

ISÓTOPOS EN LA PREHISTORIA Y ARQUEOLOGÍA VALENCIANAS



DOMINGO C. SALAZAR-GARCÍA*, VERÓNICA SILVA-PINTO**

INTRODUCCIÓN

Desde su primera aplicación en Arqueología y Prehistoria en la década de 1970, los análisis isotópicos se han desarrollado rápidamente durante las últimas décadas y se han convertido en una herramienta crucial en la investigación arqueológica. Esto ha ocurrido gracias a su gran versatilidad, los avances y refinamientos en la metodología y, en especial, por la reducción significativa de los costes de análisis, de la cantidad de material requerido, del grado de invasión en el muestreo del material y de los tiempos de retorno de resultados. Todos estos factores han contribuido sin duda a que actualmente las caracterizaciones isotópicas de los registros arqueológicos sean una aproximación rutinaria para abordar e inferir diferentes aspectos sobre modos de vida, estrategias de subsistencia y prácticas culturales de las sociedades pasadas (Lee-Thorp 2008; Makiarewicz y Sealy 2015; Salazar-García 2015).

De hecho, hoy en día ya no se pueden entender ni la Arqueología ni la Prehistoria sin considerar las analíticas biomoleculares como una parte importante de las mismas. No hace falta más que acudir

a las revistas internacionales de estos campos del saber para comprobar que estudios de isótopos y de ADN antiguo copan una parte importante de ellas. El desarrollo de un sinfín de métodos del mundo de las ciencias experimentales y su aplicación en los campos de la Prehistoria y la Arqueología ocurridos durante estas últimas décadas ha supuesto un cambio de rumbo en nuestro entorno académico. Sin ir más lejos, hoy en día no se deberían realizar proyectos amplios de subsistencia o territorialidad sin incluir las analíticas isotópicas en ellos; de hacerlo, sería una irresponsabilidad.

También es impensable que a las futuras generaciones de arqueólogas y arqueólogos no se les ofrezcan durante la carrera asignaturas de Arqueología Biomolecular. Sin unas bases de conocimiento sobre las que poder a lo largo de su vida académica y profesional contrastar la información de este tipo de analíticas, cada vez más frecuentes, quedarían sin criterio propio y a merced de las interpretaciones que hagan otras investigadoras e investigadores. Desgraciadamente, es esto mismo lo que ocurre en las universidades valencianas. Mientras que los países del mundo anglosajón y algunas universidades

(*) Dpt. of Archaeology, University of Cape Town; Dpt. of Archaeogenetics, Max-Planck Institute for the Science of Human History; Dpto. de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad de País Vasco - Euskal Herriko Unibersitatea; Ikerbaske, Basque Foundation for Science. domingocarlos.salazar@uv.es

(**) Área de Antropología. Museo Nacional de Historia Natural, Santiago de Chile. veronica.silva@mnhn.cl

del entorno castellano parlante lo tienen claro y han apostado por el desarrollo y consolidación en sus propios centros de estas líneas de investigación como ejes del campo de la Arqueología y la Prehistoria, en nuestras universidades lo habitual es que ni siquiera se incluya su enseñanza básica en el currículo de estudios de grado ni posgrado. Esta falta de inversión en el estudio y desarrollo de la Arqueología Biomolecular condena a las y los estudiantes formados en tierras valencianas a ser sujetos de la “colonización” anglosajona y convertirse en meros intermediarios que envían muestras al extranjero para ser analizadas por otras personas. Hay que reaccionar. Sin duda la creación de un grado de Arqueología y Prehistoria en las universidades de nuestra tierra, podría abrir opciones a dejar de estar anclados en el pasado e incluir una formación arqueológica del s. XXI a estudiantes del s. XXI, con la incorporación al currículo universitario del estudio de nuevos paradigmas interpretativos y técnicas analíticas en nuestro campo del saber.

Hemos aprovechado la participación en este número Extra de la revista *Sagvntvm* realizado en homenaje a la profesora Carmen Aranegui para preparar un artículo de revisión sobre análisis isotópicos y sus aplicaciones. Queremos que este manuscrito en homenaje a una muy distinguida arqueóloga valenciana jubilada el pasado año sirva de enlace con las nuevas generaciones y el futuro de la arqueología en nuestro entorno. Así pues, en este artículo presentamos una aproximación introductoria al uso de los análisis de isótopos como una herramienta complementaria e independiente para los estudios arqueológicos y prehistóricos. En este sentido, pretendemos estimular a estudiantes e investigadoras/es en la búsqueda de nuevas aplicaciones de esta técnica en diversos campos y problemáticas de ambas disciplinas, y podemos esperar con ello contribuir a rellenar (al menos parcialmente) esa laguna en la formación de las futuras y los futuros profesionales de la arqueología formados en centros valencianos. Antes de pasar al artículo propiamente dicho, nos gustaría incidir en que no se limitara la lectura al mismo, si no que éste sea tan sólo un primer paso para las lectoras y los lectores en la búsqueda bibliográfica sobre este tipo de analíticas tan útiles para la reconstrucción de las pautas alimentarias y de movilidad territorial en el pasado.

PRINCIPIOS GENERALES

¿Qué son los isótopos? Los isótopos son átomos de un mismo elemento químico que poseen un mismo número de protones pero que difieren en la cantidad de neutrones en su núcleo. Es decir, los distintos isótopos de un mismo elemento tienen un mismo número atómico ($Z =$ número de protones) pero diferente masa atómica ($A =$ número de protones + número de neutrones). Como el orden de los elementos químicos en la tabla periódica depende del número atómico, los distintos isótopos de un mismo elemento ocupan una misma ubicación en dicha tabla. La masa atómica (A) se indica en forma de superíndice en la parte superior izquierda del símbolo del elemento químico. Por ejemplo, los isótopos naturales del carbono ($Z=6$) se designan como ${}^A\text{C}$, siendo A variable según el isótopo del carbono de que se trate: ${}^{12}\text{C}$, ${}^{13}\text{C}$ y ${}^{14}\text{C}$ (fig. 1).

¿Qué tipos de isótopos existen? Isótopos inestables y estables. Ya sea estable o inestable, casi todos los elementos químicos conocidos presentan al menos un isótopo. Aquellos que son inestables se transforman con el paso del tiempo para alcanzar configuraciones nucleares más estables. En estos cambios atómicos los átomos pierden partículas, emitiendo radiación y estabilizándose como resultado de ello. De hecho y sin duda, el isótopo más conocido y usado en Arqueología es uno inestable, el Carbono-14 (${}^{14}\text{C}$), que sirve para datar restos orgánicos de organismos que han muerto durante aproximadamente los últimos 50.000 años. No obstante, en este artículo hablaremos de los otros isótopos, los más desconocidos en nuestro campo, los estables.

Los isótopos estables (ej. ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$, ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$, ${}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$, ${}^2\text{H}/{}^1\text{H}$, ${}^{34}\text{S}/{}^{32}\text{S}$) no se descomponen con el paso del tiempo. Sus proporciones reflejan los procesos y entornos inorgánico-biogénicos de los que participan. Además de estos grupos isotópicos, en Arqueología y Prehistoria se emplean también algunos isótopos de estroncio (${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$), aunque técnicamente el ${}^{87}\text{Sr}$ no es estable si no inestable. Esto es así debido a su origen por descomposición radioactiva, pero en Arqueología se consideran a todos los efectos como estables debido a que este decaimiento radioactivo ocurre a lo largo de muchos millones de años y por tanto no afecta a la escala temporal estudiada por la Prehistoria y Arqueología (Bentley 2006).

Los isótopos con menor número de neutrones (isótopos ligeros) son significativamente más abundantes que los de mayor número de neutrones (isótopos pesados) en la naturaleza. Cuando hablamos de datos isotópicos nos referimos a las medidas de las proporciones de estos isótopos (ligero y pesado, por ejemplo $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) en los distintos materiales que se analizan en un espectrómetro de masas (Isotope-Ratio Mass Spectrometry, IRMS). Ya que habitualmente el ratio isotópico (R) corresponde a un valor decimal muy pequeño, los laboratorios dan los resultados en notación delta (δ) y partes por mil (‰) en relación a un estándar aceptado internacionalmente (fig. 2). Valores positivos de estas medidas indican que la muestra está comparativamente más enriquecida en isótopos pesados que el estándar internacional, mientras que valores negativos muestran que la muestra está empobrecida en relación al estándar internacional.

A pesar de existir distintos isótopos de un mismo elemento, y debido a que poseen de todos modos la misma configuración electrónica, los isótopos estables de un determinado elemento presentan las mismas propiedades químicas. Sin embargo, las diferencias en masa atómica (marcadas por diferencia en número de neutrones) determinan variaciones en sus propiedades físicas relacionadas con la velocidad de reacción y con cómo se establecen los enlaces entre átomos. Los isótopos pesados suelen tener una menor velocidad de reacción en las reacciones químicas y físicas, y establecen enlaces fuertes y tienden a concentrarse en el estado de la materia con enlaces más fuertes

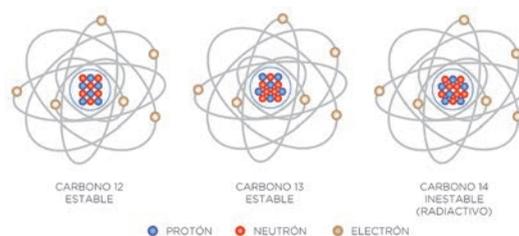


Fig. 1: Isótopos del carbono: ^{12}C (6 protones y 6 neutrones), ^{13}C (6 protones y 7 neutrones) y ^{14}C (6 protones y 8 neutrones).

(sólido > líquido > gaseoso). Precisamente son estas diferencias en las propiedades físicas y en su comportamiento de reacción lo que hace que varíen las proporciones en muchos de estos grupos isotópicos entre un sustrato y un producto, algo conocido como *fraccionamiento isotópico* (Schoeller 1999).

UTILIDAD DE LOS ISÓTOPOS ESTABLES EN ARQUEOLOGÍA Y PREHISTORIA

Tradicionalmente, al no disponer de posibilidades analíticas directas, la investigación arqueológica ha utilizado métodos de análisis indirectos en el registro arqueológico para la reconstrucción de la subsistencia y la movilidad territorial. Estos métodos se basan en el estudio físico de los restos humanos, de fauna, fragmentos de plantas, artefactos, elementos foráneos y otro tipo de pruebas culturales halladas en los

Elemento	Isótopo	Abundancia	Estándar
Carbono	^{12}C	98,89	Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB)
	^{13}C	1,11	
Nitrógeno	^{14}N	99,64	Air Nitrogen N2 [atm.] (AIR)
	^{15}N	0,36	
Azufre	^{32}S	95,02	Canyon Diablo Triolite (CDT)
	^{34}S	4,21	
Oxígeno	^{16}O	99,76	Vienna-Standard Mean Ocean Water (VSMOW)
	^{18}O	0,204	
Hidrógeno	^1H	99,984	Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)
	^2H	0,016	
Estroncio	^{86}Sr	9,87	NIST Standard Reference Material 987 (SMR 987)
	^{87}Sr	7,04	

Fig. 2: Abundancias naturales y estándar para los principales isótopos estables utilizados en Arqueología.

yacimientos arqueológicos, quedando restringida la información potencial a las condiciones de preservación variables de los distintos tipos de materiales (Salazar-García 2015). Un ejemplo clave lo constituyen los recursos vegetales, ya que su menor frecuencia en relación a los restos de animales o su ausencia en el registro arqueológico no significa un menor consumo o que no fuesen consumidos (ej. Power *et al.* 2014; 2015; Salazar-García *et al.* 2013a).

En este contexto, los análisis de isótopos estables abren una posibilidad única para estudiar de forma directa cada uno de los recursos utilizados en el pasado, y además permiten caracterizar las sociedades del pasado tanto desde escalas individuales como poblacionales. Si estos análisis se complementan con dataciones absolutas, adquirimos además resolución y contexto temporal para interpretar los resultados (ej. Richards *et al.* 2003a). De todas formas no debemos caer en el error de pensar que los análisis de isótopos estables u otros análisis bioquímicos puedan dar respuesta por sí mismos a las problemáticas arqueológicas. Idealmente se debe trabajar conjugando el análisis contextual de los sitios arqueológicos, considerando las variables ambientales, y el análisis bioantropológico de los individuos, así como del registro arqueológico en su conjunto.

Los análisis de isótopos estables pueden ser realizados en una gran variedad de materiales como suelos, metales, aguas, plantas, tejidos humanos y de fauna (básicamente, cualquier material que contenga átomos del isótopo que se quiere analizar). Sin embargo, el límite radica muchas veces en conocer apropiadamente el contexto químico y las rutas metabólicas que los átomos siguen, porque sin saber esto los resultados no se podrían contextualizar apropiadamente hasta que se conozcan. En Arqueología y Prehistoria se realizan principalmente sobre restos esqueléticos (huesos y dientes) debido a la mayor preservación de estos materiales y a que se conoce bien la procedencia de sus átomos, aplicándose de forma mayoritaria las relaciones entre cuatro elementos químicos principales (carbono $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, nitrógeno $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, oxígeno $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y estroncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) así como, en menor medida, otros elementos cuya aplicación está aún en fases experimentales (azufre $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, hidrógeno $^2\text{H}/^1\text{H}$ y zinc $^{66}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$). El carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y azufre constituyen el quinteto de la vida y están presentes en todo organismo viviente y en todas

las relaciones y reacciones bioquímicas de los procesos biológicos. No profundizaremos en el zinc en este artículo, pues su aplicación está aún en fases de desarrollo muy preliminares.

La composición de la matriz orgánica del hueso (ca. 33%) está conformada por más de un 90% de colágeno, y la inorgánica (ca. 66%) está conformada principalmente por hidroxiapatita. A su vez, los dientes están formados por el esmalte (casi en su totalidad inorgánico y de hidroxiapatita) y la dentina (con alrededor de un 20% de colágeno). El colágeno óseo y de la dentina son los sustratos preferidos para los análisis de isótopos estables del carbono, nitrógeno y azufre, ya que proporcionan indicadores de calidad comprobados de su integridad isotópica (ratios C:N, %C, %N, %S, rendimiento de colágeno) que sirven para discriminar entre el colágeno bien preservado y el mal preservado (De Niro y Weiner 1988; Nehlich y Richards 2009; Van Klinken 1999). Siendo el colágeno para algunos autores la única fuente de nitrógeno factible de considerar a partir de restos esqueléticos, debido a la diagénesis, entendida como los procesos postdeposicionales que modifican, en especial, las propiedades químicas estructurales del componente inorgánico de los huesos (De Niro 1985; Van Klinken 1999).

Algunas características del colágeno deben ser consideradas cuando se procede a la interpretación de los datos para la reconstrucción de la dieta. Si bien el hueso se renueva constantemente, el metabolismo del colágeno es bastante bajo y disminuye significativamente después del período de crecimiento. Por tanto, los valores de isótopos estables en el colágeno reflejan una dieta promedio entre 5 a 20 años de vida de un individuo antes de su muerte, dependiendo del tipo de hueso analizado (Hedges *et al.* 2007). Además, las proporciones de isótopos estables del colágeno reflejan las señales isotópicas de las principales fuentes de proteínas consumidas en lugar de la de dieta en su conjunto, en especial para el nitrógeno (Ambrose y Norr 1993). Dependiendo de los niveles de proteína en la dieta, el carbono puede derivar de otros macronutrientes dietéticos como azúcares y grasas (Howland *et al.* 2003; Jim *et al.* 2006).

El esmalte dental en los dientes permanentes se forma a través de un proceso de mineralización directa desde la infancia temprana (6 ± 3 meses) hasta la niñez (12 ± 2 años), y, al igual que la dentina, no se regenera. Por tanto sus proporciones isotópicas, y por

ende los resultados obtenidos, corresponden al período de la vida durante el cual se formaron, lo cual varía según la pieza dental utilizada (Silva-Pinto *et al.* 2007). Por ejemplo, el primer molar permanente comienza su formación desde los 3 a 9 meses de edad y completa el desarrollo de la corona alrededor de los 4 años. El segundo molar en cambio se desarrolla cerca de los 3 años y completa el desarrollo de la corona cerca de los 8 años (Ubelaker 1979). Al formarse por mineralización, el esmalte presenta una menor fracción orgánica, siendo menos susceptible a la degradación e intercambio isotópico postdeposicional con el entorno de enterramiento. Sobre el esmalte dental pueden aplicarse análisis de isótopos estables de carbono, estroncio y oxígeno, lo que ha permitido determinar dieta, lugar de origen, pautas de movilidad durante la infancia y los patrones de amamantamiento-destete. Además, se están aplicando con éxito, aunque aún en etapa experimental, análisis de zinc $^{66}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$ ($\delta^{66}\text{Zn}$) que dan información sobre el puesto del individuo analizado en la escala trófica de la cadena alimentaria (Jaouen *et al.* 2016).

Cuando la conservación del material lo permite los análisis de isótopos estables pueden ser realizados en muestras de otros tejidos humanos, como por ejemplo el músculo o la queratina de pelo y uñas. Gracias al alto contenido de queratina (65-95%) en el pelo y las uñas, su análisis requiere una baja cantidad de material y constituye una técnica de muestreo simple y no-invasiva, que además no requiere de complejos procedimientos de pretratamiento y extracción, necesarios por ejemplo para la obtención del colágeno óseo. La queratina además presenta alta resistencia a la degradación y diagénesis (Macko *et al.* 1999), y permite registrar variaciones a corto plazo (semanas, meses y años). Esto ha permitido estudios secuenciales de sucesivos fragmentos de pelos y/o uñas, no sólo con aplicación arqueológica si no también forense (ej. Bowen *et al.* 2009; Sharp *et al.* 2003). En el cabello humano, cada centímetro desde la raíz corresponde aproximadamente a un mes antes de la muerte. En la queratina se realizan rutinariamente análisis de carbono y nitrógeno, y ha sido utilizado con éxito para análisis de azufre, oxígeno e hidrógeno. Esto permite estudiar cambios estacionales en la dieta, movilidad territorial y patrones de migración y/o ocupación, así como episodios de estrés nutricional, a corto plazo (ej. Fuller *et al.* 2005).

Es necesario destacar que las inferencias que involucran comparaciones de resultados deben ser realizadas utilizando un mismo tipo de material, ya que existen diferencias en los valores de un mismo individuo dependiendo del tipo de muestra utilizada. Por ejemplo, el colágeno de hueso presenta valores más enriquecidos con respecto a la queratina del cabello de un mismo individuo de aproximadamente +1,4‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y +0,9‰ en $\delta^{15}\text{N}$ (O'Connell y Hedges 1999; O'Connell *et al.* 2001). Así mismo, se debe evitar el análisis de isótopos estables en materiales cuya composición isotópica no esté clara, como por ejemplo los cálculos dentales (Salazar-García *et al.* 2014a), ya que puede generar graves errores en la interpretación de los resultados (ej. Scott y Poulson 2012).

Con todas estas consideraciones es necesario definir a qué preguntas queremos dar respuesta a la hora de determinar qué materiales queremos muestrear y qué tipo de análisis debemos realizar.

ISÓTOPOS DEL CARBONO Y DEL NITRÓGENO

Los isótopos estables más utilizados para la reconstrucción de las dietas humanas y animales del pasado son el carbono ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$) y el nitrógeno ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$). Su aplicación se basa en el principio de que la composición isotópica de los alimentos consumidos por los animales y los seres humanos está registrada en sus tejidos corporales con un fraccionamiento isotópico predecible (Ambrose 1993; Schoeller 1999).

El carbono en forma de CO_2 atmosférico entra en la biosfera para posteriormente ser fijado mediante fotosíntesis por las plantas. Existen tres vías fotosintéticas: el ciclo de Calvin (C_3), la vía de Hatch-Slack (C_4), y el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) (O'Leary 1981; Smith y Epstein 1971). Cada una de estas vías metaboliza el CO_2 atmosférico de formas radicalmente diferentes, produciendo por tanto diferentes fraccionamientos en los isótopos del carbono (Leatherdale 2013). Las plantas C_3 y C_4 son empobrecidas en ^{13}C en relación con su fuente de carbono inorgánico (CO_2 atmosférico), sin embargo las plantas C_3 son mucho más empobrecidas que las plantas C_4 , con valores medios de $-27,1 \pm 2,0\%$ y $-13,1 \pm 1,2\%$ respectivamente. Por tanto la composición isotópica del carbono refleja principalmente los tipos de plantas y los parámetros ecológicos que forman la base de la

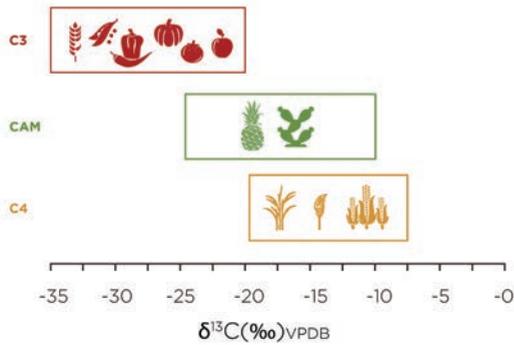


Fig. 3: Rangos $\delta^{13}\text{C}$ de plantas con distintas rutas fotosintéticas (C_3 , CAM, C_4).

cadena alimentaria (Bocherens *et al.* 2000; O'Leary 1988) (fig. 3). En concreto, los isótopos estables del carbono ($\delta^{13}\text{C}$) permiten distinguir el consumo de una dieta terrestre (más empobrecida en ^{13}C) y alimentos marinos (más enriquecidos en ^{13}C) (Chisholm *et al.* 1982). No obstante, hay que tener presente que los recursos de entornos marinos atípicos como los estuarinos, pueden presentar valores menores de $\delta^{13}\text{C}$ que los esperados (Salazar-García *et al.* 2014b). En cualquier caso, los ratios de isótopos estables del carbono también permiten diferenciar entre una dieta basada en plantas C_3 o animales que

las consuman (más empobrecidas en ^{13}C) y otra basada en plantas C_4 o animales que las consuman (más enriquecidas en ^{13}C) (Van der Merwe y Vogel 1978).

Un ejemplo destacado de plantas C_4 lo constituye el maíz. Su incorporación a la dieta humana y animal es una clave inequívoca de la introducción de la agricultura, ya que es una de las pocas plantas C_4 de importancia en el consumo humano en la América prehistórica (Van der Merwe y Vogel 1978; Tykot 2006). El estudio de las señales isotópicas del maíz ha permitido a las/os arqueólogas/os realizar un seguimiento de la propagación e intensificación de la agricultura en todo el continente americano (ej. Gil 2003; Gil *et al.* 2009; Katzenberg *et al.* 1995; Schwarcz *et al.* 1985).

Los isótopos del carbono permiten además discriminar entre dietas marinas y terrestres. En los organismos marinos la principal fuente de carbono es el CO_2 disuelto ($\delta^{13}\text{C}$ de 0‰ superior al $\delta^{13}\text{C}$ atmosférico), por lo que los vertebrados marinos poseen valores de $\delta^{13}\text{C}$ más enriquecidos ($\delta^{13}\text{C}_{\text{medio}} = -12 \pm 1\text{‰}$) que aquellos que presentan una dieta típicamente terrestre ($\delta^{13}\text{C}_{\text{medio}} = -20 \pm 1\text{‰}$) (De Niro y Epstein 1978). Por otra parte, la proporción isotópica de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) en los tejidos de plantas y animales permite evaluar el nivel trófico en la cadena alimentaria en el que los individuos analizados se encuentran, los tipos de plantas consumidas, los comportamientos de amamantamiento y destete, e incluso poder detectar

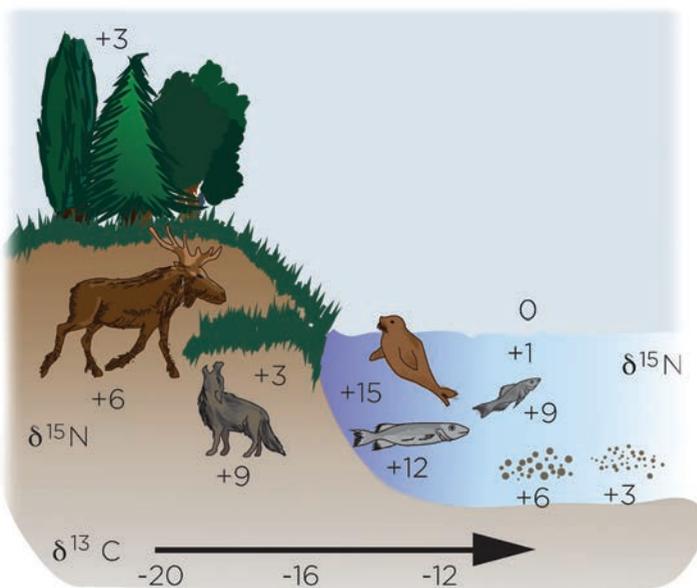


Fig. 4: Cambio en los valores $\delta^{13}\text{C}$ (‰) entre ecosistemas terrestres y marinos, y de valores $\delta^{15}\text{N}$ (‰) entre niveles tróficos (modificado de Salazar-García 2015).

episodios de estrés nutricional. Tradicionalmente se ha considerado que el valor $\delta^{15}\text{N}$ aumenta con cada nivel trófico en torno a un 3-5‰ debido al fraccionamiento isotópico durante el metabolismo y la síntesis de tejidos, es decir, el consumidor tiene valores más altos que la proteína consumida (De Niro y Epstein 1981; Schoeninger y De Niro 1984). No obstante, algunos estudios más recientes sugieren que ese incremento pudiese ser mayor (O'Connell *et al.* 2012). Esto permite que los isótopos estables de nitrógeno sean útiles para detectar la presencia de dietas con un alto nivel trófico como la marina y el consumo de pescados de agua dulce (Schoeninger *et al.* 1983). También ayuda a distinguir las dietas ricas en proteína animal de las dietas basadas en recursos vegetales, entendiendo que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos se relacionan con un mayor consumo de alimentos de origen animal, mientras que los valores más bajos significan mayor consumo de vegetales (Minagawa y Wada 1984) (fig. 4). Esto último es verdad hasta cierto punto, pues a partir de un determinado nivel de consumo de carne animal, y al tener ésta mucha más densidad proteica que los recursos vegetales, se puede enmascarar el consumo de éstos (Fiorenza *et al.* 2015). Teóricamente, las plantas tendrían los valores de $\delta^{15}\text{N}$ más bajos, seguidas de los herbívoros y omnívoros hasta llegar a los carnívoros, que tienen los valores más altos. Teniendo esto en cuenta, es relevante destacar que los organismos de ecosistemas marinos y lacustres son los que generalmente presentan mayores

valores de $\delta^{15}\text{N}$ en comparación con los organismos de ecosistemas terrestres (De Niro y Epstein 1981), en parte porque las cadenas alimentarias tienen más peldaños y, en consecuencia, se produce un mayor número de incrementos de $\delta^{15}\text{N}$ en el ecosistema (Minagawa y Wada 1984) (fig. 5).

El efecto de nivel trófico también se aplica a los niños que consumen leche materna como fuente primaria de alimento, porque el lactante está en cierta medida consumiendo los tejidos de su madre en la forma de la leche materna (Jenkins *et al.* 2001; Metcalfe *et al.* 2010). En el nacimiento los valores $\delta^{15}\text{N}$ son equiparables a los de la madre, ya que reciben a través de la placenta los nutrientes de los alimentos que la madre consume, pero con el amamantamiento se incrementan hasta un 3-5‰ por encima de los de la madre. Más adelante, con el comienzo del destete descienden hasta ocupar el mismo nivel trófico que el resto de la población adulta, por lo que los valores $\delta^{15}\text{N}$ de los niños varían con la edad (Fuller *et al.* 2006). Algo diferente ocurre con los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del infante, que podrían indicar el origen de las proteínas suplementarias que empiezan a introducirse con el destete (Salazar-García *et al.* 2010).

Por otra parte, se ha comprobado que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en humanos son influenciados por el estrés nutricional. La privación de alimentos pone al individuo en un estado de catabolismo proteico a partir de los propios tejidos, y produciendo un enriquecimiento de $\delta^{15}\text{N}$. Esto evidencia que los valores humanos de $\delta^{15}\text{N}$

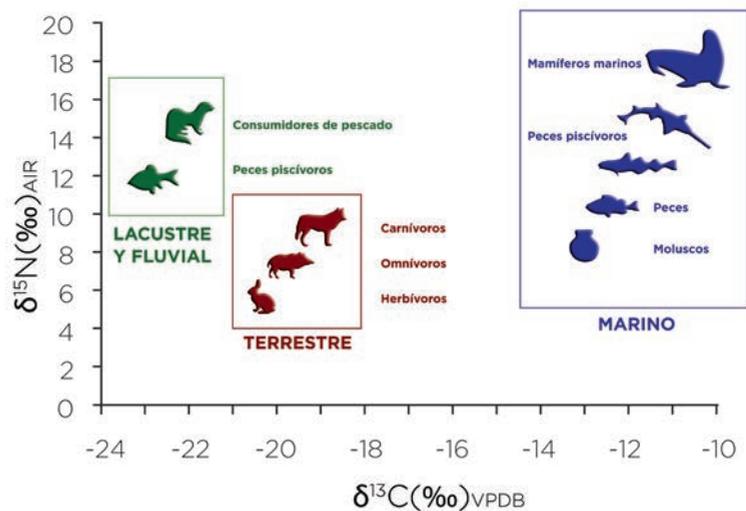


Fig. 5: Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de animales de ecosistemas típicos (lacustre-fluvial, terrestre y marino).

aumentan como resultado del estrés nutricional, algo que debería ser considerado a la hora de interpretar los datos para reconstruir los hábitos alimentarios de los individuos del pasado (Fuller *et al.* 2005).

Otra de las consideraciones que se debe realizar a la hora de reconstruir la dieta en el pasado es que no basta con analizar sólo a los humanos, es necesario incluir también los diferentes recursos alimentarios (animales y plantas), idealmente del mismo lugar geográfico y cronología, ya que cada ecosistema tiene variaciones propias. A su vez, las prácticas culturales de fertilización de los suelos, la irrigación y el uso y alimentación de los animales domésticos, por dar algunos ejemplos, pueden variar en el tiempo y afectar a la composición isotópica de toda la cadena alimentaria (De Niro y Epstein 1981).

ISÓTOPOS DEL AZUFRE

Los análisis de isótopos estables del azufre realizados sobre tejido esquelético y aplicados en el campo de la Arqueología son de momento poco habituales. Además de su uso sobre cabellos humanos (ej. Aufderheide *et al.* 1994), se ha avanzado mucho en la última década en el análisis sobre colágeno óseo (Nehlich 2015), abriendo ello la aplicación potencial a una mayor cantidad de material disponible en el registro arqueológico

global para obtener información tanto alimentaria como de uso del territorio (ej. Nehlich *et al.* 2012; Vika 2009). Es más, la publicación de sus criterios de control de calidad sobre colágeno óseo sustenta metodológicamente la aplicación sobre hueso de este tipo de análisis (Nehlich y Richards 2009). A diferencia de lo que ocurre con el carbono y el nitrógeno, no existe una evidencia clara de enriquecimiento del azufre a lo largo de los peldaños de la cadena trófica (Richards *et al.* 2003b).

El azufre medioambiental de la atmósfera y la biosfera se origina en el azufre marino y terrestre, y se desplaza a través del ciclo del agua, la erosión y los movimientos tectónicos (Newton y Bottrell 2007). Hay una enorme variación natural en el $\delta^{34}\text{S}$ medioambiental, aunque la mayoría de los valores oscilan entre -20‰ y $+30\text{‰}$ (Krouse 1980). La proporción de los distintos isótopos estables del azufre en los tejidos humanos y animales ($\delta^{34}\text{S}$) está relacionada, como la de isótopos del carbono y nitrógeno, con los alimentos consumidos (Nehlich 2015). No obstante, el ratio isotópico de azufre presente en los tejidos de un organismo deriva tanto del azufre orgánico de la dieta como de contribuciones del azufre inorgánico del entorno (McCutchan *et al.* 2003). En este sentido, las fuentes de azufre para las plantas son predominantemente el agua subterránea y la atmósfera. En los organismos superiores, los aminoácidos que contienen átomos de azufre (la cisteína y la

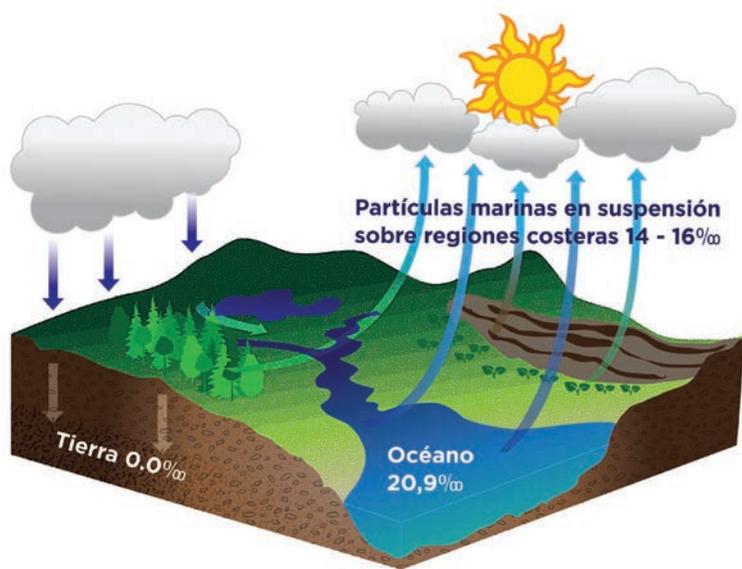


Fig. 6: Valores $\delta^{34}\text{S}$ (‰) en distintas localizaciones geográficas y el efecto de aerosol marino.

metionina) entran en los organismos como proteínas a través de la dieta. A efectos de la investigación arqueológica, los resultados deberían reflejar tan sólo la metionina dietética al no encontrarse cisteína en la proteína colágeno analizada (Eastoe 1955).

Los valores de isótopos de azufre de los tejidos de herbívoros reflejan sus fuentes de alimentación, pero están fuertemente relacionados con los valores de las plantas y los valores medioambientales (predominantemente la geología e hidrología locales). Y es que los animales terrestres pueden tener elevados ratios de isótopos del azufre a pesar de nunca haber estado consumiendo peces, sino debido a su proximidad a la línea de costa y a la mezcla allí presente de azufre local con sulfatos del agua del mar (Craig *et al.* 2006).

En este sentido, las mediciones de $\delta^{34}\text{S}$, en complemento con análisis de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, pueden proporcionar evidencia alimentaria y tienen el potencial de identificar migración y movilidad territorial (Richards *et al.* 2003b). Los niveles de $\delta^{34}\text{S}$ en el mar tienen una media de entorno a 20‰, así como los recursos que se encuentran en él, mientras que la corteza terrestre tiene unos valores cercanos al 0‰ (Nehlich 2015). No obstante, el sulfato marino puede llegar a zonas de interior a través de partículas arrastradas por la brisa marina, la precipitación litoral y el efecto aerosol (O'Dowd *et al.* 1997), por lo que es capaz de influir en los valores $\delta^{34}\text{S}$ terrestres (fig. 6). En cualquier caso, se

considera que los valores $\delta^{34}\text{S}$ menores a 14‰ no están influenciados por las partículas marinas en suspensión, y tampoco son el resultado del aporte de alimentos marinos (Richards *et al.* 2001).

Además de discernir cercanía al mar o distinguir entre consumo de proteínas del origen terrestre o marino, los análisis de isótopos estables de azufre pueden contribuir a evaluar el aporte de peces de agua dulce en la impronta isotópica humana. Aunque falta su aplicación aún en tierras valencianas, en otras partes de Europa ya se cuenta con varios estudios de aplicación que podrían servir de hoja de ruta para estas aplicaciones (ej. Privat *et al.* 2007; Linderholm *et al.* 2008).

ISÓTOPOS DEL HIDRÓGENO Y DEL OXÍGENO

Los isótopos estables del hidrógeno y del oxígeno se encuentran íntimamente vinculados al ciclo hidrológico, observándose variaciones predecibles, a escala global, de las composiciones isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en los ríos y aguas subterráneas producto de las gradientes geográficas y ambientales (Bowen 2010). Dado que los recursos hídricos derivan de las precipitaciones, su principal factor de fraccionamiento es el efecto de destilación que presentan las lluvias (dependiente de la altitud, latitud, temperatura y distancia desde la fuente de humedad), aunque además influye

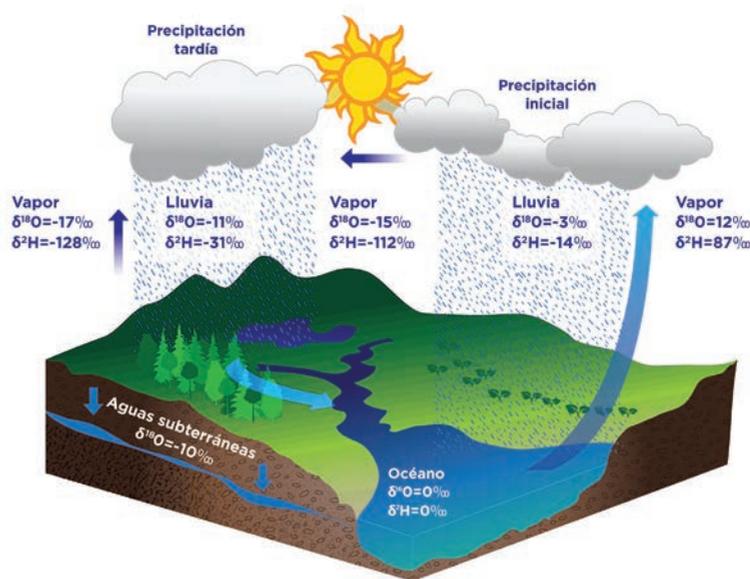


Fig. 7: Ciclo del agua con valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en distintas localidades geográficas.

también la filtración del agua en los valores de las aguas subterráneas (Rozanski *et al.* 1993) (fig. 7). Las prácticas culturales de uso del recurso hídrico, ya sea como agua de bebida, cocción de alimentos, encauzamiento de aguas o sistemas de regadío, por dar algunos ejemplos, incorporan a la dieta las distintas fuentes de aguas utilizadas (Blyth 2001; Bowen *et al.* 2009; Ehleringer *et al.* 2008). Dado que al incorporarse a los tejidos el $\delta^{18}\text{O}$ y el $\delta^2\text{H}$ no sufren fraccionamiento, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ reflejan la composición del agua local, permitiendo con su análisis determinar orígenes geográficos, movilidad territorial y migraciones (ej. Buzon *et al.* 2011; Sharp *et al.* 2003).

Los análisis de $\delta^{18}\text{O}$ sobre bioapatita ósea (es decir, la fracción mineral del hueso) y esmalte dental son bastante frecuentes en estudios bioarqueológicos, realizándose específicamente o bien sobre carbonatos (CO_3) o sobre fosfatos (PO_4) (Pellegrini y Snoeck 2016). Su uso se basa en la premisa de que a una temperatura corporal constante los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_3}$ y $\delta^{18}\text{O}_{\text{PO}_4}$ se aproximan a la señal isotópica del agua corporal, la cual depende de la composición isotópica de los recursos hídricos ingeridos y por tanto del agua local (Bryant y Froelich 1995). De todas formas, la señal isotópica en carbonatos (principalmente de hueso) es considerada menos fiable que el esmalte dental debido a los procesos de diagénesis postdeposicionales que lo afectan y que producirían un intercambio de isótopos de oxígeno entre el tejido óseo y el entorno de enterramiento. El esmalte dental, como ya se ha mencionado con anterioridad, es menos susceptible a la degradación e intercambio isotópico postdeposicional con el medio (Silva-Pinto *et al.* 2017).

Por otro lado, y gracias a que la formación del esmalte dental se realiza paulatinamente durante la infancia y no se remodela a lo largo de la vida, los análisis de $\delta^{18}\text{O}$ seriados de cada capa permiten potencialmente detectar cambios en el uso de las fuentes de agua durante la infancia. Esto es más directo en el caso de dientes de fauna de herbívoros (por ejemplo, de équidos o bóvidos), ya que en los dientes humanos la mineralización del esmalte no sigue un patrón secuencial tan claro (Buchan *et al.* 2016). En cualquier caso, en combinación con los análisis de $\delta^{15}\text{N}$ en dentina permiten reconstruir pautas de amamantamiento y destete (Fuller *et al.* 2003). Esto último es debido a la temperatura corporal de la madre, que imprime en la leche materna una señal isotópica significativamente

más enriquecida en $\delta^{18}\text{O}$ que la del agua local (Wright y Schwarcz 1998) que puede detectarse incluso en los fosfatos del hueso (Britton *et al.* 2015).

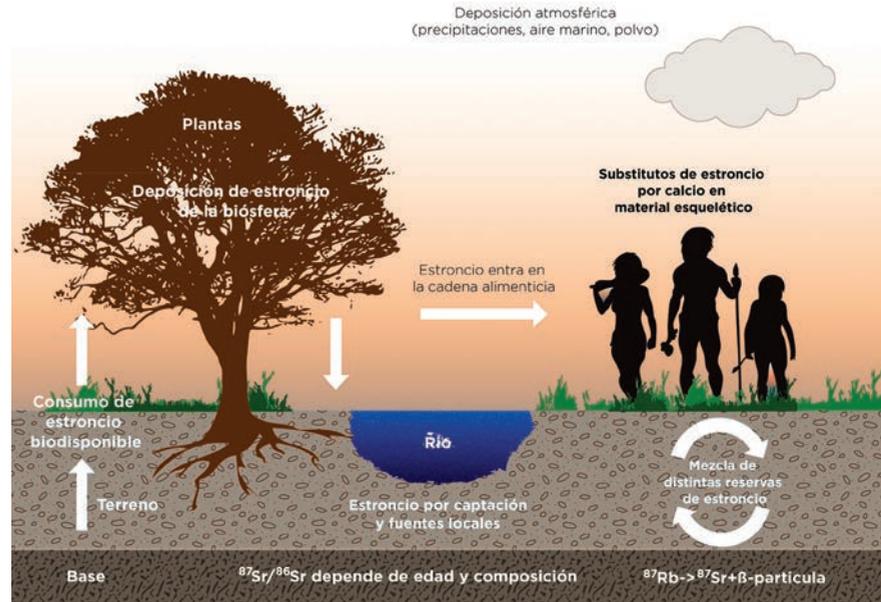
Además, análisis conjuntos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ sobre queratina de pelos y uñas se están llevando a cabo con éxito tanto en Arqueología como con aplicación Forense, para determinar orígenes geográficos (Bowen *et al.* 2009; Sharp *et al.* 2003). Estos tejidos incorporan la señal isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ a partir del agua y alimentos consumidos durante la síntesis de la queratina. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que se ha demostrado que una fracción de átomos de hidrógeno de la queratina se intercambia con el agua atmosférica, pudiendo afectar a la interpretación de los datos (De Niro y Epstein 1981; Sharp *et al.* 2003). Además, en individuos con dietas foráneas se obnubila la correlación entre las señales isotópicas del agua bebida y queratina en pelo (Ehleringer *et al.* 2008). Y aunque se han desarrollado protocolos para reducir al mínimo estas influencias negativas (Bowen *et al.* 2005), sería recomendable realizar otros análisis isotópicos para evaluar posibles influencias de una dieta no-local en los resultados de oxígeno e hidrógeno (Bowen *et al.* 2009).

ISÓTOPOS DEL ESTRONCIO

Desde hace más tiempo que los isótopos del hidrógeno y azufre, pero menos que los del carbono y nitrógeno, los análisis isotópicos del estroncio se están usando para obtener información directa sobre procedencia y movilidad territorial de poblaciones pasadas (ej. Knipper *et al.* 2016; Richards *et al.* 2008; Strauss *et al.* 2015). Este tipo de análisis, en combinación con los otros isótopos ya mencionados, es una herramienta fundamental para entender las historias vitales de los individuos, así como los patrones sociales existentes en momentos prehistóricos para los que no hay documentación escrita. Además de en humanos, también es frecuente encontrar estudios de isótopos de estroncio junto a los de oxígeno realizados en animales y a través de los cuáles se obtiene información muy valiosa sobre prácticas de trashumanza en distintos momentos tanto prehistóricos como históricos (ej. Bentley y Knipper 2005).

Los ratios de isótopos de estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) varían según el tipo de geología existente en cada zona, dependiendo sobretodo de la edad de la roca (Bentley

Fig. 8: El ciclo del estroncio (modificado de Wilmes 2014).



2006). Esto es así debido a que el isótopo ^{87}Sr procede de la descomposición radioactiva del isótopo ^{87}Rb de forma constante en el tiempo, y por tanto existirá una mayor proporción de ^{87}Sr en rocas más antiguas que en las jóvenes; es decir, los ratios $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ serán más altos en geologías más antiguas que en geologías más recientes (Slovak y Paytan 2011). A su vez, el tipo de litología de cada zona afectará a este ratio isotópico dependiendo de las concentraciones de estroncio intrínsecas de los minerales que constituyen las rocas (Bentley 2006). Y hay que tener también en cuenta que, como en los océanos los ratios isotópicos de estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) se mantienen constantes a nivel global en torno a los 0.7091, las improntas isotópicas de zonas terrestres costeras podrían verse afectadas por la impronta isotópica marina de estroncio. Esto ocurriría debido a la existencia del spray marino y la neblina costera, que pueden depositar sales marinas sobre los suelos próximos a la costa e introducir en la cadena alimentaria estroncio procedente del mar (Hartman y Richards 2014).

Por las características de los factores que influyen en las proporciones isotópicas del estroncio en el entorno, es necesario acompañar los estudios arqueológicos de isótopos de estroncio de un mapeo de estroncio biodisponible de la zona de estudio. El llamado estroncio biodisponible no es más que el

estroncio disponible para el consumo por los seres vivos que vamos a estudiar. Saber las proporciones de isótopos de estroncio de las rocas de un entorno geológico puede ser útil para caracterizar la geología de la zona, pero no comemos rocas. Es por ello que necesitamos establecer una caracterización de los ratios $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ basada idealmente en el estroncio biodisponible, y no geológico, de la zona de estudio. Para ello se suelen analizar tanto plantas como conchas de caracoles y microfauna recogidos de las distintas zonas geológicas existentes en el área de estudio, ya que estos seres vivos tienen un radio de movilidad territorial reducido y permiten obtener una media del estroncio geológico subyacente de ese entorno.

Así pues, las proporciones de los distintos tipos de isótopos del estroncio que dependen de la edad de la roca y del tipo de geología, pasan a los seres vivos a través de la alimentación. Como en este caso no existe el fraccionamiento isotópico, estas proporciones que incorpora el individuo serán las mismas que las de la geología del entorno donde vivió (fig. 8). Elaborando mapas de estroncio biodisponible de la región de estudio (estroncio en la cadena alimentaria, diferente al de las propias rocas, que no se consumían), y comparándolos con los valores obtenidos en el esmalte dentario en un momento concreto de la infancia, se pueden comparar los valores de donde

pasó la infancia el individuo con los del terreno donde ha sido encontrado para saber si era potencialmente local o foráneo. Es más, si tenemos en cuenta que el esmalte de cada diente se forma a una edad diferente, si se analizasen varios dientes de un mismo individuo se podría obtener una secuencia temporal de varios años de su vida en relación al terreno en el que habitó.

ESTUDIOS ISOTÓPICOS EN LA PREHISTORIA Y ARQUEOLOGÍA VALENCIANAS

Aunque parezca mentira y contraste con la ya mencionada escasa o nula formación en Arqueología Biomolecular en las universidades valencianas, el corpus de datos analíticos isotópicos disponible a día de hoy para nuestras tierras es probablemente uno de los mayores disponibles en el mundo. Parte de su importancia radica en existir resultados para distintos momentos cronológicos, pudiéndose comparar datos desde el Paleolítico hasta la Edad Media en una misma zona geográfica. Los datos publicados hasta la fecha son dispares si comparamos tipos de análisis isotópicos y momentos cronológicos en la región. Los análisis de isótopos estables del carbono y del nitrógeno son sin duda los que más datos han generado, seguidos por los isótopos del estroncio y azufre, y faltando aún por realizar análisis de hidrógeno y oxígeno en material arqueológico de la Comunidad Valenciana. En cuanto a los periodos sobre los que se han aplicado más este tipo de análisis biomoleculares, destacan los momentos prehistóricos frente a los históricos.

En tierras valencianas varios yacimientos paleolíticos han sido ya estudiados, tales como Cova del Bolomor (Sr), Cova Negra (C, N y Sr), Abric del Salt (C, N y Sr) y Cova del Parpalló (C y N) (Salazar-García 2012; Salazar-García *et al.* 2013a). Por su parte, los de cronología mesolítica estudiados son los de El Collado, Santa Maira, Penya del Comptador, La Corona y Cingle del Mas Nou (García-Guixé *et al.* 2006; Salazar-García *et al.* 2014b), hasta la fecha todos tan sólo analizados para C y N. De los periodos neolítico y calcolítico se han analizado aún un número mayor de yacimientos: Costamar, Tossal de les Basses, Cova dels Diablets, Coveta del Frare, La Vital, Avenc dels Dos Forats, Cova de la Pastora (McClure *et al.* 2011;

García-Borja *et al.* 2013; Salazar-García 2009; 2011a; 2014a; Salazar-García *et al.* 2016a), siendo especialmente recomendable en los contextos de excavaciones colectivas antiguas la datación del máximo número de individuos posibles para confirmar su cronología (García-Borja *et al.* 2011; Salazar-García *et al.* 2016b). Para la Edad del Bronce se cuenta ya con los análisis publicados de varios individuos de la Coveta del Frare (García-Borja *et al.* 2013) y de la Cova de la Pastora (McClure *et al.* 2011), número que aumentará próximamente cuando se publiquen los datos del yacimiento de Cabezo Redondo (Salazar-García 2016).

De la Edad del Hierro tan sólo se ha publicado hasta la fecha los análisis de C y N de un yacimiento, Castellet de Bernabé, sin duda resultado de la extensa práctica de incineración entre las poblaciones ibéricas que dificulta poder realizar este tipo de análisis (Salazar-García *et al.* 2010). Ya entrando en cronologías históricas, destacan hasta la fecha los análisis en época romana de C y N de Tossal de les Basses (Salazar-García *et al.* 2016a). De cronología aún más reciente son los estudios publicados de época medieval en yacimientos valencianos, tanto en Gandía como Crevillente y Alicante (Alexander *et al.* 2015; Salazar-García *et al.* 2014a; 2016a).

Además de estos muchos análisis realizados en tierras valencianas, en el resto de España existen ya otros tantos estudios de distintas cronologías en el noroeste peninsular (ej. García-Guixé *et al.* 2009; Fontanals-Coll *et al.* 2015a), el interior peninsular (ej. Alt *et al.* 2016; Salazar-García *et al.* 2013b; Esparza *et al.* en prensa), en el S peninsular (ej. Fontanals-Coll *et al.* 2015b; Salazar-García 2014b), en el N peninsular (ej. Arias y Schulting 2010; López-Costas *et al.* 2015) y en las Islas Baleares (ej. Fuller *et al.* 2010; Salazar-García 2011b). Como se puede apreciar, el corpus de datos con el que ya se cuenta en España es muy extenso, y los análisis ya realizados de muchos más yacimientos están aún pendientes de ser publicados en todas sus regiones. Para nuestro entorno, esto no ha hecho más que comenzar, cada vez aparecerán más y más estudios, por lo que es necesario que las futuras arqueólogas y los futuros arqueólogos estén preparados para poder procesar de forma crítica este tipo de datos. Esperamos que este artículo sirva para contribuir a ello.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas aquellas personas que, con vistas de futuro, apoyan el estudio, desarrollo y aplicación de la Arqueología Biomolecular en distintos momentos prehistóricos e históricos de tierras valencianas. Agradecemos también a Manuel Alarcón su ayuda en la elaboración de las ilustraciones.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, M. M.; GERRARD, C. M.; GUTIÉRREZ, A.; MILLARD A. R. (2015): Diet, society and economy in Late Medieval Spain: stable isotope evidence from Muslims and Christians from Gandía, Valencia, *American Journal of Physical Anthropology* 156, 263–273.
- ALT, K. W.; ZESCH, S.; GARRIDO-PEÑA, R.; KNIPPER, C.; SZÉCSÉNYI-NAGY, A.; ROTH, C.; TEJEDOR-RODRÍGUEZ, C.; HELD, P.; GARCÍA-MARTÍNEZ-DE-LAGRÁN, I.; NAVITAINUCK, D.; ARCUSA MARGALLÓN, H.; ROJO-GUERRA M. A. (2016): A Community in Life and Death: The Late Neolithic Megalithic Tomb at Alto del Reinoso (Burgos, Spain), *PlosONE* 11(1), e0146176.
- AMBROSE, S. H. (1993): Isotopic Analysis of Palaeodiets: Methodical and Interpretative Considerations, *Investigation of Ancient Human Tissue: Chemical Analysis in Anthropology* (M. K. Sandford, ed.), New York, 59–130.
- 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, *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level* (J. B. Lambert, G. Grupe, eds.), Berlin, 1–38.
- ARIAS, P.; SCHULTING, R. J. (2010): Análisis de isótopos estables sobre los restos humanos de La Braña-Arintero. Aproximación a la dieta de los grupos mesolíticos de la cordillera cantábrica, *Los Hombres Mesolíticos de la cueva La Braña-Arintero (Valdegueros, León)* (J. M. Vidal, M. E. Prada, eds.), León, 130-137.
- AUFDERHEIDE, A. C.; KELLEY, M. A.; RIVERA, M.; GRAY, L.; TIESZEN, L. L.; IVERSEN, E.; KROUSE, H. R.; CAREVIC, A. (1994): Contributions of chemical dietary reconstruction to the assessment of adaptation by ancient Highland immigrants (Alto-Ramirez) to coastal conditions at Pisagua, North Chile, *Journal of Archaeological Science* 21, 515-524.
DOI: <https://doi.org/10.1006/jasc.1994.1051>
- BENTLEY, R. A. (2006): Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review, *Journal of Archaeological Method and Theory* 13, 135-187.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10816-006-9009-x>
- BENTLEY, R. A.; KNIPPER, C. (2005): Transhumance at the early Neolithic settlement at Vaihingen (Germany), *Antiquity* 79, Project Gallery.
- BLYTH, L. (2001): Oxygen Isotope Analysis and Tooth Enamel Phosphate and Its Application to Archaeology, *Totem: The University of Western Ontario Journal of Anthropology* 9, 1-13.
- BOCHERENS, H.; BILLIOU, D.; CHARPENTIER, V.; MASHKOUR M. (2000): Palaeoenvironmental and Archaeological Implications of Bone and Tooth Isotopic Biogeochemistry (^{13}C , ^{15}N) in Southwestern Asia, *Archaeozoology of the Near East IV* (B. H. Buitenhuis, M. Mashkour, F. Poplin, eds.), Groningen, 104–115.
- BOWEN, G. J. (2010): Isoscapes: Spatial Pattern in Isotopic Biogeochemistry, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 38, 161-187.
DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152429>
- BOWEN, G. J.; CHESSON, L.; NIELSON, K.; CERLING, T. E.; EHLERINGER, J. R. (2005): Treatment methods for the determination of $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of hair keratin by continuous-flow isotope-ratio mass spectrometry, *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 19, 2371–2378.
DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.2069>
- BOWEN, G. J.; EHLERINGER, J. R.; CHESSON, L. A.; THOMPSON, A. H.; PODLESÁK, D. W.; CERLING, T. E. (2009): Dietary and physiological controls on the hydrogen and oxygen isotope ratios of hair from mid-20th century indigenous populations, *American Journal of Physical Anthropology* 139, 494-504.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.21008>
- BRITTON K.; FULLER B. T.; TÜTKEN T.; MAYS S.; RICHARDS M. P. (2015): Oxygen Isotope Analysis of human bone phosphate evidences weaning age in archaeological populations, *American Journal of Physical Anthropology* 157, 226-241.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.22704>
- BRYANT, J. D.; FROELICH, P. N. (1995): A model of oxygen isotope fractionation in body water of large mammals, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 4523–4537.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00250-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00250-4)
- BUCHAN M.; MÜLDNER G.; ERVYNCK A.; BRITTON K. (2016): Season of birth and sheep husbandry in late Roman and Medieval coastal Flanders: A pilot study using tooth enamel $\delta^{18}\text{O}$ analysis, *Environmental Archaeology* 21, 260-270.
DOI: <https://doi.org/10.1179/1749631414Y.00000000055>
- BUZON, M. R.; CONLEE, C. A.; BOWEN, G. J. (2011): Refining oxygen isotope analysis in the Nasca region of Peru: An investigation of water sources and archaeological samples, *International Journal of Osteoarchaeology* 21, 446-455.
DOI: <https://doi.org/10.1002/oa.1151>
- CHISHOLM, B. S.; NELSON, D. E.; SCHWARTZ, H. P. (1982): Stable-carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets, *Science* 216, 1131-1132.
DOI: <https://doi.org/10.1126/science.216.4550.1131>
- CRAIG, O. E.; ROSS, R.; ANDERSEN, S. H.; MILNER, N.; BAILEY, G. N. (2006): Focus: sulphur isotope variation in archaeological marine fauna from northern Europe, *Journal of Archaeological Science* 33, 1642–1646.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.05.006>
- DE NIRO, M. J. (1985): Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction, *Nature* 317, 806-809.
DOI: <https://doi.org/10.1038/317806a0>

- DE NIRO, M. J.; EPSTEIN, S. (1978): Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 495-506.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(78\)90199-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90199-0)
- DE NIRO, M. J.; EPSTEIN, S. (1981): Hydrogen isotope ratios of mouse tissues are influenced by a variety of factors other than diet, *Science* 214, 1374-1375.
DOI: <https://doi.org/10.1126/science.7313700>
- DE NIRO, M. J.; WEINER, S. (1988): Chemical, enzymatic and spectroscopic characterization of "collagen" and other organic fractions from prehistoric bones, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 2197-2206.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(88\)90122-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90122-6)
- EASTOE, J. E. (1955): The amino acid composition of mammalian collagen and gelatin, *Biochemical Journal* 61, 589-600.
DOI: <https://doi.org/10.1042/bj0610589>
- EHLERINGER, J. R.; BOWEN, G. J.; CHESSON, L. A.; WEST, A. G.; PODLESAK, D. W.; CERLING, T. E. (2008): Hydrogen and oxygen isotope ratios in human hair are related to geography, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 2788-2793.
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0712228105>
- ESPARZA, A.; VELASCO, J.; PALOMO, S.; DELIBES, G.; ARROYO, E.; SALAZAR-GARCÍA D. C. (en prensa): Familiar kinship? Palaeogenetic and isotopic evidence from a triple burial of the Cogotas I Bronze Age archaeological culture (Soria, Spain), *Oxford Journal of Archaeology*.
- FIORENZA, L.; BENAZZI, S.; HENRY, A. G.; SALAZAR-GARCÍA, D. C.; BLASCO, R.; PICIN, A.; WROE, S.; KULLMER, O. (2015): To meat or not to meat? New perspectives on Neanderthal ecology, *Yearbook of Physical Anthropology* 156, 43-71.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.22659>
- FONTANALS-COLL, M.; SUBIRÀ, M. E.; DÍAZ-ZORITA BONILLA, M.; DUBOSCQ, S.; GIBAJA, J. F. (2015a): Investigating palaeodietary and social differences between two differentiated sectors of a Neolithic community, La Bòbila Madurell-Can Gambús (north-east Iberian Peninsula), *Journal of Archaeological Science* 3, 160-170.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.06.013>
- FONTANALS-COLL M.; DÍAZ-ZORITA BONILLA M.; SUBIRÀ M. E. (2015b): A Palaeodietary study of stable isotope analysis from a high-status burial in the Copper Age: The Montelirio Megalithic structure at Valencina de la Concepción-Castilleja de Guzmán, Spain, *International Journal of Osteoarchaeology* 26, 447-459.
DOI: <https://doi.org/10.1002/oa.2435>
- FULLER, B. T.; FULLER, J. L.; HARRIS, D. A.; HEDGES R. E. M. (2006): Detection of Breastfeeding and Weaning in Modern Human Infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios, *American Journal of Physical Anthropology* 129, 279-293.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.20249>
- FULLER, B. T.; FULLER, J. L.; SAGE, N. E.; HARRIS, D. A.; O'CONNELL, T. C.; HEDGES, R. E. M. (2005): Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during nutritional stress, *Rapid communications in mass spectrometry* 19, 2497-2506.
DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.2090>
- FULLER, B. T.; MÁRQUEZ-GRANT, N.; RICHARDS, M. P. (2010): Investigation of Diachronic Dietary Patterns on the Islands of Ibiza and Formentera, Spain: Evidence from carbon and nitrogen stable isotope ratio analysis, *American Journal of Physical Anthropology* 143, 512-522.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.21334>
- FULLER, B. T.; RICHARDS, M. P.; MAYS, S. A. (2003): Stable carbon and nitrogen isotope variations in tooth dentine serial sections from Wharram Percy, *Journal of Archaeological Science* 30, 1673-1684.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-4403\(03\)00073-6](https://doi.org/10.1016/S0305-4403(03)00073-6)
- GARCÍA BORJA, P.; PÉREZ FERNÁNDEZ, A.; BIOSCA, V.; RIBERA, A.; SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2013): Los restos humanos de la Coveta del Frare (La Font de la Figuera, València), *El Naixement d'un Poble. Història i Arqueologia de la Font de la Figuera* (P. García Borja, E. Revert, A. Ribera, V. Biosca, eds.), La Font de la Figuera, 47-60.
- GARCÍA BORJA, P.; SALAZAR-GARCÍA, D. C.; PÉREZ FERNÁNDEZ, A.; PARDO GORDÓ, S.; CASANOVA VAÑÓ, V. (2011): El Neolítico antiguo cardial y la Cova de la Sarsa (Bocairent, València). Nuevas perspectivas a partir de su registro funerario, *MUNIBE (Antropología-Arkeologia)* 62, 175-195.
- GARCÍA-GUIXÉ, E.; MARTÍNEZ-MORENO, J.; MORA, R.; NÚÑEZ, M.; RICHARDS, M. P. (2009): Stable isotope analysis of human and animal remains from the Late Upper Palaeolithic site of Balma Guilanyà, southeastern Pre-Pyrenees, Spain, *Journal of Archaeological Science* 36, 1018-1026.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.12.001>
- GARCIA-GUIXÉ, E.; RICHARDS, M. P.; SUBIRÀ, M.E. (2006): Palaeodiets of humans and fauna at the Spanish Mesolithic site of El Collado, *Current Anthropology* 47, 549-556.
DOI: <https://doi.org/10.1086/504170>
- GIL, A. F. (2003): Zea mays on South American periphery: chronology and dietary importance, *Current Anthropology* 44, 295-300.
DOI: <https://doi.org/10.1086/367972>
- GIL, A. F.; NEME, G. A.; TYKOT, R. H.; NOVELLINO, P.; CORTEGOSO, V.; DURÁN, V. (2009): Stable Isotopes and Maize Consumption in Central Western Argentina, *International Journal of Osteoarchaeology* 19, 215-236.
DOI: <https://doi.org/10.1002/oa.1041>
- HARTMAN, G.; RICHARDS, M. (2014): Mapping and defining sources of variability in bioavailable strontium isotope ratios in the Eastern Mediterranean, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 126, 250-264.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.11.015>
- HEDGES, R. E. M.; CLEMENT, J. G.; THOMAS, C. D. L.; O'CONNELL, T. C. (2007): Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements, *American Journal of Physical Anthropology* 133, 808-816.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.20598>
- HOWLAND, M. R.; CORR, L. T.; YOUNG, S. M. M.; JONES, V.; JIM, S.; VAN DER MERWE, N. J.; MITCHELL, A. D.; EVERSHED, R. P. (2003): Expression of the dietary isotope signal in the

- compound-specific delta-13 values of pig bone lipids and amino acids, *International Journal of Osteoarchaeology* 13, 54-65.
DOI: <https://doi.org/10.1002/oa.658>
- JAOUEN, K.; SZPAK, P.; RICHARDS, M. P. (2016): Zinc Isotope Ratios as Indicators of Diet and Trophic Level in Arctic Marine Mammals, *PlosONE* 11(3), 1-13.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152299>
- JENKINS, S. G.; PARTRIDGE, S. T.; STEPHENSON, T. R.; FARLEY, S. D.; ROBBINS, C. T. (2001): Nitrogen and Carbon Isotope Fractionation Between Mothers, Neonates, and Nursing Offspring, *Oecologia* 129, 336-341.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s004420100755>
- JIM, S.; JONES, V.; AMBROSE, S. H.; EVERSHED, R. P. (2006): Quantifying dietary macronutrient sources of carbon for bone collagen biosynthesis using natural abundance stable carbon isotope analysis, *British Journal of Nutrition* 95, 1055-1062.
DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN20051685>
- KATZENBERG, M. A.; SCHWARZ, H. P.; KNYF, M.; MELBYE, F. J. (1995): Stable Isotope Evidence for Maize Horticulture and Paleodiet in Southern Ontario, Canada, *American Antiquity* 60 (2), 335-350.
DOI: <https://doi.org/10.2307/282144>
- KNIPPER, C.; FRAGATA, M.; NICKLISCH, N.; SIEBERT, A.; SZÉCSÉNYI-NAGY, A.; HUBENSACK, V.; METZNER-NEBELSICK, C.; MELLER, H.; ALT, K. W. (2016): A distinct section of the early Bronze age society? Stable isotope investigations of burials in settlement pits and multiple inhumations of the Únětice culture in central Germany, *American Journal of Physical Anthropology* 159, 496-516.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.22892>
- KROUSE, H. R. (1980): Sulphur isotopes in our environment, *Isotope Geochemistry The Terrestrial Environment* (P. Fritz, J. C. Fontes, eds.), Amsterdam, 435-471.
- LEATHERDALE, A. J. K. (2013): Interpreting Stable Carbon and Nitrogen Isotope Ratios in Archaeological Remains: An Overview of the Processes Influencing the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ Values of Type I Collagen, *Totem. The University of Western Ontario Journal of Anthropology* 21 (5), 39-50.
- LEE-THORP, J.A. (2008): On isotopes and old bones, *Archaeometry* 50, 925-950.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2008.00441.x>
- LINDERHOLM, A.; JONSON, C. H.; SVENSK, O.; LIDÉN, K. (2008): Diet and status in Birka: stable isotopes and grave goods compared, *Antiquity* 82, 446-461.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0003598X00096939>
- LÓPEZ-COSTAS, O.; MÜLDNER, G.; MARTÍNEZ CORTIZAS A. (2015): Diet and lifestyle in Bronze Age Northwest Spain: the collective burial of Cova do Santo, *Journal of Archaeological Science* 55, 209-218.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.01.009>
- MACKO, S. A.; ENGEL, M. H.; ANDRUSEVICH, V.; LUBEC, G.; O'CONNELL, T. C.; HEDGES, R. E. M. (1999): Documenting the diet in ancient human populations through stable isotope analysis of hair, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 354, 65-76.
DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.1999.0360>
- MAKAREWICZ, C.A.; SEALY, J. (2015): Dietary reconstruction, mobility, and the analysis of ancient skeletal tissues: expanding the prospects of stable isotope research in archaeology, *Journal of Archaeological Science* 56, 146-158.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.02.035>
- MCCLURE, S.; GARCÍA-PUCHOL, O.; ROCA, C.; CULLETON, B.; KENNETT, D. (2011): Osteological and paleodietary investigation of burials from Cova la Pastora, Alicante, Spain, *Journal of Archaeological Science* 38, 420-428.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.023>
- MCCUTCHAN, J. H. JR.; LEWIS, W. M.; KENDALL, C.; MCGRATH, C. C. (2003): Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur, *Oikos*, 102, 378-390.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12098.x>
- METCALFE, J. Z.; LONGSTAFFE, F. J.; ZAZULA, G. D. (2010): Nursing, Weaning, and Tooth Development in Woolly Mammoths from Old Crow, Yukon, Canada: Implications for Pleistocene Extinctions, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 298 (3), 257-270.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.09.032>
- MINAGAWA, M.; WADA, E. (1984): Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between ^{15}N and animal age, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1135-1140.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90204-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90204-7)
- NEHLICH, O. (2015): The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: a review, *Earth-Science Reviews* 142, 1-17.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.12.002>
- NEHLICH, O.; FULLER, B. T.; MARQUEZ-GRANT, N.; RICHARDS, M. P. (2012): Investigation of Diachronic Dietary Patterns on the Islands of Ibiza and Formentera, Spain: Evidence from Sulphur Stable Isotope Ratio Analysis, *American Journal of Physical Anthropology* 149, 115-124.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.22104>
- NEHLICH, O.; RICHARDS, M. P. (2009): Establishing collagen quality criteria for sulphur isotope analysis of archaeological bone collagen, *Archaeological and Anthropological Sciences* 1, 59-75.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12520-009-0003-6>
- NEWTON, R.; BOTTRELL, S. (2007): Stable isotopes of carbon and sulphur as indicators of environmental change: past and present, *Journal of the Geological Society* 164, 691-708.
DOI: <https://doi.org/10.1144/0016-76492006-101>
- O'LEARY, M. H. (1981): Carbon Isotope Fractionation in Plants, *Phytochemistry* 20 (4), 553-567.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85134-5](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85134-5)
- O'LEARY, M. H. (1988): Carbon Isotopes in Photosynthesis, *Bioscience* 38, 328-336.
DOI: <https://doi.org/10.2307/1310735>

- O'CONNELL, T. C.; HEDGES, R. E. M. (1999): Isotopic Comparison of Hair and Bone: Archaeological Analyses, *Journal of Archaeological Science* 26, 661–665.
DOI: <https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0383>
- O'CONNELL, T. C.; HEDGES, R. E. M.; HEALEY, M. A.; SIMPSON, A. H. R. W. (2001): Isotopic Comparison of Hair, Nail and Bone: Modern Analyses, *Journal of Archaeological Science* 28, 1247-1255.
DOI: <https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0698>
- O'CONNELL, T.; KNEALE, C.; TASEVSKA, N.; KUHNLE, G. (2012): The diet-body offset in human nitrogen isotopic values: A controlled dietary study, *American Journal of Physical Anthropology* 149, 426-434.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.22140>
- O'DOWD, C. D.; SMITH, M. H.; CONSTERDINE, I. E.; LOWE, J. A. (1997): Marine aerosol, sea salt, and the marine sulphur cycle: a short review, *Atmos. Environ* 31, 73–80.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(96\)00106-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00106-9)
- PELLEGRINI, M.; SNOECK, C. (2016): Comparing bioapatite carbonate pre-treatments for isotopic measurements: Part 2 - Impact on carbon and oxygen isotope compositions, *Chemical Geology* 420, 88-96.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.10.038>
- POWER, R. C.; SALAZAR-GARCÍA, D. C.; WITTIG, R. M.; FREIBURG, M.; HENRY, A. G. (2015): Dental calculus evidence of Tāi Forest Chimpanzee plant consumption and life history transitions, *Scientific Reports* 5, 15161.
DOI: <https://doi.org/10.1038/srep15161>
- POWER, R. C.; SALAZAR-GARCÍA, D. C.; WITTIG, R. M.; HENRY, A. G. (2014): Assessing use and suitability of scanning electron microscopy in the analysis of microremains in dental calculus, *Journal of Archaeological Science* 49, 160-169.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.04.016>
- PRIVAT, K. L.; O'CONNELL, T. C.; HEDGES, R. E. M. (2007): The distinction between freshwater and terrestrial-based diets: methodological concerns and archaeological applications of sulfur stable isotope analysis, *Journal of Archaeological Science* 34, 1197-1204.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.10.008>
- RICHARDS, M. P.; FULLER, B. T.; HEDGES, R. E. M. (2001): Sulphur isotopic variation in ancient bone collagen from Europe: implications for human palaeodiet, residence mobility, and modern pollutant studies, *Earth and Planetary Science Letters* 191, 185–190.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00427-7](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00427-7)
- RICHARDS, M. P.; FULLER, B. T.; SPONHEIMER, M.; ROBINSON T.; AYLIFFE, L. (2003b): Sulphur Isotopes in Palaeodietary Studies: a Review and Results from a Controlled Feeding Experiment, *International Journal of Osteoarchaeology* 13, 37–45.
DOI: <https://doi.org/10.1002/oa.654>
- RICHARDS, M. P.; HARVATI, K.; GRIMES, V.; SMITH, C.; SMITH, T.; HUBLIN, J. J.; KARKANAS, P.; PANAGOPOULOU, E. (2008): Strontium evidence of Neanderthal mobility at the site of Lakonis, Greece, using laser-ablation PIMMS, *Journal of Archaeological Science* 35, 1251-1256.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.08.018>
- RICHARDS, M. P.; PRICE, T. D.; KOCH, E. (2003a): Mesolithic and Neolithic subsistence in Denmark: new stable isotope data, *Current Anthropology* 4, 288-295.
DOI: <https://doi.org/10.1086/367971>
- ROZANSKI, K.; ARAGUÁS-ARAGUÁS, L.; GONFIANTINI, R. (1993): Isotopic Patterns in Modern Global Precipitation, *Climate Change in Continental Isotopic Records* 1-36.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2009): Estudio de la dieta en la población neolítica de Costamar. Resultados preliminares de análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno, *Torre la Sal (Ribera de Cabanes, Castellón). Evolución del paisaje antártico desde la prehistoria hasta el medioevo* (E. Flors Ureña, ed.), Castellón, 411-418.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2011a): Aproximación a la dieta de la población calcolítica de La Vital a través del análisis de isótopos estables del carbono y del nitrógeno sobre restos óseos, *La Vital (Gandia, Valencia). Vida y muerte en la desembocadura del Serpis durante el III y el I milenio a.C.* (G. Perez Jordá, J. Bernabeu, Y. Carrión, O. García-Puchol, Ll. Molina, M. Gómez Puche M., eds.), Serie Trabajos Varios. S.I.P. 113, Valencia, 139-143.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2011b): Patrón de dieta en la población púnica de Can Marines (Ibiza) a través del análisis de isótopos estables (C y N) en colágeno óseo, *Saguntvm-PLAV* 43: 95-102.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2012): *Isótopos, dieta y movilidad en el País Valenciano. Aplicación a restos humanos del Paleolítico medio al Neolítico final*, Valencia.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2014a): Estudi de la dieta en la població de Cova dels Diablets mitjançant anàlisi d'isòtops estables del carboni i del nitrogen en col·lagen ossi. Resultats preliminars, *La Cova dels Diablets (Alcalá de Xivert, Castelló). Prehistòria a la Serra d'Irta* (G. Aguilera, D. Roman, P. García Borja, eds.), Castellón, 67-78.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2014b): Aproximación a la dieta de la población de La Angorilla. Resultados preliminares de análisis de isótopos estables del carbono y del nitrógeno sobre restos óseos, *La necrópolis de época tartésica de La Angorilla (Alcalá del Río, Sevilla)* (A. Fernández Flores, A. Rodríguez Azogue, M. Casado, eds.), Sevilla, 605-616.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2015): Utilidad de los análisis isotópicos sobre restos esqueléticos en Arqueología: dieta, destete y movilidad territorial, *Actuacions sobre el patrimoni arqueològic de la Comunitat Valenciana. Actes de les Jornades d'Arqueologia de la Comunitat Valenciana* (L. Alapont, J. Martí, F. E. Tendero, eds.), Valencia, 369-379.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2016): Isótopos estables del carbono y nitrógeno en Cabezo Redondo, *Cabezo Redondo (Villena, Alicante)* (M. S. Hernández Pérez, G. García Atiñzar, V. Barciela, eds.), Alicante, 87-89.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; AURA, J. E.; OLÀRIA, C. R.; TALAMO, S.; MORALES, J. V.; RICHARDS, M. P. (2014b): Isotope evidence for the use of marine resources in the Eastern Iberian Mesolithic, *Journal of Archaeological Science* 42, 231-240.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.11.006>

- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; GARCÍA-PUCHOL, O.; DE MIGUEL, M. P.; TALAMO, S. (2016b): Earliest evidence of Neolithic Collective Burials from Eastern Iberia. Radiocarbon dating at the archaeological site of Les Llometes (Alicante, Spain), *Radiocarbon*. DOI: <https://doi.org/10.1017/RDC.2016.34>
- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; DE LUGO ENRICH, L. B.; ÁLVAREZ GARCÍA, H. J.; BENITO SÁNCHEZ, M. (2013b): Estudio diacrónico de la dieta de los pobladores antiguos de Terrinches (Ciudad Real) a partir del análisis de isótopos estables sobre restos óseos humanos, *Revista Española de Antropología Física* 34, 6-14.
- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; POWER, R. C.; SANCHIS, A.; VILLAVERDE, V.; WALKER, M. J.; HENRY, A. G. (2013a): Neanderthal diets in central and southeastern Mediterranean Iberia, *Quaternary International* 318, 3-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.06.007>
- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; RICHARDS, M. P.; NEHLICH, O.; HENRY, A. G. (2014a): Dental calculus is not equivalent to bone collagen for isotope analysis: a comparison between carbon and nitrogen stable isotope analysis of bulk dental calculus, bone and dentine collagen from same individuals from the Medieval site of El Raval (Alicante, Spain), *Journal of Archaeological Science* 47, 70-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.03.026>
- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; ROMERO, A.; GARCÍA-BORJA, P.; SUBIRÀ, E.; RICHARDS M. P. (2016a): A combined dietary approach using isotope and dental buccal-microwear analysis of humans from the Neolithic, Roman and Medieval periods from archaeological site of Tossal de les Basses (Alicante, Spain), *Journal of Archaeological Science: Reports* 6, 610-619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.03.002>
- SALAZAR-GARCÍA, D. C.; VIVES-FERRÁNDIZ, J.; FULLER, B.; RICHARDS, M. P. (2010): Alimentación estimada de la población del Castellet de Bernabé (ss. V-III a.C.) mediante el uso de ratios de isótopos estables de C y N, *De la cuina a la taula. IV Reunió d'Economia en el primer mil·lenni aC* (C. Mata, G. Pérez Jordà, J. Vives-Ferrándiz, eds.) Sagvntvm Extra-9, Valencia, 313-322.
- SCHOELLER, D. A. (1999): Isotope fractionation: why aren't we what we eat?, *Journal of Archaeological Science* 26, 667-673. DOI: <https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0391>
- SCHOENINGER, M. J.; DE NIRO, M. (1984): Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 625-639. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90091-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90091-7)
- SCHOENINGER, M. J.; DE NIRO, M.; TAUBER, H. (1983): Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet, *Science* 220, 1381-1383. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.6344217>
- SCHWARCZ, H. P.; MELBYE, J.; KATZENBERG, M. A.; KNYF, M. (1985): Stable Isotopes in Human Skeletons of Southern Ontario: Reconstructing Paleodiet, *Journal of Archaeological Science* 12, 187-206. DOI: [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(85\)90020-2](https://doi.org/10.1016/0305-4403(85)90020-2)
- SCOTT, G. R.; POULSON, S. R. (2012): Stable carbon and nitrogen isotopes of human dental calculus: a potentially new non-destructive proxy for paleodietary analysis, *Journal of Archaeological Science* 39, 1388-1393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.09.029>
- SHARP, Z. D.; ATUDOREI, V.; PANARELLO, H. O.; FERNÁNDEZ, J.; DOUTHITT, C. (2003): Hydrogen isotope systematics of hair: archeological and forensic applications, *Journal of Archaeological Science* 30, 1709-1716. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-4403\(03\)00071-2](https://doi.org/10.1016/S0305-4403(03)00071-2)
- SILVA-PINTO, V.; GAYO, E.; SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2017): Isótopos estables, *Arqueometría. Estudios Analíticos de Materiales Arqueológicos*, en prensa.
- SLOVAK, N. M.; PAYTAN, A. (2011): Applications of Sr Isotopes in Archaeology, *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Advances in Isotope Geochemistry* (M. Baskaran, ed.), Berlin, 743-768.
- SMITH, B. N.; EPSTEIN S. (1971): Two Categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Ratios for Higher Plants, *Plant Physiology* 47, 380-384. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.47.3.380>
- STRAUSS, A.; OLIVEIRA, R. E.; BERNARDO, D.; SALAZAR-GARCIA, D. C.; TALAMO, S.; JAOUEN, K.; HUBBE, M.; BLACK, S.; WILKINSON, C.; RICHARDS, M. P.; ARAUJO, A.; KIPNIS, R.; NEVES, W. (2015): The oldest case of decapitation in the New World, *PlosONE* 10 (9), e0137456. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137456>
- TYKOT, R. H. (2006): Isotope Analyses and the Histories of Maize, *Histories of Maize: Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize* (J. E. Staller, R. H. Tykot, B. F. Benz, eds.), Boston, 676.
- UBELAKER, D. H. (1979): *Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis and Interpretation*, Washington.
- VAN DER MERWE, N. J.; VOGEL, J. C. (1978): ^{13}C Content of Human Collagen as a Measure of Prehistoric Diet in Woodland North America, *Nature* 276, 815-816. DOI: <https://doi.org/10.1038/276815a0>
- VAN KLINKEN, G. J. (1999): Bone Collagen Quality Indicators for Paleodietary and Radiocarbon Measurements, *Journal of Archaeological Science* 26, 687-695. DOI: <https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0385>
- VIKA, E. (2009): Strangers in the grave? Investigating local provenance in a Greek Bronze Age mass burial using $\delta^{34}\text{S}$ analysis, *Journal of Archaeological Science* 36, 2024-2028. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.05.022>
- WRIGHT, L. E.; 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, 411-411. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199807\)106:3<411::AID-AJPA16>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199807)106:3<411::AID-AJPA16>3.0.CO;2-3)