, p. 405-411.
- PRIVAT, K. L.; O'CONNELL, T. C.; RICHARDS, M. P. (2002). «Stable Isotope Analysis of Human and Faunal Remains from the Anglo-Saxon Cemetery of Berinsfield, Oxfordshire: Dietary and Social Implications.» *Journal of Archaeological Science*, 29, p. 779-790.

- RICHARDS, M.; HEDGES, R. (2003). «Variations in bone collagen  $d^{13}C$  and  $d^{15}N$  values of fauna from north-west Europe over the last 40000 years». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193, p. 261-267.
- RICHARDS, M. P.; FULLER, B. F.; SPONHEIMER, M.; ROBINSON, T.; AYLIFFE, L. (2003). «Sulphur isotopes in Palaeodietary studies: a review and results from a controlled feeding experiment». *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, p. 37-45.
- RINK, W. J.; SCHWARCZ, H. P. (1995). «Test for diagenesis in tooth enamel: ESR dating signals and carbonate contents». *Journal of Archaeological Science*, 22, p. 251-255.
- SCHOELLER, D. A. (1999). «Isotope fractionation: Why aren't we what we eat?». *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 667-673.
- SCHOENIGER, M. J.; DENIRO, M. J. (1983). «Reply to: Carbon isotope ratios of apatite from fossil bone cannot be used to reconstruct diets of animals». *Nature*, 301, p. 177-178.
- SCHOENIGER, M. J.; DENIRO, M. J.; TAUBER, H. (1983). «Stable isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric diet». *Science*, 220, p. 1381-1383.
- SCHOENIGER, M. J.; DENIRO, M. J. (1984). «Nitrogen and carbon isotopes composition of bone collagen from marine and terrestrial animals». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, p. 625-639.
- SCHULTING, R. J.; RICHARDS, M. P. (2002). «Dogs, ducks, deer and diet: new stable isotope evidence on early mesolithic dogs from the Vale of Pickering, North-east England». *Journal of Archaeological Science*, 29, p. 327-333.
- SCHURR, M. R. (1997). «Stable nitrogen isotopes as evidence for the age of weaning at Angel Site: A comparison of isotopic and demographic measures of weaning age». *Journal of Archaeological Science*, 24, p. 919-927.
- SCHUTKOWSKI, H.; HERRMANN, B.; WIEDEMAN, F.; BOCHERENS, H.; GRUPE, G. (1998). «Diet, status, and decompositions at Weinagrtten: Trace element and isotope analysis on early medieval skeletal material». *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 675-685.
- SCHWARCZ, H. P.; MELBYE, J.; KATZENBERG, M.; KNYF, M. (1985). «Stable isotopes in human skeletons of southern Ontario; reconstructing paleodiet». *Journal of Archaeological Science*, 8, p. 391-397.
- SCHWARCZ, H. P. (1991). «Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies». *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 261-275.
- SCHWARCZ, H. P.; SCHOENIGER, M. J. (1991). «Stable isotope analyses in human nutritional ecology». *Yearbook of Physical Anthropology*, 34, p. 283-322.
- SCHWEISSING, M. M.; GRUPE, G. (2003). «Tracing migration events in man and cattle by stable strontium isotope analysis of appositionally grown mineralized tissue». *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, p. 96-103.
- SEALY, J. C.; VAN DER MERWE, N. J. (1988). «Social, spatial and chronological patterning in marine food use as determined by  $^{13}C$  measurements of Holocene human skeletons from the south-western Cape, South Africa». *World Archaeology*, 20, p. 87-102.
- SEALY, J. C.; ARMSTRONG, R.; SCHRIRE, C. (1995). «Beyond lifetime averages: tracing life histories through isotopic analysis of different calcified tissues from archaeological human skeletons». *Antiquity*, 69, p. 290-300.
- SHARP, Z.; ATUDOREI, V.; PANARELLO, H.; FERNÁNDEZ, J.; DOUTHITT, C. (2003). «Hydrogen isotope systematics of hair: archaeological and forensic applications». *Journal of Archaeological Science*, 30, p. 1709-1716.
- SILLEN, A.; SEALY, J. C.; VAN DER MERWE, N. (1989). «Chemistry and paleodietary research: No more easy answers». *American Antiquity*, 54, p. 504-512.
- SMITH, J. M.; LEE-THORP, J. A.; SEALY, J. C. (2002). «Stable carbon and oxygen isotopic evidence for late Pleistocene to middle Holocene climatic fluctuations in the interior of southern Africa». *Journal of Quaternary Science*, 17, p. 683-695.
- SPONHEIMER, M.; LEE-THORP, J. A. (1999). «Alteration of enamel carbonate environments during fossilization». *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 143-150.
- STEPHAN, E. (2000). «Oxygen isotope analysis of animal bone phosphate: method refinement, influence of consolidants, and reconstruction of palaeotemperatures for Holocene sites». *Journal of Archaeological Science*, 27, p. 523-535.
- STUART-WILLIAMS, H. L.; SCHWARCZ, H. P. (1997). «Oxygen isotopic determination of climatic variation using phosphate from beaver bone, tooth enamel, and dentine». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, p. 2539-2550.
- SULLIVAN, C. H.; KRUEGER, H. W. (1981). «Carbon isotope analysis in separate chemical phases in modern and fossil bone». *Nature*, 292, p. 333-335.
- 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 on the isotopic composition of respiratory  $CO_2$ , bone collagen, bioapatite and soft tissues». Dins: LAMBERT, J. B.; GRUPE, G. (eds). *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Berlin: Springer-Verlag, p. 121-155.
- TORNERO, C. (2006). *Arqueozoologia i isòtops estables. Aplicació de l'anàlisi d'isòtops estables a les restes de fauna recuperades a tell Halula (Vall mitja de l'Eufrates, Síria). Estudi dels valors  $\%^{13}C$  i  $\%^{18}O$  al  $CO_3$  de la bioapatita de l'esmalt de restes dentàries de gasela (*Gazellas subgutturosa sub.*) entre el 7800 -7000 cal ANE*. Treball de recerca de tercer cicle. Departament de Prehistòria. Universitat Autònoma de Barcelona. Treball inèdit.
- TYKOT, R. H. (2004). «Stable isotopes and diet: You are what you eat». Dins: MARTINI, M.; MILAZZO, M.;

- PIACENTINI, M. (eds.). *Proceedings of the International School of Physics «Enrico Fermi», Course CLIV*. Amsterdam: IOS Press, p. 433-444.
- TYKOT; YOUNG (1996). «Archaeological applications of inductively coupled plasma-mass spectrometry». Dins: ORNA, M. V. (ed.). *Archaeological chemistry. Organic, inorganic and biochemical analysis*. Capítol 10, p. 116-130.
- UBELAKER, D. H.; KATZENBERG, M. A.; DOYON, L. G. (1995). «Status and diet in precontact highland Ecuador». *American Journal of Physical Anthropology*, 97, p. 403-411.
- VAN DER MERWE, N. (1982). «Carbon isotopes, Photosynthesis and Archaeology». *American Scientist*, 70, p. 596-606.
- VAN DER MERWE, N. J.; VOGEL, J. C. (1978). «<sup>13</sup>C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in Woodland North America». *Nature*, 276, p. 815-816.
- VOGEL, J. C. (1980). *Fractionation of the carbon isotopes during photosynthesis*. Berlin: Springer-Verlag.
- 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.
- VOGEL, J.; FULS, A.; ELLIS, R. (1978). «The geographical distribution of Kranz species in southern Africa». *South African Journal of Science*, 75, p. 209-215.
- WALKER, P.; DENIRO, M. (1986). «Stable nitrogen and carbon isotope ratios in bone collagen as indices of prehistoric dietary dependence on marine and terrestrial resources in southern California». *American Journal of Physical Anthropology*, 71, p. 51-61.
- WHITE, C. D.; SPENCE, M.; STUART-WILLIAMS, H.; SCHWARCZ, H. (1994). «Ethnicity and stable isotopes at Teotihuacan: A preliminary report». *Fourth Advanced Seminar on Paleodiet*. Banff, Alberta.
- WHITE, C. D.; SPENCE, M. W.; STUART-WILLIAMS, H.; SCHWARCZ, H. (1998). «Oxygen isotopes and the identification of geographical origins: The valley of Oaxaca versus the Valley of Mexico». *Journal of Archaeological Science*, 25, p. 643-655.
- WHITE, C. D.; SPENCE, M. W.; LONGSTAFFE, F. J.; LAW, K. R. (2000). «Testing the nature of Teotihuacan imperialism at Kaminaljuyú using phosphate oxygen-isotope ratios». *Journal of Anthropological Research*, 56, p. 535-558.
- WHITE, C. D.; SPENCE, M. W.; LONGSTAFFE, F. J.; LAW, K. R. (2004). «Demography and ethnic continuity in the Tlailotlacan enclave of Teotihuacan: the evidence from stable oxygen isotopes». *Journal of Anthropological Archaeology*, 23, p. 385-403.
- WRIGHT, L.; SCHWARCZ, H. (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.
- WRIGHT, L.; SCHWARCZ, H. (1999). «Correspondance between stable carbon, oxygen and nitrogen isotopes in human tooth enamel and dentine: Infant diets and weaning at Kaminaljuyú». *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 1159-1170.

Carles TORNERO és becari FPI del Departament de Prehistòria de la Universitat Autònoma de Barcelona. Desenvolupa la seva recerca entorn de l'aplicació de l'anàlisi d'isòtops estables en arqueozoologia i en relació amb l'estudi del fenomen històric relatiu a la *Revolució neolítica* a l'àrea del Pròxim Orient i el nord-est peninsular.

Maria SAÑA és professora titular del Departament de Prehistòria de la Universitat Autònoma de Barcelona. Especialista en arqueozoologia, desenvolupa el seu treball d'investigació en el marc de les primeres societats agrícoles i ramaders de la Mediterrània.