

Sr/Ca y Ba/Ca: el imperio contraataca

Carles Tornero

carles.tornero@uab.cat

Laboratori d'Arqueozoologia. Departament de Prehistòria

Universitat Autònoma de Barcelona

Resumen

En el actual marco de un apogeo incomparable del desarrollo de los análisis biogeoquímicos en Arqueología, impulsado principalmente por las aplicaciones a partir del recuento de ratios atómicos de isótopos estables de diferentes elementos y por las recuperaciones de genomas y códigos genéticos (secuencias mitocondriales y nucleares de ADN), las prístinas aplicaciones a partir del análisis de composiciones elementales retornan ahora al punto más álgido de la investigación, desarrollo e innovación a partir del análisis de las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca. Desestimadas y desterradas desde principios de los años '90, revisiones recientes y nuevos datos demuestran ahora posibilidades no descifradas ni tan solo en aquellos años '80 cuando la aplicación del análisis biogeoquímicos en arqueología estaba dominada casi en exclusividad por el imperio de los análisis de composiciones elementales. En este trabajo se pretende esbozar el devenir de los avances, los fracasos y las superaciones a las limitaciones del análisis de las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca para contextualizar las nuevas propuestas que suponen ahora un retorno de un imperio ciertamente mermado.

Palabras clave: Arqueología, análisis de composiciones elementales, Sr/Ca y Ba/Ca, pautas de movilidad e historial de residencia

1. Introducción

En la actualidad los estudios biogeoquímicos en Arqueología desarrollan un auge incomparable principalmente a partir de las posibilidades que ofrece el recuento de ratios atómicos de isótopos estables de diferentes elementos y las recuperaciones de genomas y códigos genéticos (secuencias mitocondriales y nucleares de ADN). No obstante, desde el origen de estos estudios

en Arqueología, en la década de los '70, y durante toda la década de los '80, el análisis que monopolizó a modo de imperio las aplicaciones desarrolladas fue el análisis de composición elemental vinculado casi en exclusividad al estudio de las pautas alimenticias de las formaciones sociales del pasado. Sin embargo, este último tipo de análisis fue desestimado y desterrado al ostracismo desde principios de los años '90 al encontrarse irregularidades y

contradicciones en las premisas esenciales que legitimaban su aplicación.

En la actualidad, diferentes centros de investigación y desarrollo han redimensionado este tipo de análisis, reformulando y redefiniendo sus posibilidades y limitaciones. En esencia, se ha descrito de forma más exacta la complejidad de las variables que intervienen en el proceso de representación de las pautas alimenticias a partir de las composiciones químicas, pero también, y especialmente para el caso de las relaciones estroncio/calcio (Sr/Ca) y bario/calcio (Ba/Ca), se han señalado las posibilidades de su aplicación entorno a otras problemáticas como el estudio de las pautas de movilidad o historial de residencia. En resumen, el antiguo imperio mermado retorna ahora al punto más álgido de la investigación, desarrollo e innovación de los estudios biogeoquímicos en Arqueología.

En este trabajo¹, se presenta el devenir de los avances, fracasos y las superaciones a las limitaciones del estudio de las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca con el objetivo de contextualizar las nuevas propuestas realizadas hasta la fecha, que son brevemente resumidas al final.

2. De las primeras relaciones a la lluvia de datos y la sistematización del conocimiento, pasando por la “problemática atómica”

A partir de los años '50 se realizan con éxito los primeros estudios que intentan establecer las primeras relaciones y particularidades del estroncio en organismos vivos. Los estudios proponen que dado las similitudes enormes entre el calcio y el estroncio (ambos son elementos del grupo alcalinotérreos), el segundo pasaría a ocupar los emplazamientos del primero y que incluso podría realizar funciones similares a éste. Estos pioneros estudios se realizan a partir de controles experimentales con animales y establecen también por primera vez una relación entre el Sr incorporado en los tejidos animales y las formaciones geológicas, que traspasarían las concentraciones a plantas y de éstas a sus

consumidores. (Comar et al., 1953; Shorr et Carter, 1952; Harrison et al., 1955).

El conocimiento de estas primeras relaciones supone a partir de la mitad de los '50 el fenómeno que se ha denominado “*la problemática atómica*”. A raíz de los test termonucleares realizados durante la Guerra Fría, y especialmente dada la nueva distribución mundial del isótopo radioactivo Sr⁹⁰ producido durante estos test, varios centros de investigación generaron una alarma social entorno a las consecuencias de su distribución. Dado que se había descubierto que el elemento estroncio pasaba a formar parte de los tejidos humanos a través de ocupar los emplazamientos del calcio, y que éste se acumula en gran cantidad en la leche materna o durante el crecimiento de los huesos a partir de la ingesta de alimentos, se pensó que los isótopos radiactivos creados artificialmente de este elemento desarrollarían efectos radioactivos sobre las personas, y que éstos efectos persistirían en ellas durante como mínimo varias generaciones (Comar 1963:406; Burton & Price 2000:160).

La alarma social generó una lluvia de estudios y trabajos publicados que permitieron avanzar en el conocimiento de las relaciones Sr/Ca y otros elementos. Para muchos investigadores la proliferación de estas investigaciones supuso un *in put* de datos que generaron *a posteriori* el principal desarrollo de la investigación (Runia 1987:9; Subirà 1993:14; Burton & Price 1999:233).

Por ejemplo, a partir de los años '50 se reconoce de forma más concreta que más del 90% de las cantidades Sr de la alimentación se fijan en el tejido óseo (Comar et al., 1957; Sowden & Stitch, 1957). También se establece por primera vez que el Sr no se fija en la misma proporción durante los diferentes estadios de la cadena trófica. Concretamente, que el porcentaje de Sr decrece a medida que aumenta su posición en la cadena (Comar et ali., 1952, 1955, 1957; Harstook et ali., 1956; Turekian & Kulp 1956; Thurber et ali., 1958). Los trabajos más decisivos son aquellos que llevan en la experimentación modelos a partir de fetos de ratas (Comar et ali., 1955), conejos

(Wasserman et ali., 1957) y ovejas (Haggroth & Höglund 1961). A la vez, empiezan a proliferar estudios con el objetivo de cuantificar las relaciones (Sr/Ca) e intentar determinar los procesos fisiológicos responsables así como determinar las funciones diferentes que realizan cada uno de ellos. Por ejemplo, el trabajo de Comar et ali., (1957), concreta que es exactamente la absorción intestinal, la excreción renal, la lactancia y la transferencia por la placenta, los principales² procesos fisiológicos en los cuales se dan las mayores diferencias entre las conductas del Sr y el Ca, es decir, los procesos en los cuales existe un paso de iones a través de membranas bajo control metabólico. Por último, se realizan también los primeros estudios que intentan describir los procesos de fraccionamiento de los isótopos del estroncio que acontecen durante los procesos metabólicos mencionados. En este marco varios estudios se centran en el amamantamiento, principalmente entre relaciones Sr⁹⁰/Ca entre dieta de madre y leche materna a partir de ejemplos en bóvidos, cabras y ovejas (Wasserman et ali., 1958; McClellan & Bustad 1962).

Dos principales datos del conocimiento del elemento Sr y sus relaciones en organismos vivos consiguen disipar la alarma social creada y con ello la disminución del volumen de trabajos y estudios realizados en los siguientes años³. En primer lugar, el conocimiento de las características del fraccionamiento isotópico del estroncio, el cual no es significativo (dadas sus mínimas diferencias de peso atómico entre ellas) y que deja entrever que la posibilidad de asimilación de cantidades adversas del isótopo radiactivo Sr⁹⁰ sean muy reducidas. En segundo lugar, el conocimiento de las características del proceso de asimilación del Sr en los organismos vertebrados, por el cual sólo una 1/5 parte de la relación Sr/Ca es asimilada en cada paso de la cadena trófica. Este último dato es explicitado en el trabajo de Elias et ali., (1982), y supone la definitiva sistematización del conocimiento del proceso: el elemento estroncio es “biopurificado”⁴ cuando este se traspasa en la cadena alimentaria. Los sistemas digestivos de los vertebrados

discriminan el estroncio en contra del calcio (el Sr no pasa con la misma eficacia por las paredes del intestino como lo hace el Ca), y como resultado, la relación Sr/Ca de los tejidos (incluido el tejido óseo) es menor que la relación Sr/Ca de las respectivas dietas. Este proceso produce una reducción de las cantidades Sr/Ca de la dieta en el organismo que lo consume entorno un 20% (para el caso de la relación Ba/Ca es del 10%)(Figura 1). Por ejemplo, los herbívoros presentan menores relaciones Sr/Ca que las plantas que consumen, y los carnívoros presentan menores relaciones Sr/Ca que los tejidos cárnicos que consumen.

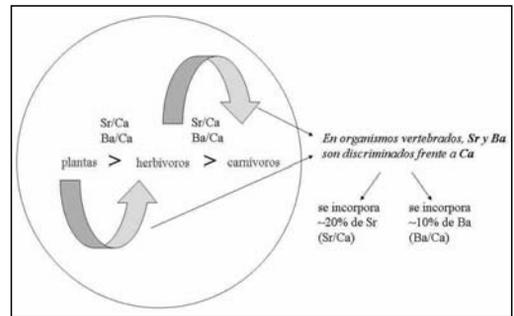


Figura 1: Sistema de biopurificación propuesto por Elias et al., (1982). El traspaso de las concentraciones Sr, Ba y Ca en la cadena trófica supone diferentes relaciones Sr/Ca y Ba/Ca.

3. El desarrollo de las aplicaciones: de la Paleontología a la Arqueología alcanzada

El conocimiento generado durante los años '50 y '60 en relación a la discriminación de las relaciones Sr/Ca en la cadena trófica (sólo traspasa 1/5 de la relación Sr/Ca) fue rápidamente aprovechado desde la Paleontología. Los primeros trabajos aplican el principio al estudio de las dietas de animales extintos. Por ejemplo, Tool & Voorhies (1965) estudian las relaciones Sr/Ca en restos de bóvidos, équidos, carnívoros y tortugas, y hay diferencias entre especies de pasto y debrozadoras (*grazers vs brozers*) así como entre carnívoros y herbívoros. Por ejemplo, el análisis de la bioapatita del tejido óseo ubica

a los carnívoros con menor proporción Sr/Ca, después los *grazers* (bóvidos antilocaprinos) y équidos de corona alta, y finalmente los *browsers*, équidos con corona corta y los ejemplares de tortuga (Toots & Voorhies 1965:854). Hasta la fecha las aplicaciones y los estudios se habían realizado de forma experimental, de forma indirecta o bajo control de los procesos tanto en animales como en humanos. Por primera vez, aparecen trabajos sobre tejidos fosilizados. Este hecho, y más allá de su anécdota académica, supone la obligación de enfrentarse a un problema añadido: la alteración de la composición elemental de los restos debido a procesos de diagénesis, a la cual ahora estos trabajos deben tener en consideración. En este sentido, otro trabajo aún paleontológico de Wyckoff y Doberenz en 1968 intenta evaluar la relación entre cantidades de Sr en restos fósiles y tiempo transcurrido con el fin de confirmar la posibilidad de obtener lecturas originales en los restos analizados y no como resultado de una contaminación postdeposicional. El resultado de los autores es que las cantidades de Sr no aumentan “con el paso del tiempo” y aún y haber diferencias entre los tejidos y su grado de preservación de los valores, confirman la posibilidad de recuperar lecturas originales sobre restos fosilizados (Wyckoff et Doberenz, 1968:109-110).

Finalmente, la arqueología es alcanzada. Justo en el momento que empezaba a conocerse el hecho que las relaciones Sr/Ca eran más reducidas a medida que se avanza en la cadena trófica y por lo tanto, los animales carnívoros presentaban menores cantidades que los herbívoros en su tejido óseo, aparecen publicados los primeros estudios de este tipo en Arqueología, a principios de los años '70 (Brown 1973; 1974)⁵. Estos trabajos se realizan mayoritariamente con restos humanos y son los primeros estudios basados en el recuento de la abundancia del elemento estroncio respecto al calcio (Sr/Ca) con la premisa de que mayores abundancias significan un consumo mayor de plantas y al revés de carne⁶ (Gilbert 1975; Kavanaugh 1979; Schoeninger 1979; Parker & Toots 1980).

A partir de la década de los '80 el número de aplicaciones realizadas a partir de este tipo de análisis aumenta considerablemente. Los estudios se sistematizan y se basan en documentar la posición de los restos humanos en la cadena trófica, principalmente bajo la premisa de identificar el consumo relativo de carne respecto plantas. Los trabajos consistían en analizar las relaciones en restos animales y humanos, y ubicar la posición en la cadena trófica de los últimos, evaluando la proporción de dieta terrestre de plantas o de carne en los individuos (Sillen 1981; 1986; Price & Kavanagh 1982; Schoeninger 1982; Katzenber, 1984). Algunos estudios presentaban la posibilidad de integrar los resultados a los datos relativos al sexo, edad y ajuar asociado a los restos humanos, con el objetivo de inferir sobre cuestiones relativas a las diferencias de género o estatus socioeconómico (Tanaka et al., 1981; Price et al., 1985; Hatch & Geidel 1985; Grupe 1986; Blakely 1989).

También aparecen por primera vez en este periodo estudios enfocados a diferenciar a partir de la relación Sr/Ca el consumo de una dieta marina de una dieta terrestre (Schoeninger & Peebles, 1981; Connor & Slaughter, 1984). Estos estudios partían del reconocimiento del hecho que el agua del mar presenta valores Sr/Ca muy altos y asumían que la evidencia de estos mismos valores altos en los tejidos humanos analizados representarían un consumo mayoritario de recursos marinos en la dietas.

Paralelamente a esta enfoque en la investigación basado en el estudio de la dieta aparecen otros trabajos desarrollados también por arqueólogos o “vecinos próximos” con el objetivo de evaluar el grado de alteración de la composición química original cuando se dan procesos de diagénesis (Keeley et al., 1977; Parker & Toots 1980; Kyle 1986) o simplemente que incorporan procedimientos para evaluar el grado de afectación (Schoeninger 1979; Waldrom 1981; Lambert et al., 1983). En síntesis, se verifica el hecho que el estroncio no presenta una predisposición marcada para los procesos de

diagénesis mayormente establecidos, y se reconoce que en el caso de restos afectados, el esmalte dentario ofrece un mayor grado de resistencia frente a la fracción mineral del tejido óseo.

En general se puede observar que durante la década de los '80 aumenta el volumen de trabajos presentados, también con revisiones y ediciones especiales sobre este tipo de análisis (Sillen & Kavanagh 1982; Price 1985; 1989; Grupe & Herrman 1988; Lambert & Grupe 1993; Sandford 1993), y que se aceptan las premisas básicas de inicio: *dietas cárnicas difieren de las vegetales en función de su ubicación en la cadena trófica.*

4. De las primeras dudas al descrédito y el destierro, pasando por el efecto “caja de Pandora”

Durante la década de los '80 aparecen publicados algunos trabajos en los que estas premisas no se cumplían en los resultados obtenidos, por ejemplo recontando relaciones Sr/Ca que no corresponden al nivel trófico esperado (Schoeninger & Peebles, 1981). Si bien algunos autores intentan explicar los datos deduciendo efectos de alteración de los valores resultantes por diagénesis (Sillen 1981:134; Sealy & Sillen, 1988) otros simplemente no cuestionan los resultados (Nelson et al., 1983). Algunas síntesis posteriores recogen de forma paradigmática estudios que presentan resultados opuestos entre sí, por ejemplo con y sin diferencias de dieta en la variable género, o diferencias de dieta en la variable edad del individuo (mirar síntesis E. Subirá 1993:19).

En 1975 Gilbert abre el análisis de los elementos traza a la aplicación del análisis más allá del Sr y su relación Sr/Ca en restos óseos. El autor aporta un trabajo en que recuenta el zinc (Zn), pero rápidamente aparecen otros trabajos que analizan variados elementos, en relación a las cantidades esperadas para dietas concretas (Beck 1985; Francalacci & Borgognini Tarli 1988; Buikstra et al., 1989; Whitmer et al., 1989; Lidén

1990). El efecto “caja de Pandora” se puede observar en la publicación de estudios totalmente desacreditados como el de Edward et al., (1984), formulado a partir del análisis de varios elementos en restos humanos procedentes de la necrópolis helenística de Asine, en el Peloponeso. Los autores acaban afirmando la ganadería intensiva de cabras a partir del recuento de valores altos de Zn y Sr, argumentado un consumo mayor de grasa y carne “roja” dado el periodo de crisis caracterizado por continuas guerras asociado a la necrópolis, en el cual los hombres no podrían cultivar la tierra como hasta entonces se hacía. La falta de “fuerza de hombre”⁷ para cultivar la tierra sería sobrellevada a partir del pastoreo de caprinos, en los cuales sólo se necesita un “chiquillo” para ser efectiva (Edward et al., 1984:44-45). En este marco se inscribe el trabajo de Arrhenius (1990) que asegura diferenciar el rol sexual a través de las cantidades de sodio (Na) y el cultivo intencional de gusanos como “preludio de la agricultura” a través del recuento del cobre (citado en Burton et Price 2000:161).

Finalmente en el trabajo de Hancock et al., (1994) se puede encontrar el descrédito hacia el análisis de elementos traza mientras que los análisis experimentales a partir de dietas controladas de Lambert & Weyder-Homeyer (1993) suponen la contrastación de la nulidad de todas estas propuestas anteriores, situación con la que acaba esta primera etapa de ejemplos de integraciones del análisis en Arqueología a mediados de los años '90.

5. La arqueología replanteada o el retorno del JEDI

La tesis doctoral de Joseph Ezzo es un punto de inflexión en la cuesta abajo del análisis de la relación Sr/Ca. Supone el replanteamiento y la crítica constructiva en un momento de dejadez y abandono del análisis. En relación a los estudios multi-elementales, Ezzo señala que el error ha estado en aceptar cualquier elemento como válido. Al presentar Gilbert la posibilidad del Zn, los arqueólogos entendieron que cualquier

elemento de la dieta estaba en el hueso, y de aquí a la situación errónea. Ezzo revisa las posibilidades, y señala únicamente el Sr, el Ba y quizás el plomo (Pb) como los elementos a emplear en la reconstitución de la dieta (Ezzo 1994a; 1994b). No obstante, y si bien pueden obviamente omitirse los otros elementos potencialmente recontados en los tejidos analizados, Ezzo también señala que evidentemente la presencia de determinados elementos como los alcalinotérreos que no son incorporados biológicamente al tejido óseo, puede ser utilizada como indicadores de efectos de diagénesis (ej. Uranio)(Ezzo 1994a) tal y como ya se había propuesto antes (Price 1989; Price et ali., 1992).

Ezzo realiza un segundo estudio basado en el recuento de las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca a la vez que el ratio ^{13}C de poblaciones de la Bahía de Georgia (costa atlántica, Estados Unidos) representativas de estadios de no-agricultura a agricultura de maíz. En la comparativa entre un grupo y otro (antes y después), los valores ^{13}C son más negativos en el primer grupo, tal y como se esperaba, dado que las plantas consumidas durante el periodo de no-agricultura eran mayoritariamente C_3 y el maíz es una planta C_4 . Por contra, y de forma inversa, las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca son más positivas en el primer grupo que en el segundo, dado que el maíz tiene una baja proporción de Ca. Concentraciones tan altas de Ba únicamente podrían explicarse siguiendo las premisas formuladas en los años '80 a través de una explotación de los recursos alimentarios marinos, sin embargo esta explicación quedaba completamente fuera de la evidencia del registro arqueológico. Ezzo acababa de demostrar que variabilidades en la dieta vegetal podían generar por si mismas valores diferentes a los esperados a partir de las premisas establecidas (Ezzo et ali., 1995)

No obstante, el verdadero análisis del problema lo engendra James Burton. Burton & Wright (1995) critican el hecho de utilizar la relación Sr/Ca de forma simplista para representar la posición de los individuos en la cadena trófica.

Señalan que en realidad, la relación Sr/Ca indica la composición mineral de la dieta de los individuos analizados y no variaciones en proporciones a cambios de la dieta. Es decir, dietas con una relación planta/carne suficientemente diferente pueden tener similares Ba/Ca y Sr/Ca, especialmente cuando plantas con gran contenido de calcio son dominantes en los recursos de calcio del individuo analizado (Burton & Wright, 1995; Burton, 1996). Y a la vez, dietas con una misma cantidad de carne pueden tener diferentes Ba/Ca y Sr/Ca como resultado de diferentes sumas (cantidades) de Ba, Ca y Sr en las plantas.

Posteriormente, Burton & Price (1999) llevarían la revisión de la relación Sr/Ca a la evaluación de dietas de contenido marino o terrestre. El resultado es que, si es cierto que el agua de mar tiene altos contenidos de Sr/Ca (muy altos), las "biopurificaciones" que se realizan también en la cadena trófica del medio marino generan valores totales Sr/Ca parecidos o similares en el mismo rango a los que se obtienen en las diferentes posiciones de la cadena trófica de los animales terrestres. Como resultado, las diferencias entre una aportación de la dieta marina o terrestre no pueden ser evaluadas a partir y en exclusividad de la relación Sr/Ca en los tejidos de los individuos analizados (humanos), pues valores similares pueden obtenerse en un medio marino como en un terrestre dado los procesos de biopurificación existentes en la cadena trófica marina.

6. Las nuevas propuestas desde la arqueología

Asimilados los puntos anteriores, dos principales trabajos destapan lo que se considera ahora las nuevas posibilidades del análisis de las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca en arqueología (Burton et ali., 1999; Burton et al., 2003):

Burton y colaboradores toman como muestra un biótomo concreto y analizan en suelos, plantas, herbívoros y carnívoros del norte y el sur del actual estado de Wisconsin (EUA) las

concentraciones Sr/Ca y Ba/Ca. En general, los resultados muestran como los ratios estudiados se relacionan de forma proporcional como era de prever (**Figura 2**), y además existe entre ellos una correlación positiva tal y como sucede en otros trabajos publicados posteriormente (**Figura 3**). Un dato sin embargo es más significativo en este estudio. Al estudiar la variabilidad dentro de cada categoría, se observa como esta es relativamente alta especialmente para el caso de las plantas y en cambio en el caso de los herbívoros la variabilidad documentada es muy reducida. Este último dato se explica dado que el propio ritmo de formación del tejido óseo hace que en él queden fijadas concentraciones a modo de media genérica de diferentes dietas consumidas por el animal.

Teniendo en mente esta baja variabilidad observada en los herbívoros se intenta evaluar en un siguiente trabajo la capacidad de discriminar herbívoros de diferentes regiones (biótopos) a partir de sus concentraciones Sr/Ca y Ba/Ca (Burton et al., 2003). El resultado, ejemplificado a partir de dos poblaciones distintas

de cérvidos de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) procedentes del norte y sur del estado de Wisconsin, demuestra como aunque reducidas, las diferencias son suficientes como para evaluar la regionalidad de las poblaciones (**Figura 4**). Es decir, la escasez de variaciones en la dieta local junto a las diferencias a nivel geográfico implica que Ba/Ca y Sr/Ca pueden tener la capacidad de discriminar la pauta de movilidad o historial de residencia, en este caso de poblaciones animales, pero también de grupos humanos.

A partir de estas premisas se han publicado ya los primeros trabajos que intentan inferir sobre estos aspectos a partir de muestras arqueológicas. Los primeros trabajos se han realizado para el caso del estudio de grupos humanos (Cahuee 2001; Burton et al., 2005; Knudson & Price 2007), pero recientemente han aparecido ya las primeras aplicaciones a partir de restos de fauna (Knipper 2005; Meiggs 2007).

Cahuee, Burton y Price estudian las concentraciones Sr/Ca y Ba/Ca de individuos

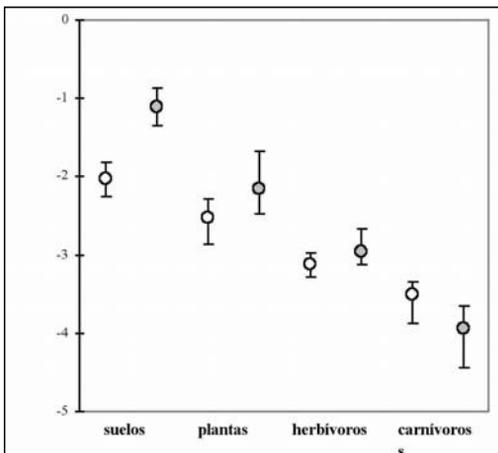


Figura 2: Representación de la media y desviación estándar de los valores ppm log (Sr/Ca) [circunferencia blanca] y log (Ba/Ca) [circunferencia gris]. (A partir de

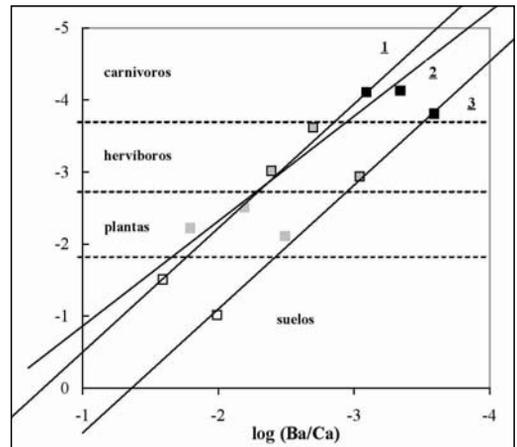


Figura 3: Representación de la media obtenida de los valores ppm log (Sr/Ca) (eje de la X) y ppm log (Ba/Ca) (eje de la Y) en suelos, plantas, herbívoros y carnívoros en diferentes biótopos: 1 en SouthWestern Cape, Sudáfrica (Gilbert et al., 1994); 2 en Yosemite Park, Estados Unidos (Elias et al., 1982); 3 al norte-este de Wisconsin, Estados Unidos (Burton et al., 1999:611-612). (A partir de recopilación Balter et al., 2002:128).

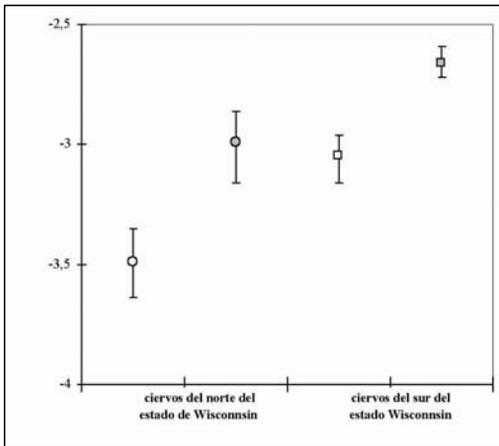


Figura 4: Representación de la media y desviación estándar de los valores ppm log (Sr/Ca) [circunferencia y cuadrado blanco] y log (Ba/Ca) [circunferencia y cuadrado gris] de dos poblaciones distintas de ciervo de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) procedentes del norte y sur del estado de Wisconsin. (A partir de datos en Burton et al., 2003:90-91).

procedentes de dos necrópolis asociadas al periodo Clásico-Maya, pero ubicadas en formaciones geológicas distintas: Kaminaljuyu en elevaciones de origen volcánico y Tikal en la planicie sedimentaria (Burton et al., 2003; Wright 1999). Los valores obtenidos a partir del análisis del esmalte dentario distan ampliamente entre sí: (Kaminaljuyu = $\log(\text{Ba}/\text{Ca}) -3,55 \pm 0,15$ y $\log(\text{Sr}/\text{Ca}) -3,17 \pm 0,12$; Tikal = $\log(\text{Ba}/\text{Ca}) -4,24 \pm 0,20$ y $\log(\text{Sr}/\text{Ca}) -3,93 \pm 0,16$). No obstante, la diferencia era de esperar atendiendo a las características de las formaciones geológicas de los enclaves: las formaciones volcánicas contienen grandes cantidades de cenizas que suponen bajos contenidos en Ca mientras que las formaciones sedimentarias de origen cárstico-calcáreo se componen prácticamente de Ca.

A partir de estas premisas se han publicado ya los primeros trabajos que intentan inferir sobre estos aspectos a partir de muestras arqueológicas. Los primeros trabajos se han realizado para el caso del estudio de grupos humanos (Cahuee 2001; Burton et al., 2005; Knudson & Price 2007), pero recientemente han aparecido ya las primeras aplicaciones a partir de restos de fauna (Knipper 2005; Meiggs 2007).

Cahuee, Burton y Price estudian las concentraciones Sr/Ca y Ba/Ca de individuos procedentes de dos necrópolis asociadas al periodo Clásico-Maya, pero ubicadas en formaciones geológicas distintas: Kaminaljuyu en elevaciones de origen volcánico y Tikal en la planicie sedimentaria (Burton et al., 2003; Wright 1999). Los valores obtenidos a partir del análisis del esmalte dentario distan ampliamente entre sí: (Kaminaljuyu = $\log(\text{Ba}/\text{Ca}) -3,55 \pm 0,15$ y $\log(\text{Sr}/\text{Ca}) -3,17 \pm 0,12$; Tikal = $\log(\text{Ba}/\text{Ca}) -4,24 \pm 0,20$ y $\log(\text{Sr}/\text{Ca}) -3,93 \pm 0,16$). No obstante, la diferencia era de esperar atendiendo a las características de las formaciones geológicas de los enclaves: las formaciones volcánicas contienen grandes cantidades de cenizas que suponen bajos contenidos en Ca mientras que las formaciones sedimentarias de origen cárstico-calcáreo se componen prácticamente de Ca.

El siguiente trabajo de Burton et al. (2005) es más ambicioso, y aunque los resultados no son los esperados, permiten ir más allá en el conocimiento de las posibilidades de este tipo de análisis sobre estas nuevas problemáticas. En concreto, se evalúa el historial de residencia de individuos recuperados en diferentes yacimientos del antiguo estado de Tarascan (Méjico) en los que no existe una diferenciación geológica tan marcada como en el ejemplo anterior. Se analizan en concreto individuos procedentes de dos necrópolis distintas: de Atoyac y Utrichu. Atoyac es un enclave en los límites del estado de Tarascan que pasó a formar parte de él. Utrichu es una de las necrópolis principales del centro del estado. El estudio plantea averiguar si los individuos enterrados en Atoyac con prácticas funerarias idénticas a las documentadas en la necrópolis de Utrichu son o bien locales o inmigrantes destinados por el estado. Para ello se analizan individuos coetáneos de ambas necrópolis (*fase Amacuenca* en Atoyac y *fase Tariacuri* en Utrichu) e individuos de Atoyac pero de periodos anteriores (*fase Sayula* en Atoyac). El análisis en este caso si bien muestra grandes diferencias para el caso del ratio Ba/Ca éstas son inexistentes para el caso de Sr/Ca. La ausencia de variabilidad en este caso aún y

tratarse de muestras de enclaves distintos, demuestra que individuos de diferentes emplazamientos pueden tener las mismas composiciones si comparten variables similares relativas al medio y el clima (Burton et al, 2003:94). Pero aún más interesante, demuestra que la ausencia de variabilidad entre dos muestras tampoco debe ser tomada en interpretación como la prueba de un solo origen para las dos.

el análisis de diferentes muestras de este taxón para cada yacimiento. De forma concreta se analizan restos de las diferentes unidades dentarias seleccionando siempre el esmalte. El resultado es que, aún y pertenecer los yacimientos estudiados a una misma formación geológica y estar a reducidas distancias entre si (máxima distancia <50km), los resultados muestran una variabilidad significativa en sus

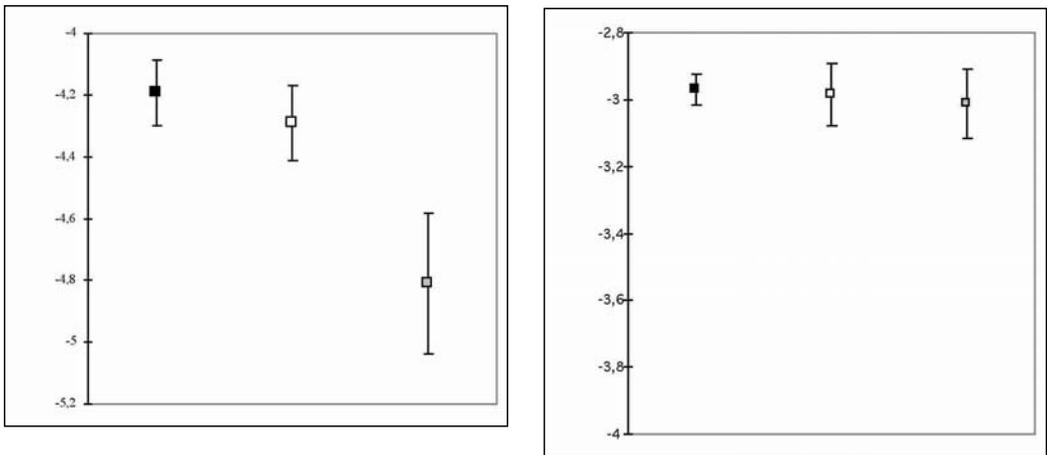


Figura 5: Representación de la media y desviación estándar de los valores ppm $\log(\text{Sr}/\text{Ca})$ [derecha] y $\log(\text{Ba}/\text{Ca})$ [izquierda] de individuos de tres necrópolis diferentes del estado de Tarascan. Cuadros negros representan la necrópolis de Atoyac-Amacuena, cuadros blancos la necrópolis de Atoyac-Sayula y cuadros grises la necrópolis de Utrichu (Burton et al., 2005: 451).

Es decir, que los recuentos aislados para inferir en el movimiento poblacional humano pueden fallar cuando se trata de diferenciar áreas de interés, y en conclusión se deberían utilizar más de una estrategia de análisis a la vez para validar los resultados, por ejemplo trabajar conjuntamente otras lecturas (Sr/Ca , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ o ^{18}O).

Corina Knipper ha sido la primera en llevar el análisis al estudio arqueofaunístico. La autora estudia el ratio de poblaciones domésticas de cerdos de diferentes yacimientos en Alemania: Bruchenbrücken (n=4), Wang (n=1), Wittislingen (n=1) y Altdorf (n=1) asociados a la denominada “cultura de la cerámica de bandas”. Asumiendo rangos de movilidad reducida para el caso de las poblaciones de cerdos domésticas se evalúa el grado de representatividad que podría aportar

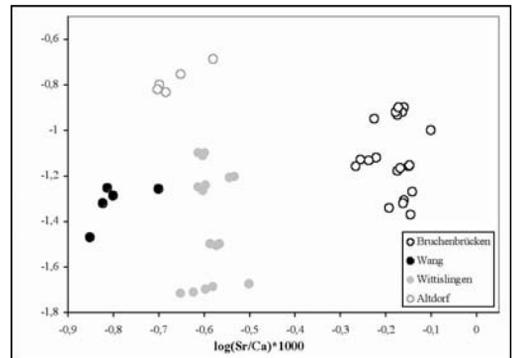


Figura 6: Representación de los valores ppm $\log(\text{Sr}/\text{Ca}) \cdot 1000$ (eje de las X) y $\log(\text{Ba}/\text{Ca})$ (eje de la Y) recontados en restos de cerdos recuperados en yacimientos de Alemania asociados a la denominada “cultura de la cerámica de bandas”. Los valores muestran diferencias, principalmente en el eje Sr/Ca en función de cada yacimiento, aún y estar a distancias reducidas entre ellos y en similar formación geológica (Knipper 2005:475-474).

relaciones Sr/Ca y Ba/Ca (**Figura 6**). La autora propone que las diferencias, dada la similitud en la procedencia de la formación geológica entre los enclaves, sea resultado de diferencias en la dieta de los individuos (Knipper 2005: 474).

7. Conclusiones

La espectrometría de masas ha permitido describir la materia a un nivel de concreción que aún no somos capaces de maniobrar en ciencias sociales. Se trata de un potencial dormido.

En este trabajo⁸ se han presentado las nuevas posibilidades que ofrece en la actualidad el análisis de las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca en restos humanos y animales, fruto de un proceso de investigación que como hemos señalado se acelera desde los años '40 si bien en arqueología las primeras aplicaciones no se realizan hasta mediados de los años '70. Los nuevos enfoques ahora planteados abandonan las premisas simplistas y mecanicistas y hacen explícita la complejidad de las variables que intervienen en la interpretación de los recuentos químicos en el estudio de las pautas alimenticias. Pero además, señalan la posibilidad de discriminar, atendiendo al biotopo de formación, la pauta de movilidad o historial de residencia para el caso de poblaciones animales pero también humanas.

En este sentido, factores como el hecho que el tejido óseo funcione como media genérica de las diferentes dietas consumidas por los individuos y la escasez de variaciones en la dieta local junto a las diferencias a nivel geográfico, implican en conjunto que las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca pueden tener la capacidad potencial de ser muy útiles en los estudios relativos a la pauta de movilidad o historial de residencia. No obstante, y como hemos ejemplificado, la realización de una única lectura química puede no aportar una interpretación adecuada por lo que es aconsejable trabajar con lecturas múltiples sobre la misma muestra, ya sea compaginando lecturas Sr/Ca y Ba/Ca con lecturas ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr o incluso ¹⁸O.

Este nuevo caminar supone pero, la necesidad de seguir investigando las variables que intervienen en los procesos que se intenta representar. Principalmente las variables biotopo estudiado, características fisiológicas y metabólicas de los individuos y tejidos analizados, variabilidad de composición de los recursos explotados, son sólo algunos campos aún por explorar, y en efecto se trata de un gran esfuerzo. Sin embargo, limitar los factores permitirá utilizar con criterio tecnologías que si bien se han desarrollado en ámbitos ajenos a la Arqueología aún distan galaxias de sernos útiles y al alcance de la mano.

8. Agradecimientos

Agradezco a *Estrat Crític* la oportunidad de participar en este volumen y especialmente a Edgar Camarós por perseguirme para que entregara el texto final estos últimos días. María Saña leyó los primeros esbozos del trabajo y me he beneficiado de sus comentarios durante su consecución. Lidia Colominas revisó el texto final y me ha acabado de impulsar para terminar el artículo y poder dejar de hablar de él. A Jim Burton le agradezco haberme sabido despertar una inquietud más.

Notas

¹ This work has been carried out within the framework of different projects of archaeological research: Project (**HUM200766237-/HIST**) directed by Dr.Miquel Molist, and the Projects (**EME2006-17**) and (**HUM2007-65016/HIST**) directed by Dra.Maria Saña. Moreover it registers within the framework of papers that it carries out the researches teams: **SAPPO (2005 GR 00241)** and **GRLA (code1792)**

² Comar y colaboradores señalan otros procesos de menor importancia pero que también se caracterizaban por desarrollar

esas diferencias, como el movimiento de los elementos alcalinos de la tierra entre el tejido óseo y la sangre; o la secreción desde fluidos circulatorios hasta el lúmen del trayecto intestinal (Comar et al., 1957).

³ Evidentemente el cese de test termonucleares a partir de 1963 supone también, y a la vez una disminución de la alarma social creada, una disminución del número de investigaciones desarrolladas.

⁴ “*Biopurification*”, termino utilizado por Elias et ali., (1982: 2570).

⁵ Existe un trabajo previo en 1968 desarrollado Becker y colaboradores en el que analizan entre otras muestras restos humanos recuperados en yacimientos arqueológicos (Becker et al., 1968). Sin embargo, el estudio no elabora ninguna interpretación social de los resultados, simplemente son realizados para contrastar la metodología y técnica a seguir en el análisis, por lo cual, se considera los trabajos de Antoniette Brown los primeros realmente elaborados a partir de una concepción arqueológica.

⁶ En estas fechas se publican también los trabajos de van der Merwe y Vogel (1977 y 1979), que suponen también las primeras aplicaciones del análisis de isótopos estables en arqueología a partir de restos orgánicos (Torneró & Saña 2006:32-33).

⁷ “*manpower*”.

⁸ En este trabajo no se han presentado de forma exhaustiva aspectos de tipo más técnico y metodológico como el debate entorno al proceso de diagenesis, el tipo de resto y tejido por analizar, instrumental tecnológico requerido, procesamiento de las muestras, e incluso, y a veces olvidado, el tipo de tratamiento estadístico adecuado para con los valores recontados. Dejamos estos aspectos para otro momento en que puedan ser presentados en su justa medida y en donde puedan ser encabidos bajo unos resultados propios que evidentemente también faltan en este primer trabajo.

Bibliografía

Arrhenius, B. (1990). *Trace elements analyses of human skulls.*, Arrhenius (ed.). *Laborativ Arkeologi.* Stockholm, Stockholm University., pp:15-19.

Brown, A.B. (1973). *Bone strontium content as a dietary indicator in human skeletal populations.* Ann Arbor. University of Michigan, Unpublished PhD Thesis.

Buikstra, J.; Frankenberg, S.; Lambert, J.; Liang X. (1989). *Multiple elements: multiple expectations.* Price (ed.). *The Chemistry of Human Bone.* Cambridge University Press., pp:155-210.

Burton, J.H. (1996). *Trace-elements in bone as paleodietary indicators.* Orna (ed.). *Archaeological Chemistry.*, Washington, D.C., American Chemical Society. pp:327-333.

Burton, J.H. & Price, T.D. (2000). *The use and abuse of trace elements for paleodietary research.* Ambrose & Katzenberg (eds.). *Biogeochemical approaches to paleodietary Analysis.* Kluwer Academic/Plenum New York., pp:159-171.

Burton, J.H.; Price, T.D.; Cahue, L.; Wright, L. (2005). *Alkaline-earth ratios in teeth as indicators of human mobility.* Kars, H. & Burke, E. (eds.). *Proceedings of 33rd International Symposium on Archaeometry.* 22-26 April, 2002 – Amsterdam., Geoarchaeology and Bioarchaeological studies, 3., pp:449-451.

Cahue, L. (2001). *The effect of environmental change and economic power on the diet of Tarascan elites.* Department of Anthropology, University of Michigan, Ann Arbor. *Tesis Doctoral inédita.*

Comar, C. (1963). *Some over-all aspects of strontium-calcium discrimination.* Wasserman (ed.). *The transfer of calcium and strontium across biological membranes.* New York, Academic Press., pp:405-418.

Gilbert, R.I. (1975). *Trace element analyses of three skeletal Amerindian populations at Dickson Mounds.*, Amherst. University of Massachusetts., Unpublished Ph.D Thesis.

Grube, G (1986). *Reconstruction of relevant factors in population biology by means of trace elements and stable isotope analysis.*, *Innovative Trends in Prehistoric Anthropology* Berlin 27(2):1-3.

- Grupe, G & Herrman, B.** (1988). *Trace elements in Environmental History.*, Springer-Verlag, Berlin.
- Haggroth, S. & Höglund, G.** (1961). *Exptl. Cell Research* **24**:80.
- Hancock, R.; Grynepas, M.; Akesson, K.; Obrant, K.; Turnquist, J.; Kessler, M.** (1994). *Baselines and variabilities of major and trace elements in bone.*, Lambert & Grupe (eds.). *Prehistoric bone: Archaeology at the molecular level.*, Springer-Verlag, Berlin., pp:189-201.
- Katzenber, M.** (1984). *Chemical analysis of prehistoric human bone from live temporally distinct populations in southern Ontario.*, Mercury series 129., Museum of Man, Ottawa.
- Kavanaugh, M.** (1979). *Strontium in bone as a dietary indicator.*, University of Wisconsin-Madison., Tesis Doctoral inédita.
- Knipper, C.** (2005). *Mobility, diet and diagenesis: trace elemental analysis of faunal remains from southern Germany.*, Kars, H. & Burke, E. (eds.). *Proceedings of 33rd International Symposium on Archaeometry.*, 22-26 April, 2002 – Amsterdam., Geoarchaeology and Bioarchaeological studies, **3**, pp:471-475.
- Lambert, J. & Grupe, G.** (Ed.).(1993). *Prehistoric human bone: Archaeology at the molecular level.* Berlin: Springer-Verlag., pp:1-37.
- Lidén, K.** (1990). *A diet study from middle Neolithic site Ire.*, Arrhenius (ed.). *Laborativ Arkeologi.* Stockholm, Stockholm University., pp:21-28.
- Parker, R.B. & Toots, H.** (1980). *Trace elements in bones as paleobiological indicators.*, Behrensmeyer & Hill (eds.). *Fossils in the Making.*, University of Chicago Press, Chicago., pp:197-207.
- Price, T** (1989). *Multielement studies of diagenesis in prehistoric bone.*, Price (ed.). *The Chemistry of Prehistoric Human Bone.*, Cambridge University Press., pp:126-154.
- Runia, L.** (1987). *The chemical analysis of prehistoric bones. A paleodietary and ecoarchaeological study of Bronze Age West-Friesland.*, BAR International Series 363.
- Sandford, M.** (1993). *A reconsideration of trace element analysis of prehistoric bones.*, Saunders & Katzenberg (eds.). *The Skeletal Biology of Past Peoples: research methods.*, Wiley-Liss, New York., pp:79-103.
- Shorr, E. et Carter, A.** (1952). *Bull. Hosp. Joint Diseases* **13**:59.
- Subirà, M^a.E.** (1993). *Elementos traza en restos humanos talayóticos. Estudio de la necrópolis de S'illot des Porros, Santa Margarida, Mallorca.*, Editorial Libros Pórtico, Zaragoza.
- Wright, L.** (1999). *The elements of Maya diets: alkaline earth baselines and paleodietary reconstruction in the Pasion Zone.*, White (ed.). *Reconstructing Ancient Maya Diet.*, University of Utah Press, Salt Lake City., pp:197-219.

Artículos de revistas

- Balter, V.; Bocherens, H.; Person, A.; Labourdette, N.; Renard, M.; Vandermeersch, B.** (2002). *Ecological and physiological variability of Sr/Ca and Ba/Ca in mammals of West European mid-Würmian food webs.*, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleaeoecology* **186**:127-143.
- Beck, L.** (1985). *Bivariate analyses of trace elements in bone.*In *Journal of Human Evolution* **14**:493-502.
- Becker, R.O.; Spadaro, J.A.; Berg, E.W.** (1968). *The trace elements of human bone.* *Journal of Bone and Joint Surgery* **50**:326-334.
- Blakely, R.** (1989). *Bone strontium in pregnant and lactating females from archaeological samples.* In *American Journal of Physical Anthropology* **80**:173-185.
- Brown, A.B.** (1974). *Bone strontium as a dietary indicator in human skeletal populations.* In *Contrib. Geol.* **13**:47-48.
- Burton, J.H. & Wright, L.E.** (1995). *Nonlinearity in the relationship between bone Sr/Ca and diet: paleodietary implications.* In *American Journal of Physical Anthropology* **96**:273-282.
- Burton, J.H.; Price, T.; Middleton, W.D.** (1999). *Correlation of bone Ba/Ca and Sr/Ca due to biological purification of calcium.* In *Journal of Archaeological Science* **26**:609-16.

- Burton, J.H. & Price, T.D.** (1999). *Evaluation of bone strontium as a measure of seafood consumption.* In *International Journal of Osteoarchaeology* **9**:233-236.
- Burton, J.; Price, T.; Cahuee, L.; Wright, L.** (2003). *The use of barium and strontium abundances in human skeletal tissues to determine their geographic origins.* In *International Journal of Osteoarchaeology* **13**:88-95.
- Comar, C.; Monroe, R.; Visek, W.; Hansard, S.** (1953). *J.Nutrition* **50**:459.
- Comar, C.; Lotz, W.; Boyd, G.** (1952). *Autoradiographic studies of calcium, phosphorus, and strontium distribution in the bones of growing pig.* In *American Journal of Anatomy* **90**:113-125.
- Comar, C. ; Whitney, I.; Lengemann, F.** (1955). *Comparative utilization of dietary ⁹⁰Sr and calcium by the developing rat fetus and growing rat.*, *Proc. Society for Experimental Biology* **88**:232-236.
- Comar, C.; Rusell, R.; Wasserman, R.** (1957). *Strontium-calcium movement from soil to man.*, *Science* **126**:485-496.
- Connor, M. & Slaughter, D.** (1984). *Diachronic study of Inuit diets utilizing trace elements analysis.*, *Arctic Archaeology* **21**:123-134.
- Edward, J.; Fossey, J.M.; Yaffe, L.** (1984). *Analysis by neutron activation of human bone from Hellenistic cemetery at Asine, Greece.*, *Journal of Field Archaeology* **11**(1):37-46.
- Elias, R.W.; Hirao, Y.; Patterson, C.C.** (1982). *The circumvention of the natural biopurification of calcium along nutrient pathways by atmospheric inputs of industrial lead.*, *Geochimica et Cosmochimica Acta* **46**:2561-2580.
- Ezzo, J.A.** (1994a). *Putting the "Chemistry" back into archaeological bone chemistry analysis: modeling potential paleodietary indicators.*, *Journal of Anthropological Archaeology* **13**:1-34.
- Ezzo, J.A.** (1994b). *Zinc as a paleodietary indicator: an issue of theoretical validity in bone chemistry analysis.*, *American Antiquity* **59**:606-621.
- Ezzo, J.; Larsen, C. ; Burton, J.** (1995). *Elemental signatures of human diets from Georgia Bight.*, *American Journal of Physical Anthropology* **98**:471-481.
- Francalacci, P & Borgognini, S.** (1988). *Multielementary analysis of trace elements and preliminary results on stable isotopes in two Italian prehistoric sites.*, *Methodological aspects.*, Grupe & Hermann (eds.). *Trace elements in Environmental history.*, Springer-Verlag, Berlin., pp:41-52.
- Gilbert, C, Sealy, J. Sillen, A.** (1994). *An investigation of barium, calcium, and strontium as paleodietary indicators in the Southwestern Cape, South Africa.*, *Journal of Archaeological Science* **21**:173-184.
- Harrison, G.; Raymond, W.; Tretheway, H.** (1955). *Clin. Sci.* **14**:681.
- Harstook, E.; Cowan, R.; Chandler, P.; Whelan., J.** (1956). *The relative retention of strontium and calcium in bone tissue.*, *Journal of Biological Chemistry* **185**:519-524.
- Hatch, J. & Geidel, R.** (1985). *Status-specific dietary variation in two world cultures.*, *Journal of Human Evolution* **14**:469-476.
- Keeley, H.; Hudson, G.; Evans, J.** (1977). *Trace element content of human bones in various states of preservation.*, *Journal of Archaeological Science* **4**:19-24.
- Knudson, K.J. & Price, T.D.** (2007). *Utility of multiple chemical techniques in archaeological residential mobility studies: case studies from Tiwanaku – and Chiribaya – affiliated sites in the Andes.*, *American Journal of Physical Anthropology* **132**:25-39.
- Kyle, J.** (1986). *Effect of post-burial contamination on the concentration of major and minor elements in human bones and teeth. The implications for paleodietary research.*, *Journal of Archaeological Science* **13**:403-416.
- Lambert, J.; Vlasak, S.; Buikstra, J.; Hanson, D.** (1983). *Electron microprobe analysis of elemental distribution in excavated human femurs.*, *American Journal of Physical Anthropology* **62**(4):409-423.
- Lambert, J. & Weydert-Homeyer, J.** (1993). *The fundamental relationship between ancient diet and the inorganic constituents of bone as derived from feeding experiments.*, *Archaeometry* **35**:279-294.

- McClellan & Bustad** (1962). *Radiation Research* **16**:581.
- Meiggs, D.** (2007). *Visualizing the seasonal round: a theoretical experiment with strontium isotope profiles in ovicaprine teeth.*, *Anthropozoologica* **42**(2):107-127.
- Nelson, B.; DeNiro, M.J.; Schoeninger, M.J.; DePaolo, D.J.** (1983). *Strontium isotope evidence for diagenetic alteration of bone: consequences for diet reconstruction.*, *Geological Society of America Bulletin* **95**:652.
- Price, T.** (1985). *Late archaic subsistence in the Midwestern United States.*, *Journal of Human Evolution* **14**:449-459.
- Price, T. & Kavanaugh, M** (1982). *Bone composition and the reconstruction of diet: examples from the Midwestern United States.*, *Mid-continental Journal of Archaeology* **7**:61-70.
- Price, T.; Swick, R.; Chase, E.** (1986). *Bone strontium analysis and the reconstruction of diet: strontium discrimination in white-tailed deer.*, *Journal of Archaeological Science* **12**:419-442.
- Price, T.; Blitz, J.; Burton, J.; Ezzo, J.** (1992). *Diagenesis in prehistoric bone: problems and solutions.*, *Journal of Archaeological Science* **21**:315-330.
- Schoeninger, M.J.** (1979). *Diet and status at Chalcatzingo: some empirical and technical aspects of strontium analysis.*, *American Journal of Physical Anthropology* **51**:295-310.
- Schoeninger, M.** (1982). *Diet and evolution of modern human form in the Middle East.*, *American Journal of Physical Anthropology* **58**:37-52.
- Schoeninger, M.J. & Peebles, C.S.** (1981). *Effect of mollusc eating on human bone strontium levels.*, *Journal of Archaeological Science* **8**:391-397.
- Sealy, J.C. & Sillen, A.** (1988). *Sr and Sr/Ca in marine and terrestrial foodwebs in the Southwestern Cape, South Africa.*, *Journal of Archaeological Science* **15**:425-438.
- Sillen, A.** (1981). *Strontium and diet at Hayonim Cave.*, *American Journal of Physical Anthropology* **56**:131-137.
- Sillen, A.** (1986). *Biogenic and diagenetic Sr/Ca in Plio-pleistocene fossils of the Omo Shungura Formation.*, *Paleobiology* **12**:311-323.
- Sillen, A. & Kavanagh, M.** (1982). *Strontium and paleodietary research: a review.*, *American Journal of Physical Anthropology* **25**:67-90.
- Sowden & Stitch**, (1957). *Trace elements in human tissue. Estimation of the concentrations of stable strontium and barium in human bone.*, *Biochem. J.* **67**:104-120.
- Tanaka, G. ; Kawamura, H.; Nomura, E.** (1981). *Reference Japanese man-II. Distribution of strontium in the skeleton and in the mass of mineralized bone.*, *Health Physics* **40**:601-614.
- Thurber, D.; Kulp, J.; Hodges, E.; Gast, P.; Wampler, J.** (1958). *Common strontium content of the human skeleton.*, *Science* **128**:256-257.
- Toots, H. & Voorhies, M.R.** (1965). *Strontium in fossil bones and the reconstruction of food chains.*, *Science* **149**:854-855.
- Tornero, C. & Saña, M.** (2006). *Anàlisi d'isòtops estables en Arqueologia: aplicació i integració a la recerca arqueològica.*, *Cota Zero* **21**:31-46
- Turekian, K & Kulp, J.** (1956). *Strontium content of human bones.*, *Science* **124**:405-407.
- Waldrom, H.** (1981). *Postmortem absorption of lead by the skeleton.*, *American Journal of Physical Anthropology* **55**(3): 395-398.
- Wasserman, R.H.; Comar, C.L.; Nold, M.M.; Lengemann, F.W.** (1957). *Amer. J. Physiol.* **189**:91.
- Wasserman, R.; Lengemann, F.; Comar, C.** (1958). *Comparative metabolism of calcium and strontium in lactation.*, *Journal of Dairy Science* **41**:812.
- Whitmer, A.; Ramenofsky, A.; Thomas, J.; Thibodeaux, L.; Field, S.; Miller, B.** (1989). *Stability or instability. The role of diffusion in trace element studies.*, *Archaeological Method and Theory* **1**:205-273.
- Wyckoff, R.W.G. & Doberenz, A.R.** (1968). *The strontium content of fossil teeth and bones.*, *Geochimica et Cosmochimica Acta* **32**:109-115.