



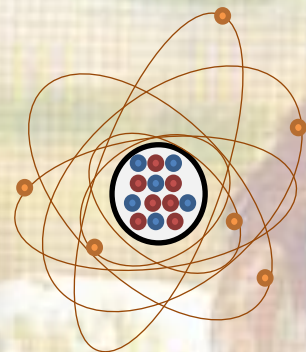
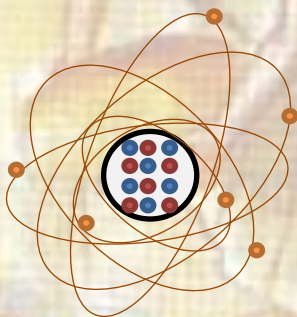
Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

# Alimentación y patrones de movilidad territorial en las últimas sociedades cazadoras-recolectoras y las primeras productoras en el Pirineo Occidental

---

## Dietary and territorial mobility patterns of the last hunter-gatherer and the first producer societies in the Western Pyrenees



Izaskun Sarasketa-Gartzia  
2018

Portada:

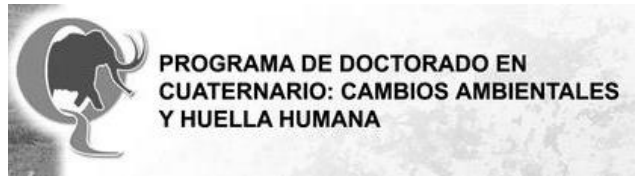
Marca de agua: <http://blogdehistoria.info>

Figura: fotografía original tomada por I. Sarasketa-Gartzia

**Universidad del País Vasco**

Facultad de Letras

Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología



Alimentación y patrones de movilidad territorial en las últimas sociedades cazadoras-recolectoras y las primeras productoras en el Pirineo Occidental

Dietary and territorial mobility patterns of the last hunter-gatherer and the first producer societies in the Western Pyrenees

Tesis doctoral

**Izaskun Sarasketa-Gartzia**

Directores:

Álvaro Arrizabalaga

Domingo Carlos Salazar García

Vitoria, Diciembre de 2018



*Zuretzat*

*Por creer en mí*



*La felicidad se puede hallar hasta en los más oscuros momentos, si somos capaces de usar bien la luz.*

*Las cicatrices pueden ser útiles. Yo tengo una en la rodilla izquierda que es un diagrama perfecto del metro de Londres.*

Albus Dumbledore

*May the force be with you.*

La guerra de las galaxias





# Índice general

Resumen-Abstract-Laburpena .....	22
Agradecimientos .....	27
1. Introducción.....	30
2. Antecedentes y estado de la cuestión .....	36
2.1. Área de estudio .....	36
2.1.1. Marco geográfico general.....	36
2.1.2. Clima .....	38
2.1.3. Paisaje: vegetación y fauna.....	39
2.2. Aproximación arqueológica a los patrones de alimentación y movilidad en la Prehistoria.....	47
2.2.1. Aproximación arqueológica a los patrones de alimentación en la Prehistoria .....	52
2.2.2. Aproximación arqueológica a los patrones de movilidad en la Prehistoria .	67
2.3. The application of carbon, nitrogen and strontium isotopes in archaeology: current status.....	76
2.3.1. Isotopic principles .....	76
2.3.2. Previous works of carbon, nitrogen and strontium isotopes.....	89
3. Objetivos y plan de trabajo.....	100
3.1. Objetivos.....	100
3.2. Plan de trabajo .....	101
4. Methodology.....	104
4.1. Carbon and nitrogen isotopes analyses.....	104
4.1.1. Sample selection .....	104
4.1.2. Human and faunal bone samples preparation.....	105
4.1.3. Analyses .....	113
4.1.4. Quality standards .....	114
4.2. Strontium isotope analyses .....	116
4.2.1. Sample selection and preparation .....	116
4.2.2. Digestion.....	120
4.2.3. Analyses .....	122
4.2.4. Quality standards and concentrations .....	123
5. Materials and results.....	126

5.1.	Bioavailable strontium .....	126
5.1.1.	Regional geology .....	126
5.1.2.	Selected modern materials .....	128
5.1.3.	Results .....	129
5.2.	Pico Ramos .....	137
5.2.1.	Site information .....	137
5.2.2.	Selected materials .....	142
5.2.3.	Carbon and nitrogen results .....	144
5.2.4.	Strontium results .....	146
5.2.5.	Summary .....	148
5.3.	Santimamiñe .....	149
5.3.1.	Site information .....	149
5.3.2.	Selected materials .....	155
5.3.3.	Carbon and nitrogen results .....	157
5.3.4.	Strontium results .....	159
5.3.5.	Summary .....	161
5.4.	Karea .....	162
5.4.1.	Site information .....	162
5.4.2.	Selected materials .....	164
5.4.3.	Carbon and nitrogen results .....	165
5.4.4.	Strontium results .....	166
5.4.5.	Summary .....	167
5.5.	Marizulo .....	168
5.5.1.	Site information .....	168
5.5.2.	Selected materials .....	171
5.5.3.	Carbon and nitrogen results .....	172
5.5.4.	Strontium results .....	173
5.5.5.	Summary .....	175
5.6.	Fuente Hoz .....	176
5.6.1.	Site information .....	176
5.6.2.	Selected materials .....	179
5.6.3.	Carbon and nitrogen results .....	180
5.6.4.	Strontium results .....	181

5.6.5.	Summary.....	182
5.7.	Kurtzebide.....	184
5.7.1.	Site information .....	184
5.7.2.	Selected materials .....	185
5.7.3.	Carbon and nitrogen results.....	187
5.7.4.	Strontium results.....	188
5.7.5.	Summary.....	190
5.8.	Iruaxpe I.....	191
5.8.1.	Site information .....	191
5.8.2.	Selected materials .....	194
5.8.3.	Carbon and nitrogen results.....	195
5.8.4.	Strontium results.....	197
5.8.5.	Summary.....	198
5.9.	Urtao II.....	200
5.9.1.	Site information .....	200
5.9.2.	Selected materials .....	205
5.9.3.	Carbon and nitrogen results.....	206
5.9.4.	Strontium results.....	208
5.9.5.	Summary.....	210
6.	Discusión .....	212
6.1.	Resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ : limitaciones .....	212
6.1.1.	Análisis de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los restos faunísticos.....	212
6.1.2.	Patrones de alimentación humana por cronología.....	217
6.1.3.	Tendencias generales de nuestra muestra.....	222
6.1.4.	Comparación con resultados previos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en la zona de estudio.....	223
6.1.5.	Implicaciones arqueológicas de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ .....	229
6.2.	Resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : limitaciones.....	233
6.2.1.	Patrones de movilidad humana por cronología .....	234
6.2.2.	Comparación con resultados previos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .....	239
6.2.3.	Interpretación por periodos cronológicos .....	244
6.2.4.	Implicaciones arqueológicas de los resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .....	247
6.3.	Interpretación conjunta de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .....	254
7.	Conclusiones.....	257

8. Perspectivas de futuro.....	261
9. Bibliography .....	264
10. Anexos-Appendices.....	324
10.1. Anexo 1-Appendix 1. ....	324
10.2. Anexo 2-Appendix 2 .....	333

# Índice de figuras

<b>Figura 2.1:</b> Mapa geográfico del País Vasco (modificado de gifex.com).....	37
<b>Figura 2.2:</b> Zonas climáticas del País Vasco (modificado de euskalmet.euskadi.eus)..	38
<b>Figura 2.3:</b> Mapa de distribución vegetal del País Vasco (modificado de euskadi.eus). .....	40
<b>Figura 2.4:</b> Macro-modelos de movilidad de Butzer (1989) propuestos para las sociedades cazadoras-recolectoras (modificado de Portero, 2017).....	68
<b>Figura 2.5:</b> Carbon and nitrogen cycles with their values variations.....	81
<b>Figure 2.6:</b> Longitudinal study of the variation in $\delta^{15}\text{N}$ in the fingernail cuttings of a mother (*) and infant pair ( $\square$ ).....	84
<b>Figure 2.7:</b> Graphic with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ theoretical values.....	85
<b>Figure 2.8:</b> Strontium incorporation process into the human enamel (modified from Salazar-García, 2011).....	87
<b>Figure 2.9:</b> Archaeological sites of northern Iberian Peninsula with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ results.....	92
<b>Figure 2.10:</b> Analysed archaeological sites in the North-East section of Iberian Peninsula.....	93
<b>Figure 2.11:</b> Analysed archaeological sites in the South-East and South section of Iberian Peninsula and Balear Islands.....	94
<b>Figure 2.12:</b> Analysed archaeological sites in the South-West section of Iberian Peninsula.....	96
<b>Figure 4.1:</b> Example of Iruaxpe I costal remain.....	104
<b>Figure 4.2:</b> Bone remain from Iruaxpe I before and after sampling .....	105
<b>Figure 4.3:</b> Carbon and nitrogen samples preparation laboratory in the University of Cape Town (South Africa) .....	106
<b>Figure 4.4:</b> Bone samples in HCl during demineralization.....	106
<b>Figure 4.5:</b> Disposable crystal pipettes used to check the demineralization process .....	107
<b>Figure 4.6:</b> Samples placed in a Heater Block a $70^\circ$ during 48 hours uncovered and covered.....	108
<b>Figure 4.7:</b> Thermo Scientific Heraeus Megafuge 16 used during the ultrafiltration process of the samples. ....	109
<b>Figure 4.8:</b> Eeze-filters and Amicon Ultra ultrafilter (30kDa).....	109
<b>Figure 4.9:</b> Sample solutions after Eeze-filtering and before ultrafiltration.....	110
<b>Figure 4.10:</b> Lyophilizer (ScanVac Freeze Dryers CoolSafe).....	111
<b>Figure 4.11:</b> Extracted bone collagen during lyophilisation process.....	111
<b>Figure 4.12:</b> Microbalance used in the weight process of collagen into tin capsules.....	112
<b>Figure 4.13:</b> Delta plus XP continuous-flow isotope ratio mass spectrometer (Thermo Fisher Scientific, USA), interfaced with a Flash EA 1112 elemental analyser (Thermo-Finnigan, USA).....	113

<b>Figure 4.14:</b> Mass Spectrometer parts for the stable isotope analyses (modified from Ian Hunt-Department of Chemistry-University of Calgary web page).....	114
<b>Figure 4.15:</b> Plants preparation space before strontium isotopes analyses. Department of Geology in the University of Cape Town.....	116
<b>Figure 4.16:</b> Desiccator and oven, used for the ashed process of the plants.....	117
<b>Figure 4.17:</b> Analysed snail samples from Pico Ramos .....	117
<b>Figure 4.18:</b> Weigh room in the clean lab of the Department of Geology (University of Cape Town).....	119
<b>Figure 4.19:</b> Loading samples for strontium isotopes in the clean lab.....	120
<b>Figure 4.20:</b> Column digestion zone in the clean lab.....	121
<b>Figure 4.21:</b> Loading samples and placing them in the hot plate at 140°C before the cooling .....	122
<b>Figure 4.22:</b> NuPlasma HR MC-ICP-MS. Department of Geology, University of Cape Town.....	123
<b>Figure 4.23:</b> Example of obtained results of Santimamiñe with concentrations, $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , Voltage and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .....	124
<b>Figure 5.1:</b> Geological map of the studied area. Modified from <i>Mapa de Edades de España 1/1.000.000</i> (igme.maps.arcgis). .....	127
<b>Figure 5.2:</b> Modern material sampling.....	128
<b>Figure 5.3:</b> Geological map with the location of the analysed archaeological sites.....	135
<b>Figure 5.4:</b> Graphic with the bioavailable values of different sites.....	136
<b>Figure 5.5:</b> Pico Ramos cave under excavation (1992).....	137
<b>Figure 5.6:</b> Stratigraphic levels in the B5 column of Pico Ramos.....	138
<b>Figure 5.7:</b> Radiocarbon dates from Pico Ramos. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with $2\sigma$ (95.4 % probability).....	140
<b>Figure 5.8:</b> Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Pico Ramos.....	146
<b>Figure 5.9:</b> Plot of the strontium values of Pico Ramos archaeological site. Boxes represent median value, 1stand 3rd quartiles; whiskers are 1.5 time the interquartile range. ....	148
<b>Figure 5.10:</b> The actual entrance to Santimamiñe cave.....	149
<b>Figure 5.11:</b> Stratigraphic profile of the eastern entrance section of Santimamiñe cave, 1920 original picture (Aranzadi et al., 1931).....	150
<b>Figure 5.12:</b> Correspondence among layers of Santimamiñe from different campaigns (modified from López-Quintana and Guenaga, 2011).....	151
<b>Figure 5.13:</b> Radiocarbon dates from Santimamiñe. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with $2\sigma$ (95.4% probability). ....	153
<b>Figure 5.14:</b> Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Santimamiñe.....	159
<b>Figure 5.15:</b> Plot of the strontium values of Santimamiñe archaeological site. Boxes represent median value, 1stand 3rd quartiles; whiskers are 1.5 time the interquartile range. ....	160

<b>Figure 5.16:</b> Karea burial space (original picture taken by A. Aranburu).....	162
<b>Figure 5.17:</b> Radiocarbon date from Karea. The radiocarbon data was calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with 2σ (95.4% probability). .....	163
<b>Figure 5.18:</b> Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Karea. ....	165
<b>Figure 5.19:</b> Plot of the strontium values of Karea archaeological site. Boxes represent median value, 1stand 3rd quartiles; whiskers are 1.5 time the interquartile range.....	166
<b>Figure 5.20:</b> Stratigraphic section of 9A and 9B of Marizulo (modifief from Cava, 1978).....	169
<b>Figure 5.21:</b> Radiocarbon date from Marizulo. The radiocarbon data was calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with 2σ (95.4 % probability).....	170
<b>Figure 5.22:</b> Neolithic burial from Marizulo (modified from Laborde et al., 1967) ...	170
<b>Figure 5.23:</b> Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and faunal remains from Marizulo. ....	173
<b>Figure 5.24:</b> Plot of the strontium values of Marizulo archaeological site. Boxes represent median value, 1stand 3rd quartiles; whiskers are 1.5 time the interquartile range. ....	174
<b>Figure 5.25:</b> Organization of the burial levels in the general stratigraphy of Fuente Hoz. ....	177
<b>Figure 5.26:</b> Radiocarbon dates from Fuente Hoz. The radiocarbon data was calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with 2σ (95.4 % probability).....	178
<b>Figure 5.27:</b> Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Fuente Hoz. ....	181
<b>Figure 5.28:</b> Plot of the strontium values of Fuente Hoz archaeological site. Boxes represent median value, 1stand 3rd quartiles; whiskers are 1.5 time the interquartile range. ....	182
<b>Figure 5.29:</b> Radiocarbon dates from Kurtzebide. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with 2σ (95.4 % probability).....	185
<b>Figure 5.30:</b> Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Kurtzebide. ....	188
<b>Figure 5.31:</b> Plot of the strontium values of Kurtzebide archaeological site. Boxes represent median value, 1stand 3rd quartiles; whiskers are 1.5 time the interquartile range. ....	190
<b>Figure 5.32:</b> Longitudinal section of the burial gallery with the sediment of the Level I (Modified from Armendariz et al., 1987).....	192
<b>Figure 5.33:</b> Radiocarbon dates from Iruaxpe I. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v.4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with 2σ (95.4 % probability).....	193
<b>Figure 5.34:</b> Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Iruaxpe I.....	196

<b>Figure 5.35:</b> Plot of the strontium values of Iruaxpe I archaeological site. Boxes represent median value, 1stand 3rd quartiles; whiskers are 1.5 time the interquartile range .....	198
<b>Figure 5.36:</b> Floor and sections of Urtao II archaeological site (modified from Armendariz, 1989).....	201
<b>Figure 5.37:</b> Radiocarbon dates from Urtao II. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with 2σ (95.4 % probability).....	202
<b>Figure 5.38:</b> Burials location of the Zone I in the North Gallery. A: Adult individuals (3 and 4), B: Young individual (2), C: Infantile (1), D: Reconstruction of the infantile burial.....	204
<b>Figure 5.39:</b> Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Urtao II. ....	208
<b>Figure 5.40:</b> Plot of the strontium values of Urtao II archaeological site. Boxes represent median value, 1stand 3rd quartiles; whiskers are 1.5 time the interquartile range. ....	209
<b>Figura 6.1:</b> Gráfica con los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la fauna mesolítica de Santimamiñe .....	213
<b>Figura 6.2:</b> Gráfica con los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la fauna neolítica de los yacimientos de Santimamiñe, Marizulo, Fuente Hoz e Iruaxpe I. ....	214
<b>Figura 6.3:</b> Gráfica con los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la fauna calcolítica de los yacimientos de Pico Ramos, Santimamiñe, Karea, Kurtzebide y Urtao II.....	216
<b>Figura 6.4:</b> Gráfico con los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ las muestras mesolíticas del yacimiento de Santimamiñe.....	218
<b>Figura 6.5:</b> Gráfico con los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras neolíticas de los yacimientos de Santimamiñe, Marizulo, Fuente Hoz e Iruaxpe I. ....	220
<b>Figura 6.6:</b> a) Gráfico con los resultados de las muestras calcolíticas y de la Edad del Bronce de los yacimientos de Pico Ramos, Kurtzebide, Urtao II, Santimamiñe y Karea. b) Ampliación de la zona central del gráfico.....	222
<b>Figura 6.7:</b> Situación geográfica de los yacimientos mesolíticos con análisis de isótopos estables realizados previos a esta Tesis Doctoral y mencionados en el texto. 1) Braña-Arintero 2) Colomba 3) La Poza l'Egua 4) Los Canes 5) J3.....	224
<b>Figura 6.8:</b> Situación geográfica de los yacimientos neolíticos y post neolíticos con análisis de isótopos estables realizados previos a esta Tesis Doctoral y mencionados en el texto. ....	227
<b>Figura 6.9:</b> Mapa geológico con los puntos con valores de estroncio biodisponible de la zona objeto de análisis. Modificado de <i>Mapa de Edades de España 1/1.000.000</i> (igme.maps.arcgis).....	243
<b>Figure 6.10:</b> Mapa en el que figuran las áreas de monumentos megalíticos y las utilizadas tradicionalmente con propósitos trashumantes (Barandiaran, 1927).....	251







# Índice de tablas

<b>Table 2.1:</b> Natural abundances of carbon stable isotopes (Schoeller, 1999; Rosman and Taylor, 1998).....	78
<b>Table 2.2:</b> Natural abundances of nitrogen stable isotopes (Schoeller, 1999; Rosman and Taylor, 1998).....	81
<b>Table 2.3:</b> Natural abundances of strontium isotopes (Capo et al., 1998).....	87
<b>Table 5.1:</b> Results of strontium bioavailable values obtained from the analyses of modern plant and snail samples of all the archaeological sites studied in the present Thesis.....	129
<b>Table 5.2:</b> Radiocarbon dates from Pico Ramos (Zapata, 1995a).....	139
<b>Table 5.3:</b> Pico Ramos samples summary.....	142
<b>Table 5.4:</b> Carbon and nitrogen isotopes results of Pico Ramos.....	144
<b>Table 5.5:</b> Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Pico Ramos.....	146
<b>Table 5.6:</b> Radiocarbon dates from Santimamiñe (López Quintana and Guenaga, 2011).....	152
<b>Table 5.7:</b> Santimamiñe samples summary.....	156
<b>Table 5.8:</b> Carbon and nitrogen isotopes results of Santimamiñe.....	157
<b>Table 5.9:</b> Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Santimamiñe.....	159
<b>Table 5.10:</b> Radiocarbon date from Karea (Aranburu et al., 2018).....	163
<b>Table 5.11:</b> Karea samples summary.....	164
<b>Table 5.12:</b> Carbon and nitrogen isotopes results of Karea.....	165
<b>Table 5.13:</b> Results of strontium values of the modern samples and archaeological sample of Karea.....	166
<b>Table 5.14:</b> Radiocarbon date from Marizulo (Cava, 1978).....	170
<b>Table 5.15:</b> Marizulo samples summary.....	171
<b>Table 5.16:</b> Carbon and nitrogen isotopes results of Marizulo.....	172
<b>Table 5.17:</b> Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Marizulo.....	174
<b>Table 5.18:</b> Radiocarbon dates from Fuente Hoz (Baldeón et al., 1983).....	177
<b>Table 5.19:</b> Fuente Hoz samples summary.....	179
<b>Table 5.20:</b> Carbon and nitrogen isotopes results of Fuente Hoz.....	180
<b>Table 5.21:</b> Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Fuente Hoz.....	181
<b>Table 5.22:</b> Radiocarbon dates from Kurtzebide (Vegas, 1981).....	185
<b>Table 5.23:</b> Kurtzebide samples summary.....	186
<b>Table 5.24:</b> Carbon and nitrogen isotopes results of Kurtzebide.....	187
<b>Table 5.25:</b> Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Kurtzebide.....	189
<b>Table 5.26:</b> Radiocarbon dates from Iruaxpe I (Armendariz et al., 1987).....	192
<b>Table 5.27:</b> Iruaxpe I samples summary.....	194

<b>Table 5.28:</b> Carbon and nitrogen isotopes results of Iruaxpe I.....	195
<b>Table 5.29:</b> Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Iruaxpe I.....	197
<b>Table 5.30:</b> Radiocarbon dates of Urtao II (Armendariz, 1989).....	202
<b>Table 5.31:</b> Urtao II samples summary.....	205
<b>Table 5.32:</b> Carbon and nitrogen isotopes results of Urtao II.....	206
<b>Table 5.33:</b> Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Urtao II.....	208
<b>Tabla 6.1:</b> Valores medios de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras humanas de cronología mesolítica obtenidos en la presente Tesis Doctoral.....	218
<b>Tabla 6.2:</b> Valores medios de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras humanas de cronología neolítica obtenidos en la presente Tesis Doctoral.....	219
<b>Tabla 6.3:</b> Valores medios de los resultados de las muestras humanas de cronología neolítica obtenidos en la presente Tesis Doctoral.....	221
<b>Tabla 6.4:</b> Resumen de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los individuos mesolíticos del Norte de la Península Ibérica.....	224
<b>Tabla 6.5:</b> Resumen de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los individuos neolíticos, calcolíticos y de la Edad de Bronce del Norte de la Península Ibérica.....	225
<b>Tabla 6.6:</b> Medias de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las cuevas sepulcrales y monumentos megalíticos del Neolítico Final-Calcolítico Reciente en la Rioja Alavesa (Fernández-Crespo y Schulting, 2017).....	232
<b>Tabla 6.7:</b> Resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los individuos mesolíticos provenientes del yacimiento de Santimamiñe.....	235
<b>Tabla 6.8:</b> Resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los individuos neolíticos provenientes de los yacimientos de Santimamiñe, Marizulo, Fuente Hoz e Iruaxpe I.....	235
<b>Tabla 6.9:</b> Resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los individuos calcolíticos y de la Edad de Bronce provenientes de los yacimientos de Santimamiñe, Pico Ramos, Karea, Kurtzebide y Urtao II.....	237
<b>Tabla 6.10:</b> Resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ biodisponible de las zonas circundantes a los yacimientos objeto de análisis, así como los datos obtenidos en esta misma Tesis Doctoral.....	240





# Resumen-Abstract-Laburpena

## Resumen

En esta Tesis Doctoral se estudian, mediante análisis de isótopos de carbono, nitrógeno y estroncio, los patrones de alimentación y movilidad territorial de los grupos humanos del Mesolítico hasta la Edad de Bronce del sector occidental de los Pirineos. Para ello, se han tomado muestras, tanto arqueológicas (humanas y faunísticas), como contemporáneas (plantas y caracoles), de los yacimientos de Santimamiñe y Pico Ramos en el caso de Bizkaia, Fuente Hoz y Kurtzebide en Araba, y Karea, Marizulo, Iruaxpe I y Urtao II en Gipuzkoa. Estos yacimientos, tal y como hemos mencionado, abarcan una cronología que va desde el Mesolítico hasta la Edad de Bronce, aportando información diacrónica sobre las costumbres alimentarias y la movilidad de estas sociedades.

La técnica que analiza los isótopos de carbono y nitrógeno está basada en la premisa de que la composición isotópica de los alimentos se refleja en los tejidos del consumidor. Los valores  $\delta^{13}\text{C}$  del colágeno óseo son capaces de determinar el peso relativo de las proteínas en función de su origen. En el caso de  $\delta^{15}\text{N}$ , sus valores están relacionados con la complejidad de la cadena trófica del espécimen analizado, con valores más elevados de  $\delta^{15}\text{N}$  para los ecosistemas marinos, comparados con los terrestres. Respecto a los valores de isótopos de estroncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), dependen de la localización geográfica, debido a las variaciones de sus proporciones en las diferentes geologías. Cada zona geológica tiene un valor concreto, ya que el isótopo radiogénico del estroncio ( $^{87}\text{Sr}$ ) deriva de la descomposición del rubidio ( $^{87}\text{Rb}$ ) y, por lo tanto, dependerá de la edad de la roca. Los valores isotópicos de estroncio en la roca pasan a través de la cadena trófica hasta los tejidos corporales de los humanos; debido a la mencionada incorporación y a la fijación durante la mineralización del esmalte, los estudios de este isótopo son útiles aportando evidencias sobre movilidad, reflejando dónde vivió el individuo analizado durante el mencionado proceso de mineralización.

Los resultados isotópicos han aportado información que muestra una tendencia general de consumo de proteínas de origen terrestre tipo  $\text{C}_3$ . Esta tendencia no muestra variaciones entre los individuos analizados correspondientes a diferentes zonas o cronologías, lo que nos permite corroborar el cese de la explotación intensiva de los recursos marinos a partir del Mesolítico en la zona de estudio. Solo encontramos dos excepciones del yacimiento de Santimamiñe, (1) un individuo mesolítico con valores de  $\delta^{13}\text{C}$  más elevados que los que indican un consumo de recursos terrestres tipo  $\text{C}_3$ , pero que no podemos relacionar con el de proteínas marinas, puesto que este individuo tiene, también, valores de  $\delta^{15}\text{N}$  más bajos. Es posible que este individuo consumiera una mayor proporción de alimentos vegetales y/o recursos fluviales. (2) Un individuo, datado en la Edad de Bronce, que muestra un consumo potencial de proteínas marinas, a

pesar de que los valores isotópicos elevados podrían también ser consecuencia del consumo de plantas C<sub>4</sub> y recursos previamente fertilizados.

Por otro lado, son llamativos los resultados de <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr de los individuos de diferentes cronologías, debido a la gran cantidad de individuos que muestran valores no-locales. Estos resultados parecen indicar un área de desplazamiento extensa, que abarcaría desde los Pirineos y los afloramientos del Cretácico Inferior hasta los diferentes yacimientos del norte peninsular, pudiendo corresponder a movimientos relacionados con la trashumancia. Futuros estudios que complementen los valores de estroncio biodisponible nos ayudarán a delimitar esta idea; además, nuevos análisis de isótopos de azufre y de cálculos dentales servirán para complementar la información alimentaria obtenida en esta Tesis Doctoral.

## **Abstract**

In this Doctoral Thesis are studied, through the analysis of carbon, nitrogen and strontium isotopes, the paleodietary and territorial mobility patterns of the human groups of the Mesolithic to Bronze Age in the Western Pyrenees. For this, both archaeological (human and animal) and modern (plants and snails) samples have been taken from Santimamiñe and Pico Ramos sites in the case of Bizkaia, Fuente Hoz and Kurtzebide from Araba, and Karea, Marizulo, Iruaxpe I and Urtao II from Gipuzkoa. These sites include, as mentioned, a chronology that goes from the Mesolithic to the Bronze Age, contributing to a diachronic point of view of the dietary and mobility habits of these societies.

Carbon and nitrogen isotopes analyses technique is based on the premise that the isotopic composition of foodstuffs is reflected in the consumer's tissue. The  $\delta^{13}\text{C}$  values on bone collagen are able to determine the relative weight of protein depending on its source. In the case of  $\delta^{15}\text{N}$ , its values are related to the complexity of the trophic chain of the analysed specimen, while marine ecosystems have higher levels of  $\delta^{15}\text{N}$  compared to the terrestrial ones. Strontium isotope ratio values (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) depend on geographical location due to variations in their proportions in the different geologies. Each geological zone possesses a particular value, as the radiogenic isotope of strontium (<sup>87</sup>Sr) is derived from the decomposition of rubidium (<sup>87</sup>Rb) and, therefore, will depend on the age of the rock. Strontium isotopic values in the rock go through the trophic chain to the body tissue of humans; because of the mentioned incorporation and fixation during enamel mineralization, the studies of this isotope are useful to provide evidences about mobility, by reflecting were the analysed individual potentially lived during the mineralization process.

The isotopic results have provided information that shows a similar protein diet based on the consumption of C<sub>3</sub> terrestrial resources. This tendency has no variations taking into account the analysed individuals corresponding to different areas or chronologies, which allow us to corroborate the cessation of the intensive marine resources



exploitation from the Mesolithic in the studied area. There are only two exceptions for Santimamiñe, (1) one Mesolithic individual with higher  $\delta^{13}\text{C}$  values than those related to terrestrial  $\text{C}_3$  resources, but it cannot be attributed to the introduction of marine protein consumption, as the individual with higher has also lower  $\delta^{15}\text{N}$  values. Perhaps this individual was consuming a higher proportion of plant foods and/or fluvial resources. (2) One individual, dating to the Bronze Age, shows potential marine protein consumption, although the isotopic high values could be also a consequence of  $\text{C}_4$  plants consumption and manured resources.

On the other hand, the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  results obtained from individuals of different chronologies are noteworthy, because of the large proportion of the individuals that report non-local values. These results seem to indicate an extensive area of displacement from the Pyrenees and the Lower Cretaceous areas to the different sites of the northern Peninsula, being possible to correspond to transhumance movements. Future analyses that complement the strontium bioavailable values will help us defining this idea; additionally, new analyses of sulphur isotopes and dental calculus will be useful to complement the dietary information obtained in this Doctoral Thesis.

## Laburpena

Tesi honetan, karbonozko, nitrogenozko eta estrontziozko isotopoen analisisien bidez, Mesolitotik Brontze Arorainoko gizaki taldeen elikadura eta mugikortasun patroiak aztertzen dira. Horretarako, lagin arkeologikoak (gizaki eta animalienak), eta baita egungoak (landareak eta barraskiloak) ere hartu dira ondorengo aztarnategietatik: Santimamiñe eta Pico Ramos Bizkaian, Fuente Hoz eta Kurtzebide Araban, eta Karea, Marizulo, Iruaxpe I eta Urtao II Gipuzkoan. Aztarnategi hauek Mesolitotik Brontze Arora doan kronologia dute, gizarte horietako elikatze eta mugikortasun ohituren ikuspegi diakronikoa emanez.

Karbono eta nitrogenozko isotopoak analizatzen dituen teknikak, kontsumitzailearen ehunetan elikagaien konposizio isotopikoa islatzen dela du oinarritzat. Hezurren kolagenoko  $\delta^{13}\text{C}$  balioei esker, jatorriaren arabera proteinen pisu erlatiboa determinatzeko gai gara.  $\delta^{15}\text{N}$ -ren kasuan, bere balioak analizatutako espeziemenaren kate trofikoaren konplexutasunarekin erlazio naturik daude, itsas ekosistemak  $\delta^{15}\text{N}$  balio altuagoak dituztelarik, lehorrekoekin konparatuta. Estrontzio isotopoen baloreak ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) kokapen geografikoaren arabera dira, geologia desberdinen proportzioen bariazioak direla eta. Zonalde geologiko bakoitzak balio konkretu bat dauka, izan ere, estrontziozko isotopo erradiogenikoa ( $^{87}\text{Sr}$ ) rubidioaren ( $^{87}\text{Rb}$ ) deskonposizioaren ondorio da, eta beraz, arroaren adinaren arabera izango da. Arroaren balio isotopikoak kate trofikoaren bidez igarotzen dira izakien gorputz ehunetara; aipatutako eransketa honen eta esmaltearen mineralizazioaren artean ematen den finkapenari esker, isotopo honen azterketak mugikortasunaren inguruko ebidentzien berri emateko

baliagarriak dira, analizaturiko gizakiak non bizi zen islatuz aipatutako mineralizazio prozesuan zehar.

Emaitza isotopikoek jatorri lehorreko  $C_3$  proteinen kontsumoaren joera orokorra adierazten dute. Joera hori ez da aldatzen ikerketa honetan aztertutako kronologia eta zonalde desberdinetako gizakiak kontuan hartuz, honi esker esan dezakegu Mesolitotik aurrera itsas baliabideen ustiapen intentsiboa eten egin zela, behintzat ikertutako eremu geografikoan. Bi salbuespen baino ez ditugu topatzen, (1) mesolitoko gizaki bat, zeinak  $\delta^{13}C$  balio altuak dituen, lehorreko  $C_3$  baliabideekin alderaturik, baina hala ere ezin direnak erlazionatu itsas proteinen kontsumoarekin; izan ere,  $\delta^{15}N$  balioak baxuak dira. Baliteke beraz, erreketako baliabide edo landare gehiago kontsumitzea. (2) Brontze Aroko gizaki bat, zeinak itsas proteinen kontsumo potentziala erakusten duen, nahiz eta balio isotopiko altuak  $C_4$  landareen kontsumoaren ondorio ere izan daitezkeen, baita aurretik ongarritutako baliabideengatik ere.

Beste alde batetik, kronologia desberdinetako gizakietan jasotako  $^{87}Sr/^{86}Sr$  emaitzak adierazgarriak dira, balio ez-lokalak erakusten dituzten indibiduo asko agertzen baitira. Azterketa gehiagoren beharrea, Pirinio eta Kretazeo Goiztiar azaleratzeetatik Ipar Penintsulako aztarnategietarako desplazamendu zabala agertu dela dirudi, zeinak transhumantzia mugimenduekin egon daitezkeen erlazionaturik. Biongarritasun-eremuko estrontziozko etorkizuneko ikerketek ideia hori definitzen lagunduko dute; horretaz gain, modu gehigarrian, sufre isotopoen analisi berriak eta hortz kalkuluak Tesi honetan lortutako elikatze informazioa osatzeko erabilgarriak izango dira.



# Agradecimientos

Quiero pensar que a todas las personas que habéis hecho posible esta Tesis os he ido agradeciendo vuestra ayuda, de una u otra forma, durante los últimos años; pero, aún así, a continuación os quiero hacer una mención especial. En primer lugar, quiero agradecer a mis dos directores, que han ayudado a que esta Tesis Doctoral haya podido materializarse después de años de (mucho) trabajo: al Dr. Domingo Carlos Salazar-García, especialmente por los meses de la estancia en Ciudad del Cabo, donde se convirtió en *papá pato*, haciendo de director y amigo a jornada completa. Y, por otro lado, al Dr. Álvaro Arrizabalaga, que hace la friolera de 5 años me dió su voto de confianza para empezar esta aventura isotópica, y que siempre ha estado dispuesto a escuchar, incluso ante problemas de carácter personal. Quiero, además, añadir que estoy en deuda por los últimos meses que, los dos, me habéis dado. No sólo habéis aguantado mis post-it, mis cronogramas y mi afán por controlarlo todo, si no que habéis hecho todo lo que estaba en vuestra mano para que se cumpliera mi planificación. A pesar de las reuniones express, de las infinitas cadenas de e-mails y las *discusiones* sobre los detalles que rodean esta Tesis, habéis estado ahí, al pie del cañón, demostrándome que no fue un error confiar en vosotros. Mil gracias (¿y un jamón y txuleton?).

Gracias al Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología, a la Universidad del País Vasco, a sus profesores por su ayuda a lo largo de estos años y a todos los investigadores que estamos o hemos estado por ahí: Ainhoa, Alejandro, Aitor C., Aitor M., Aitor S., Aitziber, Amaia A., Amaya E., Antonio, Aran, Asier A., Asier E., Begoña, Clara, Cristina, Dani, Dario, Eder, Erik, Hugo, Irene, Mari Ángeles, Miren, Naroa, Nuria, Ricardo, Teje, Unai, Uxue. Así como al grupo de excavadores de Lezetxiki y el grupo de prospección de Segovia. Agradecer de igual modo al Gobierno Vasco que ha financiado esta Tesis Doctoral mediante un Contrato Predoctoral, así como al Grupo de Investigación de la Universidad del País Vasco (IT-622-13), y al proyecto del Ministerio de Ciencia (HAR2014-53536-P, La ruta occidental del poblamiento de la Península Ibérica durante el Paleolítico medio y superior). También al Gobierno Vasco por concederme una ayuda adicional para la estancia de tres meses que realicé en Sudáfrica, y por darme los permisos necesarios para la obtención de las muestras. Mi más sincero agradecimiento a los centros de depósito, Arkeologi Museoa, Bibat y Gordailua y a sus integrantes que siempre, siempre, estuvieron dispuestos a ayudar, así como a Á. Arméendariz.

Quiero hacer una mención especial a todo lo que rodeó mi estancia, por todo lo que aprendí a nivel académico y personal. Thank you so much to the University of Cape Town, for the facilities, to Department of Geological Sciences: Christel Tinguely, Jonathan Van Rooyen, Kerryn Gray and Petrus Le Roux and so specially to our personal guardian, Fayrooza Rawoot, who teaches us everything about strontium analyses methodology with a big smile, slip in with travel recommendations. Thank you too to the Department of Archaeology: Ashley Coutu, Ian Newton, John Lanham and

Judith Sealy. Additionally, thank you to my mates Kerryn Warren, Robyn Angelique Humphreys and Tessa Jane Campbell.

Y al pensar en la estancia viene a mi mente, como no podía ser de otra forma, Vanessa. Esta Tesis Doctoral te pertenece también, por los buenos momentos pasados en la estancia, por los jager, las pesas y los cafés con muffins; y por estar siempre ahí corrigiendo mis desastres (¡y mis figuras!). También por las larguísimas charlas de whats app que nos hemos pegado en los últimos meses (¿o han sido años?) riendo, discutiendo sobre datos y más habitualmente despoticando. No sé cuántas cervezas nos debemos ya pero de la que nos juntemos no habrá barriles suficientes. De todo corazón, gracias.

A mis compañeras y amigas inquebrantables de laboratorio (¡las palinolocas!) Ainhoa, Begoña, Miren y Uxue. Especialmente a Amaya que me llevó a coger muestras (¡y qué bien sentó comer en el Zeppelin llenas de barro!), y que siempre ha estado dispuesta a leer mis artículos y ayudarme con el inglés. A mis geólogos favoritos: Víctor, que incluso a tantos kilómetros de distancia sigues en el fondo muy cerca; a mi querida Aitziber, amiga, confidente y compañera de alegrías y lloros. Y a las dos grandes personas llegadas del sur del muro Sara y Hugo, que me enamoraron. Por los Twist and Shout. Por las okenderas. Espero que seáis conscientes de que ese máster ha sido de lo mejor que me ha pasado en la vida, sois maravillos@s.

A mis pilares: Cristina, mi rojita, mi reina mora, mi escocesa, la persona que me sujeta la botella de Jack Daniels rodeadas de pollos; y Ekaitz, que ha crecido conmigo, desde aquel cumpleaños del que nos escapamos y por aquel Batxiller que nos unió; por las tardes de (demasiados) vinos que hacen que todo parezca más fácil... creo que os vais a llevar una desilusión al daros cuenta de que mi Tesis Doctoral no va sobre el miembro de los Neandertales. Aún así, os quiero agradecer con toda mi alma todos los ratos que hemos pasado arreglando el mundo.

A mi amatxu, que siempre ha querido leer todo lo que iba escribiendo, y a aita, que me llevaron a Irun muchísimas veces y a todos los muestreos de campo: recuerdo perfectamente aquel en Santimamiñe lloviendo y lo bien que sentó aquel caldito con el chorizo a la sidra. A mi hermana y a Urko, por intentar entender qué es lo que estaba haciendo, y aportar su grano de arena, no sólo con la identificación de las plantas, sino también a la redacción del apartado sobre área de estudio. A mi familia, y muy especialmente a aitite, estés donde estés, a mis amamas y a mi solete. A mi familia de acogida de Usansolo que siempre os habéis preocupado por cómo me iba con la tesis (y por todo lo demás). A mi canijo, por hacerme compañía estos últimos meses.

Azkenik, laztana, Erlantz, hau zuretzat da. Nire bizitzan egon daitekeen gauzarik onenarikoa zarela, tesi honetan zehar egondako gora behera guztiak jasateagatik, batez ere estantzia baino lehen nirekin egoteagatik. Tesi hau aurrera eramateko kapaz nintzela beti sinetsi duzu. Beti bezela, *tú y yo contra el mundo*. Azken 10 urteetan nire bizitza inguratu duten gauza guztiengatik ere, bihotz bihotzez, mila esker.



# 1. Introducción

¿De dónde venimos y hacia dónde vamos? Esta es, sin lugar a dudas, la gran incógnita de la humanidad, que nos lleva intrigando desde que el ser humano fue consciente de sí mismo. Esta Tesis Doctoral tiene objetivos más modestos que el de aclarar esa cuestión pero, al mismo tiempo, relacionados con ella. ¿Qué comían y de dónde venían los individuos que encontramos los arqueólogos? Estas preguntas, que abordaremos en el presente trabajo, se han tratado de responder en innumerables ocasiones estudiando diferentes aspectos de la Prehistoria como, por ejemplo, los restos faunísticos o la cultura material. El objetivo de esta Tesis Doctoral responde, principalmente, a la necesidad de conocer con mayor detalle los patrones de alimentación y movilidad territorial, y su evolución, de los individuos que vivieron en el tercio norte peninsular desde los últimos momentos de la economía cazadora-recolectora hasta el comienzo de la Edad de los Metales, mediante el uso de isótopos de carbono, nitrógeno y estroncio. Sin embargo, antes de profundizar en la estructura del presente trabajo, queremos introducir brevemente la temática, tanto a nivel isotópico, como geográfico y cronológico.

Comenzando por los patrones alimentarios, hasta que se desarrollaron las metodologías analíticas que más adelante expondremos, la reconstrucción de la dieta de la Prehistoria se realizaba mediante estudios indirectos, tales como el del registro arqueozoológico. Sin embargo, desde finales del siglo pasado, contamos con una nueva herramienta que nos permite aproximarnos, un poco más, a estos aspectos de la Biología humana: la Química isotópica. Los análisis de los isótopos estables de carbono y nitrógeno ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) nos aportan información sobre la alimentación de los individuos objeto de estudio. El interés en obtener un mayor conocimiento en torno a los patrones de alimentación va más allá del interés de responder a la simple pregunta de qué comían, tal y como mencionan Malgosa y Subirà (1996) “la alimentación es una realidad compleja en la que intervienen de forma prácticamente inseparable y entrelazada cuestiones fisiológicas, ecológicas y culturales”. En este sentido debemos remarcar la importancia del rol de la dieta en la evolución y, por añadidura, en el desarrollo, no sólo de los homínidos, sino también de las distintas sociedades humanas pasadas (Hublin y Richards, 2009). Conocer las costumbres alimentarias de los grupos prehistóricos nos puede ayudar a conocer detalles sobre la nutrición, la subsistencia y la explotación de los recursos en relación a posibles áreas de control de cada grupo.

Otro aspecto reseñable, y que ha sido tradicionalmente estudiado, es el del cambio en las costumbres alimentarias en la transición Mesolítico-Neolítico (p.e., Bonsall et al., 2009), y es que la dialéctica entre la explotación de recursos de origen marino y terrestre en la Prehistoria ha dado lugar a una bibliografía considerable en las últimas décadas. Aunque contamos con muy pocos restos humanos mesolíticos en el área de estudio, sí que es posible analizar la evolución diacrónica de estos patrones desde el Neolítico en adelante, momento en el cual se presupone un abandono drástico de los recursos

marinos. Desgraciadamente, los restos obtenidos en las excavaciones arqueológicas pueden ser escasos, aún más teniendo en cuenta que los tejidos blandos o restos vegetales tienden a desaparecer (Gilbert y Mielke, 1985). Uno de los mayores obstáculos es la frecuente falta de restos faunísticos en los yacimientos de origen funerario de cronología prehistórica, unido a la dificultad de encontrar restos humanos analizables en los yacimientos de habitación, donde la fauna sí está presente (Ontañón, 2003). En cualquier caso, las limitaciones propias de esta metodología se desarrollarán en detalle en el apartado de antecedentes.

Entre los métodos analíticos directos utilizados para reconstruir la paleodieta podemos destacar los que se desarrollan brevemente a continuación: (1) El estudio del desgaste dentario, que se genera por el desgaste mecánico del esmalte que depende, a su vez, de, por ejemplo, la composición de los nutrientes (p.e., Guerrero y Lorenzo, 1981; Lalueza-Fox y Pérez-Pérez, 1993; Romero et al., 2005; Trancho y Prieto, 2005). (2) La Paleopatología y Antropometría, según las cuales, el estado y medidas de los diferentes huesos pueden relacionarse con una nutrición más o menos adecuada. Por lo tanto, la presencia de malformaciones, o vestigios de cierto tipo de enfermedades, nos puede aportar interesante información sobre los patrones de alimentación y nutrición de los grupos humanos (Hillson, 1979). (3) Los análisis de cálculos dentales, es decir, la placa mineralizada que encontramos en la parte externa del diente, formada por capas de bacterias y precipitados minerales (Salazar-García y Henry, 2013). En dichas capas de bacterias van quedando atrapadas diferentes partículas, como micro restos vegetales, granos de almidón y fitolitos, que se pueden relacionar con los restos de alimentos que consumió el individuo (p.e., Henry et al., 2011; Power et al., 2014). (4) Los análisis de elementos traza, que fueron pioneros en utilizar métodos químicos en la reconstrucción de paleodietas (Toots y Voorhies, 1965; Underwood, 1977). Estos análisis se basan en la medición de los ratios de los elementos Sr/Ca, Ba/Ca y Pb/Ca. Durante el proceso de biopurificación, los organismos rechazan la incorporación de los mencionados elementos tóxicos: estroncio, bario y plomo (Sillen y Lee-Thorp, 1994). Este rechazo supone que, a medida que se aumenta en la escala trófica, el ratio de estos valores tóxicos respecto al calcio decrece. Gracias a esta relación entre los diferentes elementos podemos determinar la ingesta relativa de productos de origen, tanto animal, como vegetal (Baraybar y de la Rúa, 1995; Burton y Price, 1990; 2000). Sin embargo, estos estudios prácticamente han desaparecido debido a la contaminación diagenética que alteran los resultados (Katzenberg, 2000).

Por último, contamos con los análisis isotópicos de los restos, en los que nos centramos en la presente Tesis Doctoral; sin embargo, debemos tener siempre en cuenta que la utilidad de los análisis isotópicos reside en su combinación con otro tipo de estudios y técnicas. El que esta metodología esté más estandarizada puede deberse a que el soporte necesario para estos análisis es, en muchos casos, el mismo que el utilizado para las dataciones de  $^{14}\text{C}$ , es decir, el colágeno óseo. Aun así, son escasos los estudios de isótopos, en general para cronologías prehistóricas, a pesar de haber más que para el estroncio, no sólo en el tercio norte peninsular, sino en la Península Ibérica. Los únicos



yacimientos prehistóricos que han sido isotópicamente analizados han sido aquellos trabajos desarrollados principalmente por P. Arias (2005). Tenemos además resultados en la costa oeste y noroeste de la Península (p.e., Guiry et al., 2015; López-Costas et al., 2015), así como en la costa noreste (p.e., Fontanals-Coll et al., 2015), sureste (p.e., Salazar-García et al., 2014a) y sur (p.e., Fontanals-Coll et al., 2016a), junto a varios trabajos en el interior (p.e., Alt et al., 2016; Salazar-García et al., 2013; Villalba-Mouco et al., 2017).

Dando paso al estudio de los patrones de movilidad, hasta el comienzo del uso más generalizado de isótopos de estroncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), y su aplicación en el estudio de la Prehistoria, una de las principales herramientas utilizadas para reconstruir los patrones de movilidad era, y en gran medida sigue siendo, el análisis de la cultura material. Estos estudios se realizan mediante el examen del origen de las materias primas de los útiles que aparecían en los yacimientos arqueológicos. De esta manera, es posible relacionar los tipos de sílex con los afloramientos conocidos, lo cual indicaría que los individuos de ese yacimiento a la fuerza tuvieron un rango de movilidad en el que se englobaban esas zonas o la existencia de redes de intercambio (Cava et al., 2007-2008; Tarrío, 2000). En las inmediaciones de los yacimientos que analizamos en el presente trabajo las principales fuentes de sílex son las de Urbasa, Treviño, Tercis, Flysch y Chalosse (Tarrío, 2011a).

Dejando a un lado el sílex, no debemos olvidar que la propia presencia de algunos objetos, tales como la aparición de conchas marinas mediterráneas en el norte de la Península, puede indicar, incluso de una manera más evidente, la existencia de la movilidad territorial, los intercambios o las rutas *comerciales*. Este es el caso de un fragmento de un espécimen de *Spondylus* sp. aparecido en el yacimiento de Lezetxiki (Gipuzkoa); especie que hoy en día está ausente, no sólo en el Golfo de Bizkaia, sino también en la costa atlántica francesa y el Atlántico Norte. Es por ello que los investigadores Arrizabalaga et al. (2011) consideran que su presencia en el yacimiento debería ser explicado como resultado de una compleja red de intercambio, incluso entre grupos de cazadores-recolectores. Tal y como observamos mediante estos estudios de caso, queda patente que el interés que provoca esta temática está relacionado con la idea de algunos investigadores de que “las culturas no migran, la gente lo hace” (Anthony, 1997). Por lo tanto, conocer cómo se movieron los individuos de cada grupo nos puede aportar información muy relevante sobre la forma en la que el ser humano se relacionó con su entorno.

Tomando estos estudios como punto de partida, mediante esta Tesis Doctoral pretendemos establecer si los patrones conductuales de movilidad son comparables en diferentes zonas geográficas y cronologías; para ello, hemos utilizado los ya mencionados isótopos de estroncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), que nos han permitido observar las pautas de movimiento de manera diacrónica e individualizada. Gracias a esta nueva línea de investigación, sería posible obtener información para definir y determinar las zonas de caza y explotación de recursos, los terrenos destinados al pasto, el área o rango de desplazamiento de los individuos y, en general, sus patrones de movilidad. La

aplicación de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  es una línea de investigación pionera en los estudios de cronología prehistórica en el norte de la Península Ibérica. Hasta el momento, son muy escasos los estudios de isótopos de estroncio realizados en la región y periodo cronológico que analizamos en este trabajo, lo cual ha dificultado la comparación de resultados, aspecto en el que profundizaremos en el apartado de antecedentes.

Respecto a la contextualización cronológica, debemos comenzar remarcando la importancia del foco de neolitización que se originó en el Próximo Oriente, hace más de 10000 años (Simmons, 2011). Sin embargo, debemos dejar constancia de que existieron varios focos de neolitización, a pesar de que de aquí en adelante haremos referencia únicamente al que afectó a Europa. Dicho proceso supuso, entre otros muchos cambios, la expansión de un nuevo sistema económico de explotación, que alteró el estilo de vida de aquellas sociedades. Aunque no queremos extendernos en la descripción del proceso en sí mismo, estamos en la obligación de subrayar su complejidad, teniendo en cuenta que se trató de una serie de transformaciones, no sólo a nivel económico, sino también a nivel social, cultural y simbólico. Otra característica reside en la heterogeneidad de su proceso de expansión, puesto que cada área geográfica tiene sus propias particularidades, que imposibilitan hablar de un único y homogéneo proceso de neolitización. La transición o evolución de una economía basada en la caza y la recolección a una productora es, por lo tanto, lenta y muy dispar, en la que influyen diversos factores como el clima y la cultura previa de cada sociedad. Tal y como se ha mencionado previamente, a pesar de las particularidades de cada región, en todos los casos debemos tener en cuenta que muchos de los agriotipos de las especies domesticadas provienen de Próximo Oriente, y, por lo tanto, se expandieron desde ese origen por Europa (Larson y Fuller, 2014). Para explicar estos procesos y transformaciones, se han venido desarrollando dos corrientes teóricas bien diferenciadas (García-Martínez-de-Lagrán, 2018). Por una parte, el difusionismo, que se basa en la transmisión de este nuevo modo de vida mediante la movilidad de los individuos (teoría migracionista), de sus ideas (teoría indigenista) o de ambas (teoría mixta o dual) (Bernabeu et al., 2002). Por otro lado, contamos con la corriente autoctonista, que remarca el papel crucial de las sociedades receptoras, las cuales se someterían a un proceso de adopción paulatino por etapas y sin grandes rupturas (Baker, 1985; Rockman y Steele, 2003).

En el caso del norte de la Península Ibérica, la presencia de grupos pioneros neolíticos desde el VIII milenio calBP, junto al uso de abrigos rocosos como rediles, aportan una imagen diferente a la que se tenía tradicionalmente sobre la asimilación o instauración del Neolítico (Fernández-Eraso et al., 2017). Entre los cambios más relevantes, podemos destacar aquellos relacionados con la cultura material, como la aparición de la industria pulimentada (p.e. Mujika y Armendariz, 1991) y la cerámica (p.e. Fernández-Eraso, 2011). En cuanto a los comportamientos funerarios, desde el Neolítico Final y Calcolítico, es reseñable que se siguen utilizando las cuevas con fines sepulcrales, de manera coetánea al uso de los monumentos megalíticos. El auge en el uso de las cuevas sepulcrales podemos situarlo en el Calcolítico y al comienzo de la Edad del Bronce, es

decir, durante el V milenio y primera parte del IV milenio calBP (Armendariz, 1990; Ontañón y Armendariz, 2005). El megalitismo, por su parte, se trata de un fenómeno muy heterogéneo, en el cual se engloban estructuras tipológicas muy variadas: simples, con corredor, de gran o pequeño tamaño, con cámaras rectangulares o poligonales, etc. Todas ellas, se fechan desde finales del Neolítico y se mantienen también durante el Calcolítico, e incluso serán útiles hasta el comienzo de la Edad del Bronce, marcadas por el uso discontinuo y las reutilizaciones (Fernández-Eraso y Mujika, 2013).

Tras esta breve introducción damos, ahora sí, paso a la estructura general de la Tesis Doctoral: en primer lugar, se contextualiza la Tesis Doctoral, analizando el área de estudio y el estado de la cuestión nivel arqueológico e isotópico. Una vez delimitado el tema, tanto a nivel cronológico, como geográfico, se exponen de manera específica los objetivos y plan de trabajo de la Tesis Doctoral. Posteriormente, se explica la metodología utilizada en los análisis isotópicos realizados, que se han llevado a cabo utilizando soporte óseo y dentario de restos humanos y faunísticos, así como restos modernos de plantas y caracoles. La Tesis Doctoral consta, además, de varias partes, la primera de ellas responde a la necesidad de crear un trasfondo de niveles de estroncio, prácticamente inexistentes hasta ahora en la zona de estudio, que nos ayudarán a interpretar los datos aportados por los individuos objeto de análisis. A continuación, se describen por apartados los yacimientos prehistóricos en los que han sido aplicados los análisis isotópicos, más concretamente en los territorios históricos de Bizkaia (Pico Ramos y Santimamiñe), Araba (Fuente Hoz y Kurtzebide) y Gipuzkoa (Marizulo, Karea, Iruaxpe I y Urtao II), perteneciendo todos ellos a la Prehistoria Reciente, contando con restos que abarcan, desde el Mesolítico, hasta el Final del Calcolítico/Edad de Bronce Inicial. En esos mismos apartados contamos con la aportación de los resultados de isótopos estables de carbono y nitrógeno, que indican los patrones de alimentación de los inhumados; y de estroncio, realizados en el esmalte dentario que nos indican la movilidad de los mismos. Estos resultados son desgranados en un subapartado titulado *Summary* (resumen) incluido en cada yacimiento, que hemos considerado necesario para crear una base que más tarde se desarrollará en la discusión y conclusiones. Finalmente, y partiendo de la interpretación de estos resultados, se exponen los objetivos de trabajos futuros que podrían completar la presente Tesis Doctoral. De los mencionados apartados, algunos de ellos están en inglés y otros en castellano, puesto que, tras la realización de una estancia en la University Of Cape Town (Sudáfrica), se opta a la mención de Tesis Doctoral Internacional.



## 2. Antecedentes y estado de la cuestión

Este capítulo está compuesto por tres bloques, el primero de ellos corresponde al contexto geográfico en el que se enmarca esta Tesis Doctoral. El segundo expone el estado de la cuestión sobre el conocimiento de los patrones de alimentación y movilidad desde el punto de vista de la Arqueología, mientras que el último de ellos cumple con el mismo objetivo pero centrándose en los principios isotópicos y los estudios realizados hasta el momento.

### **2.1. Área de estudio**

#### **2.1.1. Marco geográfico general**

A continuación, vamos a desarrollar un apartado específico dedicado al marco geográfico del área de estudio, más concretamente de la zona occidental de los Pirineos. Haremos especial hincapié en el medio ambiental de cada una de las comarcas naturales en relación a los yacimientos analizados, con el fin de contextualizar las posibles vías de aprovisionamiento de recursos bióticos en las inmediaciones de los mismos. Para ello, además de presentar el relieve, y la cercanía a la costa cantábrica, aportaremos información sobre el clima, la fauna y flora local actual, junto a un breve apunte sobre la que se pudo encontrar en la Prehistoria, si bien profundizaremos más adelante en este último punto.

El territorio en el que se enmarca esta Tesis Doctoral se engloba en la actual Comunidad Autónoma del País Vasco, compuesto por los territorios históricos de Araba (3268 km<sup>2</sup>), Bizkaia (2217 km<sup>2</sup>) y Gipuzkoa (1977 km<sup>2</sup>). Esta región está situada al norte de la Península Ibérica y encarada al Golfo de Bizkaia, lo que define su carácter transicional, entre las masas continentales europeas y peninsulares. Esta ubicación provoca una fusión de las características atlánticas, mediterráneas y continentales; en este mismo sentido, la orientación este-oeste de las principales líneas montañosas genera cambios importantes en el esquema ambiental básico. Como consecuencia nos encontramos ante un declive altitudinal entre los macizos pirenaico y cantábrico, creando una serie de sierras, colinas y depresiones.

El territorio (Fig. 2.1) se encuentra dividido en dos vertientes por una cadena de sierras que, iniciándose en Sierra Salvada, continúa por Gorbea, Anboto, Elgea y Aizkorri, hasta llegar a Aralar, y que suponen la divisoria de aguas cántabro-mediterráneas. El paisaje general de la vertiente cantábrica es de tipo montañoso con estrechos valles; destacan algunos puntos con una altitud superior a los 1000 m (p.e., Oiz y Udalaitz). Los ríos son de corto recorrido y tienen gran desnivel, pudiendo destacar el Kadagua, Nerbioi e Ibaizabal en Bizkaia y el Deba, Urola, Oria y Bidasoa en Gipuzkoa. Al sur de la divisoria de aguas, en cambio, se encuentran dos alineaciones montañosas: los montes de Vitoria-Iturrieta-Entzia y Sierra de Cantabria. La altitud media de las zonas bajas se aproxima a los 500 m y las cotas más altas son superiores a los 1200 m. En esta

vertiente los ríos son de mayor recorrido, destacando el Zadorra y el Ebro (Álvarez, 1989).

Partiendo de esta base, el territorio objeto de análisis se compone de los siguientes espacios comarcales, de norte a sur: el Frente Litoral, los Valles Atlánticos, el Alto Pirineo, las Montañas Septentrionales, los Valles Subatlánticos, las Montañas y Altos Valles de Transición y los Valles Submediterráneos. En cuanto al relieve, tiene como eje central una estructura montañosa, de rumbo oeste-este, mientras que en las zonas norte y sur encontramos depresiones sedimentarias. En lo que se refiere a la divisoria de montañas, podemos distinguir entre el eje pirenaico y las sierras y depresiones que lo prolongan.



Figura 2.1: Mapa geográfico del País Vasco (modificado de gifex.com).

Si bien el contexto geológico se desarrollará en un apartado específico (5.1.1. *Regional geology*), destacamos la complejidad que llevó hasta el estado actual de las formaciones que componen el tercio norte peninsular, que forma parte principalmente de la Cuenca Vasco-Cantábrica. Los principales sustratos geológicos corresponden sobre todo al Cretácico (tanto Inferior como Superior), aunque también hay afloramientos del Paleozoico, Triásico y Jurásico en la sección noreste y algunas zonas marginales del Cuaternario (geo.euskadi.eus).

Debemos destacar que la mayor parte de las rocas que componen el sustrato son de naturaleza carbonatada, con un contenido en arcillas variable, que crea un entorno favorable para la creación de cuevas y abrigos de origen kárstico en afloramientos del Cretácico a lo largo de todo lo que hoy en día es la Comunidad Autónoma del País Vasco. Por ello, la mayoría de los yacimientos arqueológicos de época prehistórica de la

Cornisa Cantábrica se encuentran en las formaciones calizas del Albiense-Aptiense (García-Ibaibarriaga, 2015).

### 2.1.2. Clima

La climatología actual de la región está determinada por diversos factores: en primer lugar, la latitud, y por consiguiente la inclinación de los rayos solares. En el caso del País Vasco, entre los 42° y los 43.5° al norte del Ecuador, lo que la enmarca en la zona templada (Loidi et al., 2011). En segundo lugar, la distancia al océano y, más concretamente, a la Corriente del Atlántico norte, que hace que las masas de aire frío del norte de América se templen en el océano antes de llegar a las costas europeas. Influye, además, el Mar Mediterráneo (especialmente en el sur del País Vasco) en el reparto de las precipitaciones según la dirección del flujo, teniendo especial relevancia los vientos provenientes del este y sureste (VV.AA. 2009). El último aspecto que influye en el clima es el relieve, comenzando con la altitud relativamente alta del macizo que compone la Península Ibérica, junto a las montañas, que obstaculizan y modifican los flujos atlánticos que llegan a la costa. Estas masas de aire, que atraviesan la Península en dirección suroeste-noreste, se desecan para, a continuación, llegar al Cantábrico, donde se calientan y, como consecuencia, provocan condensación y precipitaciones. Centrándonos en el efecto del relieve vasco, cuando las masas vienen del noroeste, los montes vascos provocan que la región sea un paso natural para las mismas, generando vientos fuertes, más condensación, nubes y precipitaciones. A grandes rasgos podemos distinguir dos zonas claramente diferenciadas y una tercera intermedia (Ruiz y Galdos, 2008) (Fig. 2.2):

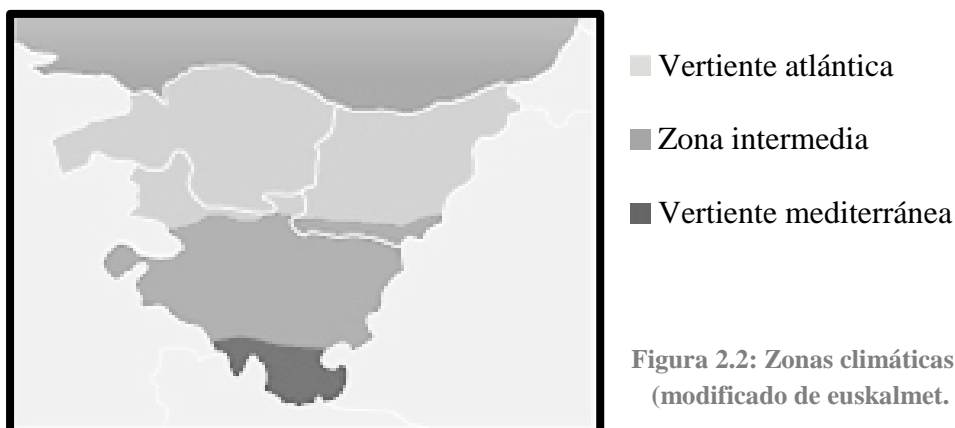


Figura 2.2: Zonas climáticas del País Vasco (modificado de euskalmet. euskadi.eus).

- Clima oceánico de la vertiente atlántica: caracterizado por temperaturas templadas, (con oscilaciones térmicas poco notorias) y precipitaciones abundantes y regulares, por lo que también es denominado clima templado húmedo sin estación seca o clima atlántico.
- Clima mediterráneo continentalizado de la vertiente mediterránea: al contrario que en el caso anterior el periodo estival es mucho más seco y con temperaturas más elevadas. En cuanto a los inviernos, son más fríos que en la costa, provocando una

mayor oscilación térmica, y con menor índice de precipitación, que es escaso a lo largo de todo el año.

- Clima subatlántico de la zona de transición: área de transición entre ambos climas. En ella predominan las características del clima oceánico, si bien con precipitaciones más moderadas y un verano algo más cálido y seco.

### 2.1.3. Paisaje: vegetación y fauna

El paisaje actual ha sufrido muchos cambios en los últimos milenios, en gran parte, consecuencia de las modificaciones generadas por el ser humano con el fin de explotar los recursos naturales y adaptar el territorio a sus necesidades, agrícolas y ganaderas en un primer momento y, más tarde, también industriales. Con la llegada del Neolítico, y potenciándose con la llegada de la metalurgia, el ser humano comenzó un proceso de deforestación en las zonas más llanas con el objetivo de, en un primer momento, buscar suelos más profundos para la explotación agrícola. En la vertiente atlántica, donde la ganadería fue muy relevante, esos bosques llegaron a transformarse en prados y helechales; por lo que la influencia humana se va extendiendo y los bosques quedan relegados a las montañas. Además, la silvicultura ha incidido de forma negativa en la fauna de nuestros bosques; como consecuencia, la estructura boscosa se simplifica, eliminando el sotobosque mediante la tala de arbustos y matas; además, se procura obtener masas de árboles coetáneas, que puedan ser explotadas sucesivamente, consiguiéndose un cultivo monoespecífico y eliminando la diversidad específica vegetal.

La fauna no ha sido ajena a estas alteraciones consecuencia de la acción humana. En líneas generales, podemos decir que la mayoría de las especies han visto cómo sus hábitats tradicionales han ido reduciéndose hasta quedar relegados a las pequeñas masas boscosas. Sólo las especies que han sido capaces de adaptarse han conseguido sobrevivir, mientras que aquellos animales con necesidades muy específicas han llegado incluso a desaparecer. Dos claros ejemplos de estas dos circunstancias son el zorro y el lobo: el primero de ellos es oportunista, que se ha adaptado a la nueva situación; el lobo, en cambio, ha sido intensamente perseguido, debido a que sus necesidades se solapan con las del ser humano (Echegaray et al., 2005).

Centrándonos en la vegetación, creemos conveniente realizar unos breves apuntes sobre la vegetación potencial del área de estudio, la cual se establece teniendo en cuenta la masa vegetal actual, tanto de la región, como de zonas cercanas, que se extrapolan para tener, así, una orientación de lo que ocurriría sin la influencia humana (Aseginolaza et al., 1989). Si a esta ecuación le restamos las especies alóctonas o cultivadas, y añadimos la información obtenida de los análisis paleobotánicos podemos hacer una reconstrucción paleoambiental.

En este sentido, con la llegada del Holoceno (11.800 BP) culmina una subida generalizada de temperaturas y un aumento de la pluviosidad, lo que trajo consigo la presencia mayoritaria de bosques caducifolios, caracterizados por *Ulmus*, *Quercus*, *Tilia*, *Fraxinus excelsior* (fresno común), *Acer* y *Alnus glutinosa* (aliso común) (Loidi et



al., 2011). Con el fin del período Atlántico y el comienzo del Subboreal descende la importancia de los robledales y, junto a una mayor pluviosidad, se expande la especie arbórea *Fagus sylvatica* (haya), que ocupa los niveles medios y medios-altos de las montañas, especialmente del sur de Europa. Su expansión fue primeramente reconstruida por Huntley y Birks (1984) y más tarde ratificada por otros investigadores como Peñalba (1989, 1994) e Iriarte-Chiapusso (1996). Si bien existen diferentes teorías sobre su expansión, la influencia antrópica jugó un papel crucial, puesto que, ya en el Neolítico, el ser humano intervenía considerablemente en el entorno natural.

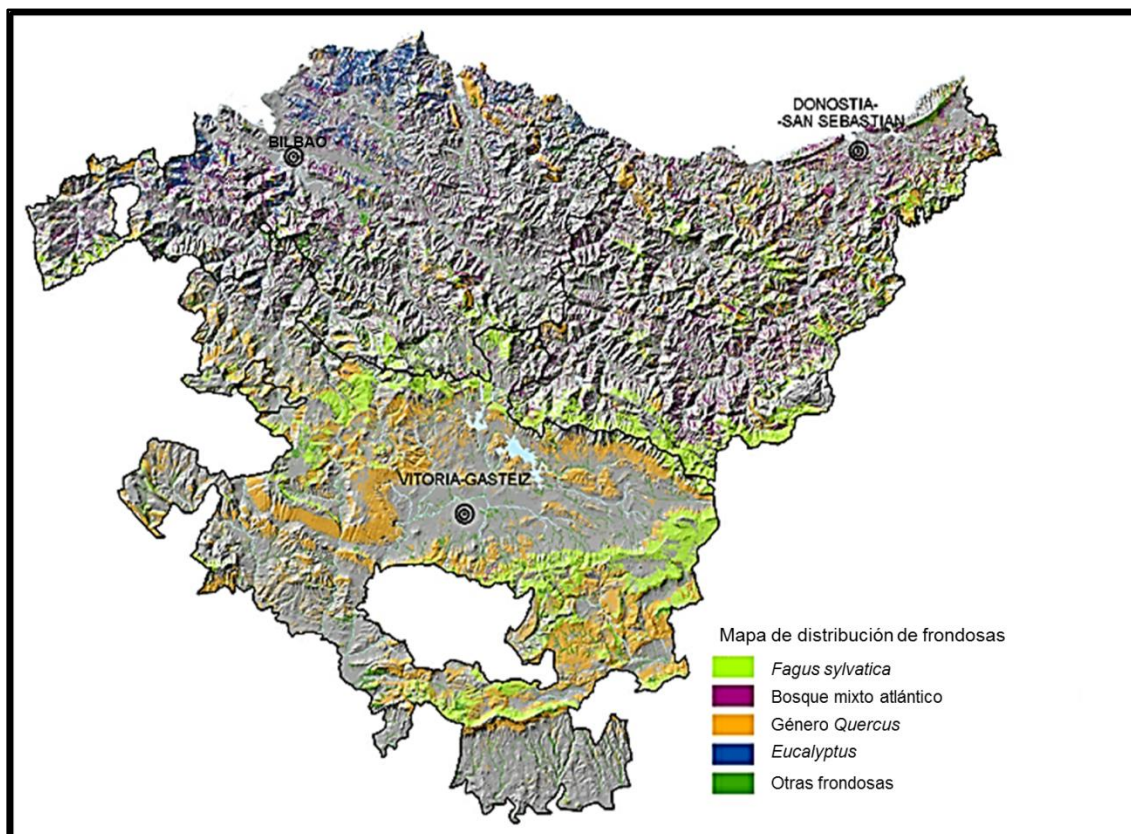


Figura 2.3: Mapa de distribución vegetal del País Vasco (modificado de euskadi.eus).

Respecto a la vegetación actual, el complejo arbóreo se caracteriza, en líneas generales, por la presencia mayoritaria de árboles de hoja caduca (Fig. 2.3), destacando a menos de 600 m el bosque mixto. Otra de las características de esta vegetación arbórea es el equilibrio existente entre las diferentes especies como son *Ulmus minor* (olmo común o negrillo) y *Ulmus glabra* (olmo montano)<sup>1</sup>, *Tilia platyphyllos* (tilo común) y *Tilia cordata* (tilo norteño o silvestre), *Corylus avellana* (avellano común) y *Quercus robur* (roble común), siendo este último uno de los taxones más frecuentes (Aseginolaza et al., 1985). En esas mismas altitudes bajas encontramos, además, la landa, compuesta por

<sup>1</sup> Hacemos referencia a la presencia de *Ulmus minor* y *Ulmus glabra* a lo largo del texto porque ha sido un taxón de gran importancia a nivel histórico. Sin embargo, en los últimos años debemos considerarlo casi extinto, debido a una enfermedad conocida como *grafiosis* (ingurumena.ejgv.euskadi.eus).

*Calluna vulgaris* (brecina), *Ulex europaeus* (argoma) y *Pteridium aquilinum* (helecho), y pequeñas formaciones de bosques de *Quercus pyrenaica* (roble melojo) y *Betula pendula* (López-Borobia, 1985). A partir de los 600 m la vegetación cambia en la región objeto de estudio, dando paso a bosques más frondosos, compuestos por grandes árboles como *Fagus sylvatica*, que tiende a extenderse sin dejar espacio a otras especies. Aun así, otros especímenes como *Corylus avellana*, *Tilia platyphyllos* y *Tilia cordata*, *Ulmus minor* y *Ulmus glabra* pueden aparecer (Loidi et al., 2005). A este entramado arbóreo se le suma la presencia arbustiva de *Vaccinium* sp. (arándano), *Ilex aquifolium* (acebo), *Crataegus* sp. (espino) o *Buxus* sp. (boj). La zona objeto de estudio es, tal y como hemos visto, un territorio con características naturales muy diversas; tomando como punto de partida aspectos como el relieve y el clima queda patente la amplia variedad paisajística de la región. En este sentido, encontramos cinco zonas diferenciadas, de norte a sur (García-Ibaibarriaga, 2015):

- El litoral: Hace referencia a la zona ya mencionada que se sitúa junto al mar, en la que se engloba toda la zona costera desde el extremo este colindando con Francia, Hondarribia (Gipuzkoa), hasta la frontera con Cantabria en Kobaron (Bizkaia). La costa en sí misma destaca por ser muy escabrosa y rocosa, compuesta por un gran desnivel a pesar de tratarse de una zona poco sinuosa, lo que genera unos abruptos acantilados consecuencia de la erosión marina. Respecto a la vegetación, los cantiles pedregosos son un entorno desfavorable para el desarrollo de la misma, en las zonas más costeras únicamente encontramos aquellas que pueden soportar la salinidad y suelen aparecer en las fisuras de la roca, tales como la *Crithmum maritimum* (hinojo marino), *Daucus carota* subsp. *gummifer* (zanahoria de acantilado), *Spergularia rupicola* (arenaria rupícola), *Silene vulgaris* subsp. *maritima* (colleja marina), *Armeria euskadiensis* (armería vasca), *Festuca rubra* subsp. *Pruinosa* (festuca roja), *Limonium binervosum* (acelga salada) y *Asplenium marinum* (helecho marino) (Aseginolaza et al., 1989). En la parte superior de los acantilados las herbáceas dejan paso a una serie de matorrales, especialmente de *Ulex europaeus*, *Genista hispanica* (olaguina) y *Erica vagans* (brezo), junto a *Smilax aspera* (zarzaparrilla), *Hedera helix* (hiedra), *Rosa sempervirens* (rosal silvestre), *Rhamnus alaternus* (aladierno) y *Arbutus unedo* (madroño). Entre las plantas que podemos encontrar en las playas son reseñables la *Ammophila arenaria* (carrizo), *Helichrysum stoechas* (siempreviva), *Thymus praecox* (serpol serrano). A nivel arbóreo, destacan el *Quercus ilex*, *Arbutus unedo*, *Pistacia lentiscus*, *Pinus pinaster* (pino rodeno) y *Quercus suber* (alcornoque mediterráneo), estos dos últimos cultivados. Finalmente, en el caso de las marismas, las constituyen principalmente herbáceas *Zostera noltii* (broza), *Spartina* spp. (espartina), *Halimione portulacoides* (verdolaga marina), *Sarcocornia* spp. (sosa), *Salicornia ramosissima* (alacranera de las marismas), *Tamarix gallica* (taray), *Inula crithmoides* (hierba del cólico), *Elymus* spp. (grama de las boticas) y *Ruppia maritima* (broza fina), junto a otras de porte alto como las juncáceas (Aseginolaza et al., 1989).

- Valles y Montañas Atlánticos: Hacen referencia a prácticamente toda la vertiente atlántica, es decir, las provincias de Bizkaia y Gipuzkoa, además de algunos valles septentrionales de Araba. Esta zona se caracteriza por sus bosques mixtos, sobre todo caducifolios, en los que aparecen en diferentes proporciones *Quercus robur*, *Ulmus minor*, *Ulmus glabra*, *Tilia platyphyllos*, *Tilia cordata* y *Corylus avellana*. Además, señalamos la presencia de *Quercus ilex* subsp. *Ilex* (encina), (Aseginolaza et al., 1989), junto a *Ilex aquifolium*, *Arbutus unedo* (madroño) o *Erica arborea* (brezo arbóreo); mientras que a partir de los 700m de altitud los bosques se convierten en más grandes y frondosos, mayoritariamente de *Fagus sylvatica* (López Borobia, 1985). Finalmente, no podemos olvidarnos de los taxones relacionados con los entornos acuáticos continentales, especialmente *Alnus glutinosa*, *Fraxinus* sp. (fresno), *Acer* sp., *Salix* sp. (sauce) y los ya mencionados *Ulmus minor*, *Ulmus glabra* y *Corylus avellana* (Aseginolaza et al., 1985). En cuanto a los arbustos, podemos destacar *Ulex europaeus*, *Erica vagans* y *Filicopsida* sp. (helecho), *Rubus* sp. (zarzamora) y *Sambucus* sp. (sauce) (García-Ibaibarriaga, 2015).
- Montañas Septentrionales: Esta zona refiere a la divisoria de aguas entre el Cantábrico y Mediterráneo previamente explicada, caracterizada principalmente por la presencia dominante de *Fagus sylvatica*. Los bosques son en líneas generales muy frondosos, en los que apenas se encuentra presencia arbustiva, si bien el trío compuesto por *Ulex europaeus*, *Erica vagans* y *Filicopsida* sp. está presente.
- Valles y Montañas Subatlánticos: Se encuentra aún bajo la influencia de la zona atlántica, pero en la vertiente mediterránea, fuertemente antropizada. A pesar de que las zonas dedicadas al cultivo son mayoritarias, dentro del estrato arbóreo podemos destacar el *Quercus robur*, junto al *Acer campestre* (arce silvestre) y al *Fraxinus excelsior* y la presencia de *Quercus faginea* (quejigo) en las faldas de los montes y del *Quercus pyrenaica* en los sustratos arenosos; la principal diferencia respecto a las montañas septentrionales reside en la práctica ausencia de *Filicopsida* sp.
- Valles y Montañas Submediterráneos: Dos son los aspectos que más destacan de esta zona respecto a los valles y montañas de Bizkaia y Gipuzkoa; en primer lugar la riqueza forestal de especies autóctonas a pesar de la sobre explotación; y, en segundo lugar, la variedad forestal, compuesta principalmente por *Pinus halepensis* (pino de Alepo), *Pinus sylvestris* (pino silvestre), *Quercus ilex*, *Quercus faginea*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus coccifera* y *Fagus sylvatica*. Junto a esta masa arbórea, encontramos zonas arbustivas principalmente con *Erica vagans* y *Buxus sempervirens*. En cuanto a las herbáceas podemos destacar las plantas aromáticas como *Thymus* (tomillo) y *Rosmarinus officinalis* (romero). Un último aspecto destacable son los conocidos como bosques galería compuestos

por *Populus nigra* (chopo negro), *Populus alba* (chopo blanco) y *Alnus glutinosa* y arbustos como *Salix* sp., *Corylus avellana* o *Sambucus* sp. (Aseginolaza et al., 1989).

Dejando a un lado la vegetación, a continuación vamos a hacer hincapié en las especies de mamíferos salvajes de gran tamaño que nos podemos encontrar en las zonas actuales de los yacimientos objeto de estudio; para ello, las hemos dividido en un primer grupo de carnívoros y omnívoros y otro de herbívoros, con el fin de establecer paralelismos con las que podemos encontrar en el registro arqueológico:

a) Carnívoros y omnívoros:

- *Canis lupus*: El lobo es un mamífero perteneciente a la familia de los cánidos y se distribuye ampliamente por el hemisferio norte del planeta. Es un gran predador y, por tanto, un carnívoro controvertido desde el punto de vista humano. Ocupa la cúspide de la pirámide trófica realizando una profunda selección natural de sus presas silvestres, lo que contribuye a la regulación de sus poblaciones. Si bien es un animal eminentemente carnívoro, presenta una alta plasticidad trófica, siendo capaz de aprovechar aquella fuente de alimento más disponible en cada momento y lugar. Actualmente en la Península Ibérica hay dos poblaciones (una en el cuadrante noroccidental que engloba las comunidades autónomas de Galicia, Asturias, Cantabria, Castilla y León y la Rioja, y otra al sur, en Sierra Morena) y un tercer núcleo de reciente aparición ubicado en la zona del Pirineo Catalán (Álvarez, 1989).
- *Vulpes vulpes*: El zorro es un mamífero carnívoro cuyo aspecto general es el de un perro de tamaño medio. Se trata de un animal huidizo y solitario desarrollando la mayor parte de su actividad de manera nocturna. Su alimentación es básicamente carnívora, si bien aprovecha gran variedad de recursos, como la carroña, pequeños mamíferos y frutos, por lo que busca alimento en bosques, matorrales y cultivos. Se expanden por una gran variedad de hábitats, aunque suelen preferir las zonas boscosas para establecer sus madrigueras. Actualmente, en el País Vasco se han localizado una gran variedad de zonas en las que residen, tanto boscosas, como zonas abiertas, extendiéndose su presencia en toda la Península Ibérica, Europa, norte de África, etc. (Álvarez, 1989).
- *Martes martes*: Mamífero de tamaño medio, cuya longitud corporal puede alcanzar los 55 cm, con una cola de hasta 27 cm. Esta especie, típicamente forestal, vive en zonas en las que se mantienen importantes superficies de bosque de caducifolias, tanto en bosques de llanura como de montaña. Las principales presas de su dieta son los pequeños mamíferos, las aves y los frutos; también captura reptiles, anfibios, peces e, incluso, insectos. Su presencia se restringe a las grandes sierras de la divisoria de aguas cántabro-mediterránea, a la sierra de Cantabria y a Karrantza, además de algún punto aislado en el territorio (Álvarez, 1989).

- *Meles meles*: El tejón ocupa zonas de matorral y arbolado, así como zonas de cultivo en Araba. Se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2000 m de altitud en los Pirineos, pero su densidad en alta montaña es muy baja. Ocupa una gran variedad de hábitats, tanto boscosos, como de matorral, campiña o cultivos, aunque con especial predilección por los bosques de frondosas; únicamente está condicionado por la naturaleza del suelo y la existencia de algún tipo de protección para sus madrigueras. Es un omnívoro oportunista, que adapta su dieta a los recursos locales y a la época del año (Álvarez, 1989).
- *Felis silvestris*: El gato montés tiene un aspecto muy similar al del gato doméstico. Su alimentación se compone básicamente de pequeños mamíferos, especialmente múridos, microtininos y aves silvestres. El gato montés es el único felino salvaje que habita actualmente en el País Vasco, distribuido de manera bastante general, aunque localizado en áreas puntuales con importantes masas forestales. En Araba concretamente, el gato montés aparece ligado a bosques, prefiriendo frondosas a coníferas, encontrándose relegado a las zonas de mayor altitud: la mayor parte de las citas se producen a partir de los 1000 m, y está ausente de las zonas llanas, valles y zonas habitadas (Álvarez, 1989).
- *Sus scrofa*: El jabalí tiene grandes similitudes respecto al cerdo, con un tronco muy robusto y gruesa cabeza en la que destacan los caninos muy desarrollados. Es el animal omnívoro por excelencia, su dieta es muy variada e incluye casi cualquier tipo de materia vegetal además de pequeños mamíferos y huevos de pájaros, si bien los vegetales (principalmente los hayucos y bellotas) son la base de su alimentación. Aparece en todo tipo de hábitats, aunque prefiere los bosques caducifolios con vegetación arbórea y arbustiva que le aporten cobijo. A pesar de ello, durante la noche suelen moverse a zonas abiertas y acude a las praderas, matorrales y cultivos a hocear cuando el alimento escasea en los bosques. En la actualidad, el jabalí presenta una distribución generalizada por toda la región, que debe su auge en las últimas décadas a la ausencia de lobos y, por lo tanto, su principal predador (Loidi et al., 2005).

b) Herbívoros:

- *Oryctolagus cuniculus*: El conejo europeo es un mamífero perteneciente a la familia *Leporidae*. Su régimen alimentario se basa en plantas herbáceas, pero en caso de falta de sustento su voracidad les hace alimentarse de brotes e incluso cortezas de árboles. Actualmente se encuentran en los matorrales y zonas bajas de las montañas con pastos o cultivos próximos; evita la zona interior de los bosques densos de coníferas, aunque es posible encontrarlo en bosques caducifolios con escaso sotobosque. No coloniza la alta montaña, sin embargo,

en la zona más oriental de los Pirineos ha llegado a encontrarse en cotas de hasta 2000 m (Álvarez, 1989).

- *Lepus europaeus*: Es la mayor de las liebres del País Vasco, grande y con las extremidades largas. Su alimentación se basa sobre todo en gramíneas, aunque en invierno puede comer hongos, frutos y brotes de árboles y arbustos. Tiene una distribución amplia, evitando las plantaciones de coníferas de Bizkaia y Gipuzkoa. Ocupa zonas de matorral y arbolado, así como zonas de cultivo abiertas en Araba. Se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2000 m de altitud en los Pirineos, pero su densidad en alta montaña es muy baja (Rubines, 2017).
- *Lepus granatensis*: Es similar a la liebre europea pero de menor tamaño, y tiene el pelaje blanco en el vientre y las patas. Al igual que la liebre europea, se alimenta principalmente de gramíneas, aunque ocasionalmente puede comer frutos y brotes de árboles y arbustos. Viven en hábitats de matorral, pastizales de montaña y zonas de cultivo al sur de Araba donde cohabitan con la liebre europea (Rubines, 2017).
- *Capreolus capreolus*: El corzo es un cérvido de talla media y cuerna corta, muy diferente a la del ciervo. Su alimentación se basa en partes verdes de plantas herbáceas, así como ramas y brotes frescos de árboles. Se extiende por toda la región objeto de estudio, utilizando hábitats forestados, bien sea de frondosas, coníferas o mixtas, y áreas de lindero entre el bosque y los espacios abiertos, bien sean pastos, prados o campos de cultivo; elige preferencialmente las zonas donde el sotobosque es más denso. El corzo se caracteriza por ser un animal de gran adaptación a diferentes medios, tanto en zonas de litoral, como montañosas, y, al igual que en el caso del jabalí, su aumento demográfico es consecuencia de la ausencia de depredadores (Loidi et al., 2005).
- *Cervus elaphus*: El ciervo es el artiodáctilo salvaje de mayor tamaño de los que se encuentran en la zona. Los machos, que pueden llegar a alcanzar los 200 kg presentan una cuerna ramificada típica, por la que pueden ser fácilmente reconocidos. Su alimentación se basa principalmente en plantas leñosas, con un mayor consumo de plantas herbáceas en primavera y verano (Garin et al., 2001). Si bien debemos destacar que es una especie que consume una amplia variedad de recursos, incluyendo tubérculos, cortezas, hierbas, hojas y frutos (Rubines, 2017). Las principales poblaciones de la región se limitan al área de Gorbea, tanto en la zona de Araba, como de Bizkaia, y a Karranza, en Bizkaia. En Gipuzkoa, existen citas ocasionales de la especie en la zona de Leitzarán (Álvarez, 1989).

Respecto a la fauna que podemos encontrar en los yacimientos arqueológicos, daremos más detalles en el apartado correspondiente (5. *Materials and Results*), sin embargo, creemos conveniente realizar una serie de anotaciones generales. En primer lugar, y durante las fases previas a la domesticación, destaca la alternancia entre los grandes carnívoros y la presencia humana, que se traduce en una intercalación entre la presencia de carnívoros y los niveles de habitación humana en el registro arqueológico. Aun así, entre los carnívoros existentes los más frecuentes son los ya mencionados para la fauna actual (*Canis lupus*, *Vulpes vulpes*), a los que debemos sumar el oso cavernario (*Ursus spelaeus*) y, además, el omnívoro *Sus scrofa*. En cualquier caso, el conjunto más abundante es, sin lugar a dudas, el de los herbívoros de mediano y gran tamaño, entre los que destacamos *Cervus elaphus*, *Capra pyrenica*, *Capreolus capreolus* y *Rupicapra pyrenaica*.

Cuando avanzamos hasta cronologías neolíticas y post neolíticas, a pesar de que prevalecen los herbívoros, destaca el carnívoro *Canis familiaris*. Entre los herbívoros y omnívoros, y a pesar de que las especies salvajes siguen apareciendo en el registro, aparece la cabaña ganadera de manera más habitual, compuesta por bovinos (*Bos taurus*), ovicaprinos (*Ovis aries*/*Capra hircus*) y suidos (*Sus domesticus*).

## 2.2. Aproximación arqueológica a los patrones de alimentación y movilidad en la Prehistoria

Antes de exponer qué tipo de información nos aporta la Arqueología respecto a los patrones de alimentación y movilidad territorial es necesario contextualizar a nivel historiográfico dichos datos. Para ello vamos a hacer una breve introducción al contexto vegetal y faunístico del Holoceno para, a continuación, hacer un repaso a las características más relevantes de cada periodo cronológico en que se enmarca este trabajo.

Tal y como hemos mencionado, todos los yacimientos estudiados en esta Tesis Doctoral pertenecen al Holoceno (Walker et al., 2012), más concretamente al Holoceno Medio (8200-4200 BP) y a la primera parte del Holoceno Reciente (4200 BP hasta la actualidad), contando con restos que abarcan desde el Mesolítico hasta el Final del Calcolítico/Edad de Bronce Inicial. En esta fase cronológica, tanto la vegetación, como la fauna tienen características que debemos desarrollar, aunque sea brevemente, teniendo en cuenta su influencia y relación respecto al ser humano. Con el comienzo del Holoceno la vegetación se caracteriza por un aumento generalizado de la masa arbórea caducifolia, gracias a que el clima se atempera durante el período Boreal (ca. 8750-7450 calBP); como consecuencia, los recursos vegetales y su diversidad están asegurados, destacando la recolección de productos silvestres como las bellotas o las avellanas (Zapata, 2000). A continuación llegaría el período Atlántico (ca. 7450-4950/4450 calBP), caracterizado por un ligero enfriamiento y una mayor pluviosidad, momento en el que se extienden por Europa occidental las formas culturales del Neolítico. Respecto a la composición de la fauna mayor, que suele ser objeto de las actividades cinegéticas, sufre modificaciones, mientras que las especies frías emigran más al norte o desaparecen y comienzan a explotarse preferentemente los ciervos, corzos y jabalíes (p.e., Castaños y Castaños, 2011). Junto a la caza de las especies de mayor tamaño, se practica la de otros mamíferos de talla menor y de aves (p.e., Murelaga et al., 2011) y la explotación de los recursos acuáticos, tanto marinos, como fluviales, mediante la pesca o el marisqueo (p.e., Gutiérrez, 2011; Roselló y Morales, 2011). La mencionada mejoría climática también afecta a los patrones de ocupación del ser humano, ya que permite, además, que los grupos humanos ocupen y habiten zonas en las que hasta el momento no lo hacían. También en los primeros milenios del Holoceno se produjo una transgresión marina que dejó el nivel del mar a cota actual, lo que supuso una desaparición de gran parte del corredor de la plataforma litoral que favorecieron, ya desde el Paleolítico, las comunicaciones en ambas direcciones (Arrizabalaga et al., 2016).

Si nos centramos en las culturas humanas de este periodo, nos encontraremos, en primer lugar, con aquellas que se agrupan bajo las denominaciones genéricas de Epipaleolítico y Mesolítico. El Epipaleolítico hace referencia a una perduración del inmediato Paleolítico Superior que finaliza. En cambio, en el término Mesolítico se engloban innovaciones notables que definen una nueva situación intermedia entre el precedente



Paleolítico y el posterior Neolítico (Barandiaran, 2012; González-Morales et al., 2004). A nivel cultural, el argumento tradicional para determinar las diferentes variantes se ha basado en, por mencionar algunos, el estudio de los instrumentos tallados en piedra, los análisis de restos arqueobotánicos, de huellas de uso o del origen de las materias primas. Teniendo estos factores en cuenta, nos encontraríamos, en primer lugar, con el periodo conocido como Aziliense cantábrico, que supone una evolución de parte del utillaje y la práctica desaparición del arte figurado precedente (Straus, 2018). Se habitan las cuevas, como en fases anteriores, y las actividades cinegéticas se centran en las especies más abundantes (sobre todo ciervo y cabra montesa), junto a la explotación intensa y diversificada de los recursos vegetales (Zapata, 2000) y costeros (Álvarez-Fernández, 2005).

El Mesolítico trajo consigo una fase de adaptación de los grupos prehistóricos a las alteraciones del medio provocadas por la llegada del Holoceno (Straus, 2008). Estos colectivos, cuya aparente heterogeneidad refuerza la teoría de la evolución *in situ*, muestran una fijación progresiva en sus sitios de residencia, a lo que debemos añadirle un desarrollo social notable. Algunos arqueólogos (p.e., Gamble, 2001) han propuesto, mediante la Antropología, la posibilidad de dos tipos de población: (1) bandas móviles o de movilidad residencial que se asientan en zonas con un amplio abanico de recursos, que componen una sociedad igualitaria y de alta movilidad; (2) grupos semiestables con una movilidad más reducida que pueblan territorios especializados y que tienen una sociedad más compleja. Si trasladamos estos modelos a la problemática peninsular observamos que el patrón de bandas móviles podría aplicarse a los yacimientos encontrados, por ejemplo, en los abrigos y cuevas del frente litoral mediterráneo de la cuenca del Ebro (Soto et al., 2015).

Los sistemas de ocupación de esta fase cultural se caracterizan por una reorganización del paisaje debido al aumento demográfico, lo que lleva a ocupar nuevos territorios, además de los tradicionalmente utilizados durante el Paleolítico Superior; se extienden hacia zonas del interior y existe una tendencia al asentamiento en abrigos de poco fondo. Los grupos mesolíticos optan por una relativa sedentarización, que se manifiesta en diversos modelos de poblamiento y organización (p.e. Edeso y Mujika, 2017): (1) en zonas costeras y estuarinas del frente atlántico encontramos poblados con una cierta estabilidad y una incipiente diferenciación social (argumentada por la diversidad en los rituales funerarios); (2) en las regiones montañosas y de interior se observan movimientos migratorios estacionales, las poblaciones están fragmentadas y dispersas por puntos concretos dentro de espacios amplios de acuerdo con diferentes zonas de explotación; (3) en el paisaje litoral cantábrico, caracterizado por la presencia de pequeños valles que miran hacia el mar, los grupos humanos se cobijan en cuevas y abrigos desde los que acceder fácilmente a la explotación costera; (4) en la cuenca del Ebro las pautas de ocupación son uniformes, los individuos también prefieren abrigos rocosos ubicados cerca de los recursos fluviales.

Respecto a las actividades de aprovisionamiento, aspecto en el que nos centraremos a continuación, ya algunos prehistoriadores como Clark (1980) destacaron hace décadas

la importancia de la explotación de recursos vegetales, accesibles gracias a la extensa capa arbórea ya mencionada previamente. Esto ha contribuido a desmontar la imagen muy simple de los cazadores del Mesolítico, y hacerlos ver como cazadores-recolectores complejos que también explotarían diferentes recursos como peces, moluscos (tanto marinos, como terrestres), aves, crustáceos, etc. Tal y como ya se ha venido mencionando, las especies de mamíferos más cazadas serían aquellas que encontraríamos en las zonas forestales, como los corzos y los jabalíes. Si bien la explotación suele ser bastante diversificada, contamos con la existencia de algunos yacimientos especializados, como pueden ser el caso del jabalí en el abrigo de la Peña de Marañón (Cava y Beguiristain, 1991-1992), o el uro en Mendandia (Alday et al., 2012).

Finalmente, debemos destacar la importancia de los rituales funerarios de las poblaciones del Epipaleolítico/Mesolítico en Europa occidental, entre los que encontramos dos comportamientos diferenciados: en primer lugar, los grupos epipaleolíticos y mesolíticos del modelo de bandas móviles, que inhuman a sus fallecidos en fosas cavadas en los suelos de las propias cuevas y abrigos de habitación. En segundo lugar, los mesolíticos que siguen el modelo de grupos semiestables, que tienden a agrupar las tumbas en necrópolis situadas al lado de los campamentos, como son buen ejemplo las grandes necrópolis de los concheros de Téviec y Hoëdic en la Bretaña Francesa (Sarasketa-Gartzia, 2015).

Si avanzamos cronológicamente, la neolitización fue uno de los acontecimientos que modificaron profundamente el rumbo de las sociedades humanas. Supuso la adopción, no sólo de una economía de producción, sino de una serie de cambios a nivel tecnológico, social y cultural. Las transformaciones más conocidas están relacionadas con el comienzo de las prácticas agrícolas y las ganaderas, que alterarían para siempre la forma que tiene el ser humano de explotar y relacionarse con el medio natural. Junto a ello, destacamos la importancia que tuvieron algunas innovaciones tecnológicas como el uso de la cerámica (Fernández-Eraso, 2011) o la piedra pulimentada (Fernández-Eraso et al., 2009). Finalmente, la complejidad social y cultural de estos grupos se ve ampliamente reflejada en los modelos de asentamiento, los rituales funerarios y las *ideas religiosas* (Martí, 2012). Debemos dejar constancia, sin embargo, de que este proceso no supuso una ruptura drástica respecto a las sociedades epipaleolíticas; por el contrario, la aparición de la economía de producción hace referencia a un proceso mucho más complejo, que ya se iniciaría por parte de algunas sociedades cazadoras-recolectoras en distintas partes del mundo.

En cualquier caso, el punto de origen de la neolitización que se extendería hasta nuestra zona de estudio lo podemos ubicar en Oriente Medio hace más de 10000 años (Mazurié de Keroualin, 2007). En esta región existían condiciones ecológicas y geográficas que proporcionaron una gran variedad de especies, tanto animales, como vegetales, que más tarde serían domesticadas, entre las que podemos destacar el trigo (*Triticum* sp.) y la cebada (*Hordeum vulgare*) por un lado, y la oveja (*Ovis aries*) o la cabra doméstica (*Capra hircus*) por otro, y que marcarían el comienzo la economía productora. En la

primera fase de este proceso, conocido como Neolítico Preocerámico A (Pre Pottery Neolithic A), los poblados se extienden, y el ser humano ya cultiva el trigo y algunas leguminosas, junto a una continuidad en las actividades cinegéticas, especializadas en grandes herbívoros. En la segunda fase, Neolítico Preocerámico B (Pre Pottery Neolithic B), los mencionados poblados se convertirían en núcleos agrícolas con las primeras especies morfológicamente domésticas, tanto animales, como vegetales (p.e., Colledge y Conolly, 2018; Horwitz et al., 1999). Será también a partir de este momento cuando encontremos las innovaciones tecnológicas mencionadas previamente, como la cerámica. Si bien no queremos extendernos en la descripción del proceso en sí mismo (aunque debemos subrayar la importancia de Childe [1936] y sus ideas sobre la revolución neolítica), estamos en la obligación de insistir en su complejidad, puesto que cada área geográfica tuvo sus propias particularidades, en función de factores tan diversos como el clima y la cultura previa de cada sociedad, que imposibilitan hablar de un proceso único y homogéneo.

Si comparamos las características de la expansión de la neolitización en el propio Oriente Medio con lo que ocurrió en Europa, el primer rasgo destacable es la relativa rapidez con la que se desarrolló. Apenas un milenio más tarde, la revolución neolítica llegaba ya a Europa Central, a través de la zona de los Balcanes. Las pruebas más destacables son la aparición de varias plantas cultivadas y animales domésticos; en este mismo sentido, se repite el patrón de los primeros cultivos centrados, fundamentalmente, en el trigo y en la cebada y que los primeros animales domésticos sean la oveja, la cabra y la vaca (p.e., Bogaard, 2004). Los estudios paleontológicos y paleobotánicos realizados hasta el momento muestran la inexistencia de antecedentes silvestres de la mayor parte de las especies mencionadas, que serán de gran importancia económica en los inicios del Neolítico (p.e., Edwards et al., 2007); sin embargo, debemos remarcar la presencia previa, tanto del uro, como del jabalí en Europa.

Centrándonos en cómo afectó esta revolución a la Península Ibérica, los primeros grupos neolíticos podemos fecharlos en el VIII cal BP (Fernández-Eraso et al., 2017), y su llegada supuso, al igual que para el resto de Europa, el punto de partida para un cambio en la explotación del entorno, las complejidades sociales y culturales etc. que se desarrolló a medida que avanzó el Neolítico y Calcolítico. En estas fases, los grupos humanos, que se habían establecido hasta el momento en cuevas o abrigos, pasan a ocupar espacios al aire libre, como es el caso del yacimiento de Herriko Barra en Gipuzkoa (Iriarte-Chiapusso et al., 2005). A nivel económico, destaca el papel de la agricultura cerealística (sin olvidar la importancia que aún mantendría la recolección de los frutos silvestres) (Iriarte-Chiapusso y Zapata, 2004), principalmente por la capacidad de los cereales para proporcionar una dieta equilibrada con suficientes calorías y proteínas; además, los cereales se caracterizan por ser fáciles de almacenar y conservar. Por otro lado, fue también muy relevante la existencia de una ganadería protagonizada por *Ovis aries*, *Capra hircus*, *Bos taurus* y *Sus domesticus*, a lo que haremos referencia como el trío de cabaña tradicional (ovicaprino, bovino y porcino). El otro animal domesticado que debemos remarcar es *Canis familiaris*, si bien el perro representa un

factor irrelevante en su contribución a la dieta alimenticia, su presencia se relaciona con la de un compañero de caza y guardián (p.e. Altuna y Mariezkurrena, 2007-2008).

En el caso concreto de la zona geográfica que corresponde a la actual Euskal Herria (Comunidad Autónoma del País Vasco y Comunidad Foral de Navarra), la revisión y excavación de los yacimientos nos ofrecen un panorama caracterizado por una etapa de transición entre el Mesolítico y el Neolítico Pleno extensa en el tiempo. Especial importancia tiene la presencia de cerámica cardial en el abrigo de Peña Larga (Cripán, Araba), datado por radiocarbono entre 7479-6499 calBP y 6913-6401 calBP<sup>2</sup> (Fernández-Eraso, 1997); si a ello le sumamos la presencia de la ganadería, desde comienzos de VIII milenio calBP, y de rediles, a mediados del mismo, nos encontramos ante una imagen que dista mucho de la tradicional de un *Neolítico retardario y aislado* en la región (Fernández-Eraso et al., 2017). Entre los yacimientos cuyas fases de ocupación abarcan, tanto cronologías epipaleolíticas, como neolíticas, es destacable la cueva de Zatoya (Abaurrea Alta, Nafarroa). En ella se observa el proceso de neolitización, resultado de una aculturación parcial por parte de colectivos indígenas con una fuerte tradición. Estos grupos de cazadores recolectores contarían con un utillaje antiguo, y conocerían entonces las especializaciones de los ajuares geométricos, recibiendo, a continuación, la cerámica (Barandiaran, 1995).

El Neolítico tiene, a su vez, diferentes fases con características propias: la cultura material del Neolítico Antiguo se caracteriza por segmentos de sílex con retoque bifacial y por la aparición de sílex evaporíticos (p.e., Tarrío et al., 2011); respecto a la cerámica, una de las más reseñables es la cerámica impresa de tipo cardial (p.e., Mujika, 2004). De esta misma cronología son las primeras evidencias de ganadería en el yacimiento de Peña Larga o los primeros restos de polen de cereal doméstico, trigo y cebada encontrado en los yacimientos de Los Cascajos (Los Arcos, Nafarroa) y Los Husos I (Elvillar, Araba) (Fernández-Eraso, 2004). La segunda mitad del Neolítico es la fase en la que se observa una presencia mayoritaria de elementos geométricos con retoque bifacial en la región del cantábrico, junto a otros fabricados con retoque abrupto (Fernández-Eraso et al., 2015); al igual que en el Neolítico Antiguo, la materia prima es principalmente sílex de Urbasa y Treviño (Tarrío, 2006). Sin embargo, además del sílex, aparecen también hachas pulimentadas de ofita y otras rocas ígneas. La cerámica que encontramos es consecuencia de un proceso delicado, que incluye superficies suaves y decoraciones mediante impresión o incisión (Fernández-Eraso et al., 2015). Igualmente en esta fase, la economía de producción puede encontrarse por toda la región objeto de estudio, con la presencia de trigo (*Triticum dicocum* o *Triticum monococum*) y cebada (*Hordeum vulgare*) (Peña-Chocarro et al., 2005a), al igual que ocurre con los animales domésticos.

Definido por criterios tecnológicos, la siguiente fase cultural es la del Calcolítico, referido al inicio de la utilización de los metales, puesto que el comienzo de la metalurgia está, junto a la domesticación, considerada uno de los grandes inventos de la

---

<sup>2</sup> Calibrado utilizando OxCal v4.2.4 (Bronk Ramsey 2013) y la curva atmosférica IntCal 13 (Reimer et al. 2013).

Humanidad. Es habitual que esta fase se relacione con el inicio de la complejidad social, sustentada en la desigualdad de los ajueres funerarios (a pesar de que sigan encontrándose aún enterramientos colectivos), el proceso de fortificación, los cambios de asentamiento, etc. (Ontañón, 2003). La cultura material se caracteriza, lógicamente, por el inicio de la metalurgia del cobre (aunque aún muy pobre), que, sin embargo, no supuso el desplazamiento del instrumental lítico en la mayoría de las actividades de producción. Sí afectó, en cambio, a la desaparición de los microlitos y a la importancia que adquieren los útiles foliáceos, largas hojas, dientes de hoz y puntas de flecha. Junto a ello, destacamos la presencia de la cerámica campaniforme (Fernández-Eraso, 2011), caracterizada por tratarse de una cerámica decorada, y que suele encontrarse junto a otros elementos como los puñales de lengüeta, las puntas palmela, los ídolos placa y los mencionados primeros útiles metálicos.

Especialmente durante el Calcolítico, es reseñable que se siguen utilizando las cavidades para los procesos de inhumación, junto al uso de los monumentos megalíticos de manera coetánea. Las prácticas funerarias de esta etapa cultural son muy complejas, caracterizadas por la visibilidad y monumentalidad de las construcciones megalíticas. Sin embargo, bajo la misma nomenclatura de megalito se incluyen monumentos de características muy diversas (p.e., tanto dólmenes, como crómlech) que se construyeron y utilizaron durante más de dos milenios llegando a su máximo apogeo durante el Calcolítico (Mujika, 2009). Estos espacios, tanto las cuevas sepulcrales (Sarobe, 2012), como los megalitos (Fernández-Eraso y Mujika, 2013), se caracterizan por ser enterramientos colectivos, por lo general compuestos por restos antropológicos revueltos y sin orden aparente, como pueden ser el caso de Pico Ramos (Zapata, 1995a) y Kurtzebide (Vegas, 1981), respectivamente. Sí existen, aun así, excepciones, como el caso del individuo de Urtao II en conexión anatómica (Armendariz, 1989).

Durante la Edad del Bronce se aprecia, por el contrario, una disminución de los útiles líticos, que quedarán reducidos a hachas, lascas y hoces, probablemente como consecuencia de una mayor incidencia de la metalurgia en la fabricación de objetos que, paulatinamente, van desplazando a los de piedra. En líneas generales, se puede afirmar que los poblados están situados en lugares con potencial para desarrollar actividades agrícolas y ganaderas, las cuales evolucionaron gracias a una serie de mejoras técnicas, facilitando la absorción de un aumento demográfico. Respecto a las costumbres funerarias, las primeras fases se caracterizan por una continuidad de lo visto en el Calcolítico, con el uso discontinuo y las reutilizaciones de dichos espacios. Sin embargo, encontraremos una progresiva generalización de los enterramientos individuales, así como una menor monumentalidad en las tumbas (Mujika, 2009).

### **2.2.1. Aproximación arqueológica a los patrones de alimentación en la Prehistoria**

El principal interés en conocer más detalles sobre los patrones de alimentación reside en la importancia que ha tenido la dieta en la evolución y el desarrollo de los homínidos y en las sociedades humanas del pasado (Hublin y Richards, 2009). Hasta que comenzó a generalizarse el uso de los isótopos estables en esta línea de investigación, la

reconstrucción de la dieta se basaba en estudios mayoritariamente indirectos. Estas investigaciones están generalmente relacionadas con elementos que nos encontramos en los yacimientos arqueológicos objeto de estudio, restos arqueobotánicos y faunísticos principalmente, si bien en los últimos años se han venido realizando otros análisis muy interesantes como los traceológicos, de residuos o de cálculos dentales.

### 2.2.1.1. Evidencias indirectas de la dieta

#### Restos faunísticos

El estudio de los restos faunísticos de los yacimientos arqueológicos es uno de los más utilizados, que tiene como objetivo principal recrear las bases de subsistencia de los grupos prehistóricos (p.e., Altuna, 1982; Altuna y Mariezkurrena, 1985). Sin embargo, una de las mayores limitaciones de estos estudios está relacionada con la escasez y condiciones de conservación de los mencionados restos (Gilbert y Mielke, 1985). Dicha escasez se da especialmente en los yacimientos de carácter funerario para estos periodos, unida a la dificultad de encontrar restos humanos analizables en los yacimientos de habitación, donde los restos faunísticos suelen estar presentes (Ontañón, 2003).

Otro de los obstáculos más evidentes al que nos enfrentamos es el carácter selectivo de la muestra proporcionada por el registro. Aunque la práctica totalidad de las evidencias descubiertas en el curso de las excavaciones son alimentos de origen animal (restos óseos), los diferentes estudios que vamos a ir exponiendo parecen indicar la baja probabilidad de una dieta casi en exclusividad carnívora. La propia evidencia arqueozoológica tampoco es fácil de evaluar, puesto que, si bien los restos faunísticos hallados en un yacimiento son principalmente consecuencia de la selección del ser humano (Yravedra et al., 2017), hay que determinar qué materiales proceden de la actividad cinegética. Una proporción variable de los restos descubiertos es resultado de aportes naturales, como sucede con los huesos de animales que compartían hábitat permanentemente con el ser humano (roedores, insectívoros, quirópteros), las egagrópilas de aves rapaces, y los de merodeadores, frecuentemente carnívoros, que utilizaban o penetraban en el lugar cuando el grupo estaba ausente. Por lo tanto, debemos tener en cuenta que los restos faunísticos encontrados en los yacimientos no son un reflejo exacto, ni del entorno, ni del patrón alimentario del grupo que habitó el yacimiento.

Teniendo en cuenta esta problemática, los estudios arqueozoológicos indican que, muy posiblemente, los últimos grupos de cazadores-recolectores del Epipaleolítico-Mesolítico tuvieron una alimentación muy diversa que podríamos denominar como de explotación de un amplio rango de recursos silvestres, también conocido como el modelo *Broad Spectrum Revolution*. Este término, acuñado por Flannery (1969), hace referencia a una ampliación en las bases de subsistencia de los últimos cazadores-recolectores que propiciaría la posterior domesticación de las especies. A esta teoría le han seguido otras más recientes, como la *Optimal Foraging Theory* (Smith, 1983), según la cual la diversificación e intensificación de la subsistencia se daría en un

contexto de depresión de los recursos, causado, tanto por la presión demográfica, como por factores ambientales. En respuesta a esta hipótesis nos encontramos con la *Niche Construction Theory*, que ve a los humanos como un sujeto no pasivo, sino activo, frente a factores de estrés externos (Zeder, 2012).

En cualquier caso, los últimos cazadores-recolectores optaron por un aprovechamiento integral, sistemático y organizado de los recursos que les ofrecía el territorio. Gracias a lo cual alcanzarían una serie de objetivos que redundarían en una mayor eficacia y seguridad del sistema económico: alejar el peligro de la sobreexplotación al no incidir demasiado sobre ninguna especie; evitar los riesgos de carencias accidentales o periódicas que puede traer la especialización; hacer predecibles los recursos, al depender en mayor medida que en períodos precedentes de especies estáticas (vegetales, marisco) o de baja movilidad (peces de roca, corzos) (Arias, 1992).

En la explotación de los mamíferos salvajes del Cantábrico oriental parece dominar la caza del ciervo, al que le siguen el jabalí y el corzo (p.e. Tapia et al., 2008). Se encuentra además, en algunos yacimientos, la presencia más o menos variada de aves, como es el caso de los especímenes de *Garrulus glandarius* (arrendajo euroasiático), *Strix flammea* (lechuza), *Anser cinereus* (ganso) o *Pyrrhocorax alpinus* (chova de pico amarillo) del yacimiento de Santimamiñe (Arias, 1992). Se documentan también en Pico Ramos y en Herriko Barra restos de *Pinguinus impennis* (alca gigante), extinguido en época histórica por la sobreexplotación humana (Castaños y Hernández, 1995; Elorza y Sánchez, 1993). La captura de aves marinas, así como de sus huevos, está avalada por una amplia evidencia etnográfica y creemos que durante esta cronología también debió suponer un importante recurso alimenticio y económico (plumas y pieles) (Zapata, 1995b).

Dejando a un lado la caza, debemos destacar la importancia de la pesca y la explotación de los recursos marinos en contextos epipaleolíticos o mesolíticos de la región cantábrica. La máxima expresión de esta actividad son los yacimientos denominados como concheros, característicos por los numerosos restos de peces, moluscos, crustáceos o equinodermos, junto a útiles específicos para la pesca, como anzuelos. Se encuentran además, tanto en yacimientos de interior, como más costeros, restos de moluscos terrestres (p.e., Álvarez-Fernández y Altuna, 2013). Sin embargo, tratar de discernir la importancia de la recolección de estos recursos y establecer el peso que tendrían dentro de las estrategias de subsistencia de los grupos cazadores-recolectores ha sido una tarea muy compleja. Algunos autores (p.e., Bailey, 1978), señalaron en su momento la escasa importancia de este recurso en la dieta humana; hoy en día, sin embargo, se ha puesto en valor (p.e., Mannino y Thomas, 2002).

En este sentido, es muy reseñable la presencia de recursos de origen marino, entre los que, si bien incidiremos más adelante, cabe destacar el taxón de *Merluccius merluccius* (merluza) aparecido en Lumentxa<sup>3</sup> (Aranzadi y Barandiaran, 1935b) y que, siendo una

---

<sup>3</sup> Debemos señalar, respecto a Lumentxa, que las interpretaciones cronológicas de los restos han de tomarse con precaución, debido a la problemática del propio yacimiento en relación a su estratigrafía (Arrizabalaga, com. pers.)

especie propia de mar abierto, podría ser reflejo del uso de técnicas de navegación, como la existencia de embarcaciones simples, ya documentada en Europa (Clark, 1980). Otro ejemplo lo encontramos en el yacimiento con cronología magdalenense y aziliense de Santa Catalina (Lekeitio), en el que se encontraron una gran cantidad de moluscos entre los que destaca la especie *Patella* (lapa), seguido por *Littorina* (caracolillo), *Monodonta* (p.e., peonza dentada) y *Gibbula* (p.e., peonza plana) principalmente (Vásquez y Rosales, 2014).

En relación a la explotación del litoral debemos señalar el trabajo de E. Álvarez-Fernández, puesto que, si bien centra su investigación y Tesis Doctoral en los objetos de adorno, incluidos aquellos realizados sobre conchas, (p.e., Álvarez-Fernández, 2002; 2006; 2015), tiene numerosos trabajos en torno a la explotación de moluscos. Podemos destacar el trabajo en colaboración con R. Fernández-García, en el que se recopilan y analizan los datos disponibles en torno a la explotación de recursos marinos durante el Solutrense (Álvarez-Fernández y Fernández-García, 2011). En él se dice que durante el mencionado periodo era frecuente el consumo de *Patella vulgata*, siendo una especie de estuario; así como la presencia de especies fluviales como *Salmo trutta fario*. Finalmente, contamos con el trabajo realizado entorno al yacimiento mesolítico de J3 en Hondarribia (Álvarez-Fernández et al., 2014), en el que se hace un exhaustivo repaso a todos los restos marinos aparecidos en el mencionado yacimiento, entre los que destacamos las conchas de gasterópodos, crustáceos (placas de percebes y de balanos), equinodermos (erizos) y peces (espáridos).

En la síntesis realizada por Gutiérrez (2009) a este respecto, se expone que a partir de los años 70-80 del pasado siglo los moluscos pasaron a ser vistos como un complemento secundario de la base de subsistencia del ser humano. Dentro de estas teorías, algunos autores calificaron este recurso de una manera negativa, como poco deseable, de bajo rendimiento y alto riesgo, debido a la toxicidad propia de la alta ingestión de proteínas, utilizado como alimento de emergencia en momentos en los que había carestía de otros recursos (p.e., González-Morales et al., 2004). Otros, sin embargo, son más neutrales y lo toman como otro recurso más dentro de las estrategias de subsistencia, teniendo en cuenta que los moluscos aportan, además de proteínas, hidratos de carbono, vitaminas, lípidos y minerales (p.e., Gassiot, 2000).

Con el objetivo de determinar de manera científica el peso real de los moluscos, se realizó un primer estudio en La Riera (Ortea, 1986), yacimiento cercano a nuestra área de estudio, que, desgraciadamente, no tuvo en cuenta el peso relativo que tuvieron la carne de los moluscos, por lo que fue un ensayo orientativo. Craighead (1995), en cambio, comparó los datos del peso de los moluscos convertidos a peso en carne a partir de la información aportada por Buchanan (1988) y los datos de ungulados y su peso medio aproximado, tras lo cual concluyó que el peso de los moluscos en la dieta sería inferior al 0.3% de la carne consumida en total. Finalmente, en el yacimiento de La Fragua se realizó un trabajo similar empleando la misma metodología, tras lo cual se observó que los moluscos sólo alcanzarían el 0.7% del total de carne consumida durante el Mesolítico (Gutiérrez, 2005). Aunque es un sistema muy complejo, en la que hay que



tener más variables en cuenta, partiendo de estos resultados es posible evaluar el peso de los moluscos en la dieta.

Respecto a los taxones encontrados en los yacimientos cantábricos durante el Mesolítico, el género *Patella* continúa siendo uno de los principales, a pesar de que la importancia de *Patella vulgata* (lapa común) se ve mermada en favor de *Patella intermedia* (lapa rayada) en muchos de los conjuntos. Por otra parte, la abundancia de *Littorina littorea* (bígara común o caracolillo) va a descender bruscamente hasta el punto de desaparecer casi por completo de los repertorios malacológicos de los yacimientos de la región. En su lugar, otro gasterópodo espiralado, *Osilinus lineatus* (burgado o caracolillo), que ya estaba presente en cantidades muy escasas en algunos conjuntos del Magdaleniense Superior Final y el Aziliense, se va a convertir en una de las especies principales. Pero, además del género *Patella* y *Osilinus lineatus*, durante el Mesolítico otras especies, generalmente propias de zonas de estuario, van a cobrar una importancia que no parecían tener en periodos anteriores. Entre estas destacan *Mytilus galloprovincialis* (mejillón mediterráneo), *Ostrea edulis* (ostra plana europea), *Ruditapes decussatus* (almeja fina) y *Scrobicularia plana* (coquina de fango) (Gutiérrez, 2009).

La mayor parte de los autores coinciden en señalar el Paleolítico Superior como el momento en el que comienza a intensificarse la explotación de los moluscos (p.e., Álvarez-Fernández, 2007; Straus, 1979), y con ello una mayor diversificación de la economía. El fin de la misma llegaría junto al Neolítico y la introducción de las economías de producción agrícola y ganadera, lo que explicaría la escasa presencia de concheros a partir de ese momento (Arias et al., 1999). Por lo tanto, a medida que avanza el Neolítico, y especialmente el Calcolítico, la explotación de los recursos marinos pasaría a formar parte de una actividad completamente secundaria (p.e., Gutiérrez, 2011), convirtiéndose en la principal fuente de alimentación los recursos terrestres y, principalmente, aquellos derivados de la domesticación.

Es precisamente con la llegada del Neolítico, cuando nos encontramos ante un aspecto a tener en cuenta relacionado con las dos prácticas ya mencionadas que se supone engloba de manera tradicional el propio concepto: la agricultura y la ganadería. Si bien la problemática en torno a los restos vegetales será analizada más adelante, debemos remarcar la dificultad de documentar en el registro arqueológico restos de especies cultivadas. Por ello, a pesar de que no parece legítimo concluir por la falta de pruebas que la agricultura no se practicase, la única actividad productiva que ha sido tomada como relevante en el Neolítico Inicial cantábrico es la ganadería (Altuna, 1980; Castaños, 1997; Mariezkurrena, 1990), puesto que en la mayoría de los escasos yacimientos de este periodo aparecen ungulados domésticos (Arias, 1992). Esta idea se contradice con la tendencia en la mayor parte de Europa occidental, donde la ganadería y agricultura parecen difundirse unidas, y cuando una está presente, se suele asumir la existencia de la otra. Curiosamente, en el País Vasco atlántico, incluso teniendo en cuenta la falta de datos, se ha venido defendiendo una mayor antigüedad de la ganadería respecto a la agricultura (Zapata, 2002b), encontrando la primera evidencia de polen de

cereal en el yacimiento de Herriko Barra (6809±115 y 6871±113 calBP, Iriarte-Chiapusso et al., 2005). Mientras que la ganadería se ha documentado en un momento anterior, próximo al 7000 calBP, tanto en el litoral, como al sur de la región objeto de estudio, donde podemos destacar los yacimientos de Los Cascajos (García Gazólaz y Sesma Sesma, 2001); Peña Larga (Fernández-Eraso, 1997; 2007-2008), Los Husos (Fernández-Eraso et al., 2017), Abauntz (Villalba-Mouco et al., 2018) y Arenaza (Arias et al., 1999).

En lo que coinciden todas las líneas de investigación es en que, con la llegada de la economía productora, se origina un importante proceso en el que el ser humano pasa a convertirse en un agente más activo que altera el entorno natural. En primer lugar, comienza la importación, no sólo de animales domésticos, sino también de una variedad de plantas cultivables, y con ello la agricultura y la ganadería. Aunque no debemos olvidar que junto a estas nuevas técnicas agrícolas y ganaderas, la economía propia de los grupos cazadores-recolectores no desaparecería del todo. Y es que, especialmente a partir del Neolítico Medio, se mantendrían de manera complementaria, aunque minoritaria, la caza de mamíferos como el ciervo y la cabra montesa (p.e. Mariezkurrena, 1987), y la posible recolección de plantas silvestres, como las avellanas y las bellotas (Zapata, 2000).

Entre los animales domésticos, tal y como veremos en detalle a continuación, los restos más frecuentes son los ovicaprinos (categoría que, en Santimamiñe y Marizulo, incluye con seguridad la oveja), los cuales suelen ser superiores a la mitad del total. Los cerdos sólo obtienen representación (bastante elevada) en colecciones ricas en restos de animales domésticos, como el caso de Arenaza (Altuna y Mariezkurrena, 2007-2008) y de Santimamiñe (Castaños, 1984). La vaca, por el contrario, se mantiene en unos índices relativamente constantes (15-20%); por último, contamos con la presencia del perro, relacionada con la ayuda para la caza y no para consumo. Este patrón se desarrollaría hasta consolidarse en la Edad del Bronce, momento en el que los animales salvajes tiene poca importancia.

### Restos vegetales

Pasando, ahora sí, a los recursos vegetales, con restos botánicos hacemos referencia a cualquier resto de madera, polen, pericarpio, semilla o fruto recuperados en un yacimiento, los cuales nos dan información sobre qué especies se encontraban en las inmediaciones de los mismos. El hallazgo de restos botánicos en un yacimiento es, por el momento, la forma más *sencilla* de documentar la explotación de los recursos vegetales en el pasado, ya que algunos de ellos pudieron ser consecuencia directa de la actividad humana, los subproductos de la alimentación o el tipo de madera que se empleó como combustible en un yacimiento. En este sentido, contamos con restos de macro de carbones, semillas y frutos (Zapata, 2002b) y micro, entre los que incluimos tanto polen (p.e., Iriarte-Chiapusso, 1994), como micro fósiles no esporopolínicos (p.e., Echazarreta-Gallego, com. pers.), fitolitos (Portillo-Ramírez y Albert, 2014) y almidones (Cortella y Pochettino, 1994; Loy et al., 1992).

Respecto a los microfósiles no esporopolínicos (en adelante NPP), se reconocen desde hace décadas como buenos indicadores paleoecológicos. A pesar de que suponen una nueva dimensión interpretativa al análisis palinológico sin requerir un mayor número de muestreos ni preparación (Graf y Chmura, 2006; Van Geel, 2003), se han llevado a cabo muy pocas reconstrucciones de la vegetación del pasado y de las actividades humanas combinando, tanto polen, como NPP. Entre los distintos tipos que conforman el grupo denominado NPP, uno de los que ha alcanzado mayor protagonismo en los estudios de reconstrucción paleoambiental e impacto en el paisaje es el de los hongos coprófilos. Estos engloban aquellos hongos saprobios que crecen en los excrementos de los animales. Las esporas de pared dura son consumidas por parte de los herbívoros al alimentarse de la vegetación circundante, por lo que pasan a través del sistema digestivo de dichos animales y son finalmente defecadas. Debido a que sus esporas nunca son eyectadas a más distancia de dos metros, se considera que su señal es meramente local (Van Geel, 2003); debemos, sin embargo, tener en cuenta que esa distancia sería mayor en caso de que utilizaran dichas defecaciones como abono. Por lo tanto, se han empleado como indicadores generales de la presencia, ausencia, declive o aumento de herbívoros del lugar de muestreo. Así, su registro es especialmente útil cuando los huesos de animales no se han preservado.

Los fitolitos, en cambio, son pequeños cuerpos silíceos que se encuentran mayormente en las hojas, troncos y frutos de las plantas, aunque también pueden aparecer en otras partes como las raíces, los rizomas o los tubérculos. Desde los años 80 del pasado siglo, los investigadores descubrieron que estos micro-restos vegetales variaban entre distintos tipos de plantas, y, por ello, comenzaron a utilizarse para analizar el uso y domesticación de ciertas especies (Ugent et al., 1982; 1986). Los fitolitos aparecen sobre todo en la superficie de las plantas, además de ser resistentes a la mayoría de ácidos, siendo solubles en condiciones de pH elevado (Fraysse et al., 2009; Piperno, 2006). Los fitolitos, además, adquieren morfologías únicas dependiendo del taxón vegetal y la parte de la planta en la que se forman, siendo las mismas habitualmente diagnósticas a un nivel taxonómico bastante elevado. Los muestreos pueden realizarse en el sedimento, en artefactos o instrumentos, coprolitos o cálculos dentales, y de ello dependerá el tipo de información que podamos extraer. En el caso de los análisis de sedimento nos permiten identificar plantas cultivadas (Zurro et al., 2013), especialmente útil en las primeras fases del Neolítico; también es posible determinar el tipo de combustible utilizado en los hogares cuando no hay restos de carbones (p.e., Albert et al., 2003). Respecto a los análisis de artefactos, aportarían información sobre el contenido de los mismos; finalmente, los coprolitos y los cálculos dentales se estudian para reconstrucciones alimentarias puntuales o generales respectivamente (p.e., Henry, 2012).

Los granos de almidón, presentes principalmente en cálculos dentales, son concentraciones de hidratos de carbono complejos, donde las plantas almacenan su energía, y aparecen en mayor número y con un mayor potencial diagnóstico en los órganos como las semillas o los tubérculos (Salazar-García y Henry, 2013). A pesar de la variedad de estudios posibles a nivel botánico, sigue siendo habitual entre los

arqueólogos pensar que los análisis palinológicos son suficientes para determinar o confirmar la existencia de prácticas agrícolas. Por ello, la ausencia de polen de cereal en momentos posteriores al Neolítico se suele interpretar como indicador indirecto del predominio de las prácticas ganaderas. Igualmente se asume que la flora ruderal, malas hierbas relacionadas con cultivos, es reconocible en el registro palinológico y que su ausencia confirma la inexistencia de agricultura (p.e. Iriarte-Chiapusso, 2009). En realidad, el polen de cereal está fuertemente infrarrepresentado en el registro palinológico; lo que puede relacionarse con el modo de fertilización de la planta: se tratan de especies que se autopolinizan y que, por lo tanto, tienen una dispersión muy baja (Lowe y Walker, 1997). Si bien los estudios palinológicos y antracológicos aportan información sobre el paleoambiente, no nos son tan útiles a la hora de determinar su importancia en la alimentación; por ello, en este apartado nos centraremos principalmente en los restos carpológicos. Es decir, la presencia de *Corylus avellana* en el registro fósil no podemos relacionarlo, directamente, con el consumo de avellanas, mientras que la presencia de restos de los propios frutos puede ser una evidencia más directa.

En primer lugar, debemos ser conscientes de las considerables ventajas que pudieron ofrecer los alimentos vegetales en la Prehistoria, ya que son abundantes, predecibles en gran medida, y no requieren tanto esfuerzo físico o habilidad para ser recolectados como en el caso de la caza, además de que muchos de estos recursos son almacenables. Además, las necesidades de la nutrición humana apuntan a que el consumo de plantas en las latitudes medias debió constituir al menos el 30-40% de la dieta (Zvelebil, 1994). Este consumo ha sido frecuentemente infravalorado por no utilizar la metodología adecuada de flotación en las excavaciones (Zapata, 1995b). A pesar de ello, la discusión sobre la relevancia de los diferentes tipos de recursos en la dieta humana es un tema recurrente en la investigación –entre muchos otros, se pueden ver las posturas opuestas acerca de la importancia de plantas comestibles en Clarke (1978), Zvelebil (1994) y Bonsall (1980). Tal como hemos visto en el apartado sobre los restos faunísticos, los investigadores han sido reacios a aceptar el potencial agrícola de la vertiente atlántica del País Vasco, incidiendo en la adaptación de la zona al pastoreo (Apellaniz, 1975; Cava, 1990; González-Morales, 1992; Jarman et al., 1982; Zvelebil y Rowley-Conwy, 1986). Sin embargo, exceptuando los ecosistemas extremos, las actividades agrícolas y ganaderas son complementarias (entre otras cosas, los cultivos de cereal proporcionan cama y alimento también para el ganado). Se olvida, además, que hasta épocas muy recientes los cultivos hortícolas, cerealísticos y de leguminosas suponían una parte fundamental de la economía tradicional de la fachada cantábrica peninsular (Zapata, 1995b).

Entrando en detalle, la información arqueológica y las reconstrucciones ambientales indican que durante el Mesolítico y el Neolítico pudo darse una explotación intensa de los productos vegetales silvestres (Zapata, 2000a). En los contextos anteriores al 5000 calBP, que incluimos en este trabajo, se ha identificado un conjunto de frutos tipo nuez (avellana y bellota) y frutos tipo pomo, conservados por su exposición al fuego, tal como desarrollaremos con mayor detalle a continuación. Los fragmentos carbonizados

de la cáscara de la avellana son los restos más abundantes, posiblemente por un conjunto de factores, tales como la presencia generalizada de *Corylus avellana*, la carbonización de los frutos y la conservación diferencial del mismo. Le siguen los restos de bellotas, impulsadas por unas causas similares a las descritas para las avellanas, destacando la importancia de su procesado y cocinado (Zapata, 2002b). Debemos tener en cuenta que la mejora climática holocena supuso un enorme incremento de los recursos disponibles para las poblaciones humanas, y el suroeste europeo debió de ser una zona de alta biodiversidad en comparación con zonas más septentrionales. Las características del norte peninsular, con zonas próximas al mar y áreas intermareales, abundantes ríos, grandes diferencias altitudinales en pequeñas distancias etc., permiten que, en cualquier comarca, se pueda acceder con facilidad a diferentes biotopos. De dichos biotopos cabe destacar la presencia de los restos de plantas silvestres encontrados, hasta el momento, en la zona arqueológica de estudio (Zapata, 2000b):

- Las avellanas: los fragmentos carbonizados de pericarpio de avellana son, sin duda, el macro-resto vegetal más abundante en yacimientos holocenos del norte peninsular, que pudieron ser aptas tanto para el consumo humano como animal. Sin embargo, los cotiledones no se recuperan, al menos de forma identificable. Al parecer, cuando las avellanas se queman totalmente las posibilidades de que el interior se conserve son muy bajas (Mason, 1996). Son diferentes a otros frutos como la bellota o la castaña, ricos en carbohidratos y nutritivamente más próximos a los cereales.
- Las bellotas: el aprovechamiento de la bellota se explica teniendo en cuenta que *Quercus* fue, junto a *Corylus*, el taxón arbóreo más importante del Mesolítico y Neolítico en Europa occidental. La frecuencia de aparición de bellotas en los yacimientos arqueológicos es muchísimo más baja, posiblemente por las propiedades físicas de cada tejido vegetal. A pesar de que se pueden utilizar como curtientes, por sus propiedades medicinales o como alimento para el ganado, su utilización en la alimentación humana también debe ser considerada, tal y como se ha demostrado en trabajos recientes (Ayerdi et al., 2016). Las bellotas son nutritivamente similares a los cereales, fuente de carbohidratos, grasas, proteínas y fibra. No debemos olvidar que la evidencia etnográfica a favor de su uso es abrumadora y ofrece una gran diversidad de posibilidades.
- *Pomoideas* tipo manzana y serba: en la mayoría de los casos no ha sido posible la identificación a nivel de especie y los restos quedan englobados en taxones que incluyen tanto la manzana, como las serbas. Los frutos del acerolo (*Sorbus domestica*) son astringentes pero muy dulces cuando están maduros, tienen propiedades antiescorbúticas bien conocidas por los campesinos, aunque su sabor es áspero y agridulce y conviene hervirlos antes de usarlos (el consumo excesivo en verde puede llegar a ser tóxico).

Dejando a un lado las plantas silvestres, los cultivos neolíticos de la región de estudio son especies de cereales encontradas en yacimientos arqueológicos desde mediados del

quinto milenio en adelante, por ejemplo los del yacimiento de Kobaederra en Bizkaia. A medida que avanza el Neolítico, y especialmente con la llegada del Calcolítico y la Edad del Bronce, las principales plantas cultivadas parecen ser fundamentalmente trigos y probablemente mijos o panizos. Los mijos constituyen un tipo de cereal que tuvo gran importancia en la agricultura tradicional de Europa Occidental. De hecho, la palabra *artoa* en euskera designó a este cultivo hasta que fue masivamente sustituido por el maíz en el siglo XVII, pasando a llamarse *artatxiki* (maíz-pequeño). Como consecuencia de este proceso y la ausencia de mejoras genéticas, *Panicum* y *Setaria* quedaron relegados, si bien aún se consideran importantes en zonas de África y Asia (Zapata, 2002b). Los mijos tienen, además, un alto contenido en proteínas y vitaminas y su potencial se relaciona con propiedades agronómicas y alimentarias: autogamia, ciclo de vida corto, dureza, versatilidad y resistencia ante la sequía y los suelos pobres (Vázquez, 1994).

En las muestras de los diferentes yacimientos estudiados se han identificado, tanto trigos vestidos *Triticum cococcum*, como desnudos, *Triticum aestivum/ durum*, especies que llegaron a la vez a la Península Ibérica al comienzo del Neolítico. Posteriormente, a partir del Neolítico avanzado, los trigos desnudos se irían imponiendo progresivamente respecto a los vestidos (Buxó, 1997; Buxó et al. 1997). Son precisamente del Neolítico los restos de *Triticum monococcum*, *Triticum dicoccum* y *Hordeum vulgare* encontrados en el yacimiento de Los Cascajos (Navarra) (Peña-Chocarro et al., 2005b), así como los pólenes de cereales domésticos del yacimiento de Los Husos (Fernández-Eraso, 2007-2008). Hasta el momento, la primera evidencia de *Setaria italica* del País Vasco procede de Kobaederra (Kortezubi, Bizkaia), un yacimiento litoral donde se recuperó cereal datado en 5260-4850 calBP (Moreno et al., 2015). A continuación, y debido a la escasez de resultados obtenidos, consideramos oportuno hacer un repaso a todos los restos macro botánicos hallados en Euskal Herria para cronologías prehistóricas:

Aizpea: Todos los macrorrestos botánicos identificados, recuperados en los niveles correspondientes al Mesolítico final y Neolítico inicial, se han conservado por carbonización; existen en las muestras abundantes raíces y algunas semillas sin carbonizar que fueron consideradas como actuales. Los tipos identificables son los siguientes: fragmentos de frutos como pomos y pericarpios; unas pocas semillas mal conservadas; fragmentos de tejido vegetal parenquimático no identificable, probablemente procedente de raíces o bulbos (Zapata, 2000; 2002b). Entre los restos identificados destacan:

- Plantas cultivadas: se han encontrado unos pocos granos de cereal. Uno de los granos de trigo (*Triticum* sp.) ha sido datado en 4085-3731 calBP (3610±50BP GrA 13263), por lo que se piensa que puede tratarse de una intrusión.
- Plantas recolectadas: cáscaras de avellanas, así como pomos de rosáceas, subgénero *Pomoideas* o *Maloideas*, grupo que incluye árboles como el manzano, peral, serbal, mostajo, espino blanco, etc. Los frutos son de dos

tipos principales: pomos de pequeño tamaño del género *Sorbus*; pomos de mayor tamaño clasificados como *Malus sylvestris/Sorbus domestica*.

Arenaza: se han encontrado numerosos restos arqueobotánicos, en el nivel I referido a la Edad del Bronce, catalogados como sigue (Zapata, 1999):

- Plantas cultivadas: los cereales constituyen la parte mayoritaria de estos recursos, todos ellos son cariósides. El taxón más frecuente (64%) es el *Triticum aestivum/durum*. La escanda (*Triticum dicoccum*) y el panizo/mijo (*Setaria itálica/Panicum miliaceum*), sin embargo, son muy escasos.
- Plantas recolectadas y silvestres: aparecen restos de pericarpio de avellana, así como de cotiledón de bellota. Entre otras principalmente ruderales, se ha reconocido un único grano de avena, aunque no se ha podido identificar a nivel especie, se considera que lo más posible es que se trate de una planta silvestre, como la *Avena fatua L.*, una mala hierba muy común de los cultivos.

Kanpanoste goikoa: Todos los restos botánicos identificados se han conservado por carbonización, la mayor parte son carbones de madera que no tendremos en cuenta en este texto. Respecto a los restos carpológicos (Zapata, 1999):

- Plantas cultivadas: dos semillas de *Triticum* sp. En el nivel II inferior (Calcolítico).
- Plantas recolectadas: fragmentos de pericarpio de avellana; un fruto de una *Rosacea* tipo serbal en el nivel epipaleolítico y una bellota en el Nivel IIa (Neolítico/Calcolítico). El fruto de la *Rosacea* es muy similar a los pomos pequeños del género *Sorbus* que se han reconocido en mayor número en Aizpea.

Kobaederra: el interés principal del yacimiento radica en haber demostrado la presencia de la agricultura cerealista en la costa atlántica peninsular desde el VII milenio calBP. Se han encontrado tejido parenquimático y plantas silvestres no identificadas, junto a los siguientes restos:

- Plantas cultivadas: aparecen en los niveles neolíticos (II-V-Mesolítico, Neolítico) restos de cebada (*Hordeum vulgare*), escandia (*Triticum dicoccum*) y, finalmente, también se ha identificado panizo (*Setaria italica*). A pesar del bajo número de restos recuperados, es de gran interés el previamente mencionado grano de cebada que ha aportado una datación de 6310-5938 calBP (Zapata, 2002b).
- Plantas recolectadas: fragmentos de pericarpio de avellana (niveles III y IV-Neolítico), cotiledones de bellotas (nivel IV-Neolítico) y carbones de posibles pomos de *Rosacea* (niveles I y III-Neolítico-Calcolítico).

Lumentxa: Se han recuperado en un contexto neolítico (base del nivel II) los siguientes restos (Zapata, 2002b), a pesar de que, tal y como hemos mencionado previamente, debemos tomar el contexto estratigráfico con precaución:

- Plantas cultivadas: unos pocos granos de cereal entre los que se encuentra la cebada vestida.
- Plantas recolectadas: fragmentos de cotiledón de bellota, un cotiledón de una leguminosa pequeña indeterminable, fragmentos del mencionado tejido parenquimático y media manzana (*Malus sylvestris*) carbonizada que presenta un corte transversal limpio.

Trikuaitzi II: Los excavadores señalaron prudentemente que la muestra a la que a continuación vamos a hacer referencia procede de una zona demasiado superficial para considerarla una evidencia indudable. Sin embargo, a los propios investigadores les resulta difícil de explicar que la presencia de granos de trigo sea consecuencia de una contaminación posterior a la utilización prehistórica del monumento en un remoto lugar del cordal de Murumendi.

- La semilla encontrada pertenece a la familia de *Triticum aestivum/durum*, identificada por R. Buxó (Mujika y Armendariz, 1991).

### **Cultura material**

Otra de las fuentes con la que contamos en Arqueología a la hora de tratar de desentrañar los patrones de alimentación es la cultura material, si bien los resultados de su análisis son mucho más amplios. Es frecuente que, en muchos yacimientos, se interprete que la caza es la principal actividad de subsistencia, fundamentalmente porque su práctica queda reflejada en la industria lítica. Sin embargo, existen otras actividades, como la recolección o la agricultura que tienen muy poca visibilidad arqueológica, ya que se pueden desarrollar con las manos, sin usar ningún útil o empleando objetos de materias primas perecederas como la madera. Evaluar la importancia relativa de las diferentes estrategias de subsistencia a partir de las evidencias industriales puede ser, por lo tanto, peligroso (Zapata, 2002b).

Si nos centramos en la industria lítica y ósea y su funcionalidad, debemos destacar en líneas generales el microlitismo geométrico mesolítico, que indicaría la importancia de las actividades cinegéticas y de carnicería (p.e., Perales et al., 2016). Aun así, durante el Neolítico, los útiles supuestamente destinados a la siega y molienda del cereal son relativamente frecuentes, tales como los molinos barquiformes (Alday et al., 2014) o las piezas de hoz de sílex (Gibaja et al., 2017b). Además, debemos tener en cuenta que es muy posible que muchos de los útiles que se vinieron utilizando desde el comienzo de la Prehistoria fuesen sobre materiales perecederos, prueba de ello son los útiles (como por ejemplo puntas) recuperados en yacimientos subacuáticos, como es el caso de La Draga (Palomo et al., 2011). Desde el Neolítico Antiguo, se observa la presencia de actividades relacionadas con la explotación de los cereales, si bien no se puede determinar si son fruto de actividades agrícolas o de la recolección de plantas silvestres (Perales, 2015). Por otro lado, contamos con el estudio sobre útiles macrolíticos, como



es el caso de los molinos encontrados en yacimientos como Atxoste (Alday et al., 2014). A modo de resumen, los análisis funcionales nos indican una gran actividad cinegética de los grupos cazadores-recolectores, aunque no se descarta la explotación de los recursos vegetales. Una vez que nos adentramos en el Neolítico se observa un aumento lógico en el uso de útiles para la transformación o recolección de materiales vegetales, como pueden ser las hoces ya mencionadas (Gibaja et al., 2017b).

#### **2.2.1.2. Evidencias directas de la dieta**

Aunque la práctica totalidad de los indicios descubiertos en el curso de excavaciones en yacimientos arqueológicos se refiere a alimentos de origen animal (restos óseos), tanto desde el punto de vista bromatológico, como por lo que se deduce del estudio de testimonios indirectos que veremos a continuación, resulta imposible pensar en una dieta exclusiva o mayoritariamente carnívora. Por todo ello, resulta de gran interés poder contar con métodos analíticos directos sobre el propio esqueleto (Osteoarqueología, Biogeoquímica) que nos aproximen, en mayor medida, a las interpretaciones sobre dieta y a la realidad individual de cada sujeto. De este modo sería posible abordar su estudio de una manera más objetiva, analizando directamente los indicios de la alimentación mediante la caracterización de los alimentos que ingerían los individuos de una población, y también las consecuencias de la presencia, el abuso o la falta de un determinado tipo de alimento. Aunque la fiabilidad de los análisis isotópicos ha quedado demostrada por varios estudios de todo el mundo y en yacimientos con cronologías muy variadas, la información que puede obtenerse es todavía limitada, y, debido a ello, es necesario relacionar sus datos con los obtenidos a través de otros análisis, métodos y disciplinas. Entre los métodos analíticos directos con los que contamos para la reconstrucción de los patrones de alimentación podemos destacar los que se desarrollan brevemente a continuación.

#### **Estudio de las huellas y desgaste dentario**

Dentro de esta rama, que tiene como objetivo analizar las huellas y desgaste de las piezas dentarias (p.e., Romero et al., 2005; Trancho y Prieto, 2005), encontramos varias subcategorías: (1) Las micro-huellas dentarias, que aportan información sobre los días previos a la muerte, se pueden generar, en primer lugar, por el desgaste mecánico de la superficie de la corona (oclusal) que a su vez depende, entre otros factores, de la composición de los nutrientes (Guerrero y Lorenzo, 1981; Lalueza-Fox y Pérez-Pérez, 1993). Las partículas abrasivas contenidas en el propio alimento rozan dicho tejido produciendo microestrías cuyo patrón (número, longitud, anchura, profundidad, orientación, etc.) varía en función del tipo, tamaño, adherencia y concentración del nutriente, dependiendo de la zona, presión y dureza del esmalte dental (Hillson, 1996; Pérez-Pérez et al., 1999; Puech, 1979; Puech et al., 1986; Teaford, 1991). Gracias a este estudio y mediante la microscopía electrónica fue posible, por ejemplo, afirmar que la dieta del *Australopithecus africanus* y del *Paranthropus robustus* era diferente (Grine, 1984, 1986). Este análisis también se utilizó en los molares del yacimiento de Fuente Hoz (Anúcita), los cuales mostraban huellas de abrasión, así como un moderado número de caries, indicando una dentición fundamentalmente sana. La utilización de molinos de

arenisca para triturar los cereales en este período explicaría, en parte, el importante desgaste de las piezas dentarias al masticar restos de arenilla mezclados con el grano (Basabe y Bennassar, 1983). También dentro del campo de las micro-huellas, nos encontramos con aquellas que se generan en la sección externa del diente (bucal). Algunos investigadores (p.e., Jarošová et al., 2006) afirman que los análisis de las micro huellas bucales excluyen las posibles marcas generadas por el contacto entre ambos dientes al masticar; las estriaciones bucales también parecen no verse afectadas por las alteraciones estacionales en los hábitos alimentarios. Por lo tanto, mediante el análisis de las estrías e irregularidades de la superficie se genera un patrón de desgaste que se puede relacionar con el consumo o contacto de partículas duras o abrasivas, provenientes mayoritariamente de tejidos vegetales o del consumo de sal o arena a través de recursos marinos (Alrousan et al., 2013).

Los análisis de (2) meso-huellas, de aplicación más reciente, se realizan mediante microscopio, con el fin de observar la rugosidad y curvatura general de la superficie, con el objetivo de establecer si el diente o la comida han sido los agentes de desgaste (p.e., Kaiser y Brinkmann, 2006). Finalmente, (3) las macro-huellas, que son visibles sin necesidad de microscopio, pero con una fuente de luz oblicua, permiten distinguir los pulidos de la superficie para, a continuación, establecer su localización y determinar el movimiento mandibular al masticar (Lucas y Omar, 2012).

#### **Estudio de elementos traza**

Los análisis de elementos traza fueron pioneros en utilizar métodos químicos para la reconstrucción de paleodietas (Toots y Voorhies, 1965; Underwood, 1977), años antes de los primeros estudios isotópicos. Estos análisis se basan en la medición de los ratios de los siguientes elementos en las partes inorgánicas de los restos esqueléticos: Sr/Ca, Ba/Ca y Pb/Ca (p.e., Baraybar y de la Rúa, 1995). Durante el proceso de biopurificación, los organismos rechazan la incorporación de los elementos tóxicos de estroncio, bario y plomo (Sillen y Lee-Thorp, 1994). Este rechazo supone que a medida que se aumenta en la escala trófica, el ratio de estos valores tóxicos respecto al ya mencionado calcio decrece. Gracias a esta relación entre los diferentes elementos químicos podemos llegar a determinar la ingesta relativa de productos de origen, tanto animal, como vegetal (Burton y Price, 1990; 2000). Sin embargo, estos estudios prácticamente han desaparecido debido a que en la mayoría de las ocasiones el ratio en el que se basa esta metodología queda contaminado por los procesos diagenéticos, según los cuales se da un intercambio de los elementos con la tierra, alterando así los ratios susceptibles de aportar información alimentaria (Katzenberg, 2000).

Los estudios de elementos traza, realizados con el fin de informarnos sobre el peso relativo de los diferentes componentes de la alimentación a lo largo de la vida de los individuos, se llevaron a cabo en los yacimientos de Pico Ramos (Baraybar y de la Rúa, 1997) y Aizpea (de la Rúa et al., 2001). El principal problema de esta línea de investigación, junto a la contaminación diagenética, radica en la escasez de material esquelético para algunos de los periodos más problemáticos como la transición Mesolítico-Neolítico, así como la poca definición que aportan estos estudios a la hora

de concretar las especies vegetales consumidas como, por ejemplo, discriminar entre plantas silvestres y cultivadas (Zapata, 2002b). En el caso del individuo analizado de Aizpea, sus resultados se agrupan claramente con los procedentes de animales herbívoros, hecho que indicaría que el consumo de proteínas animales de esta persona era bajo y que los alimentos vegetales constituían la principal parte de la dieta. Esta hipótesis parece corroborarse con el estado de la dentadura, con 16 caries en 10 piezas dentarias; hecho que puede atribuirse con cautela a un consumo elevado de carbohidratos (Roberts y Manchester, 2005) y a altas concentraciones de azúcares fermentables (Katzenberg y Saunders, 2008), por lo general más cariogénicos que otros alimentos.

### **Estudio de los cálculos dentales**

Otra de las líneas de investigación más representativas es la de los análisis de cálculos dentales (p.e., Henry et al., 2011); es decir, el estudio de las placas mineralizadas que encontramos en la parte externa del diente. Estas capas se forman a lo largo de la vida de un individuo mediante la acumulación de bacterias, y por los precipitados minerales (Salazar-García y Henry, 2013). A medida que se da este proceso, van quedando atrapados en las capas de bacterias partículas de alimentos, que ya hemos mencionado en el apartado sobre estudios botánicos, y micro restos vegetales (granos de almidón y fitolitos), por lo que los análisis de cálculos se relacionan directamente con los restos vegetales expuestos previamente. Estos componentes difieren de aquellos que podrían aparecer tras un proceso diagenético, por lo que corresponden a los restos de alimentos que consumió el individuo (Power et al., 2014, 2015). Además de micro restos vegetales, las proteínas también pueden quedar atrapadas en esas capas, dejando constancia del consumo de, por ejemplo, productos lácteos. A este respecto debemos mencionar el trabajo de Warinner et al. (2014) en el que mostraban la primera evidencia de consumo de leche en la Edad del Bronce.

En este mismo sentido se han venido realizando análisis de ADN de los propios cálculos dentales, cuya aplicación de las técnicas de recuperar, aislar, amplificar e identificar dicho ADN antiguo (aDNA) sigue teniendo el potencial de revolucionar, tanto la Arqueología, como la Antropología. El ADN está presente de manera natural en cualquier tejido material, cuyos datos nos pueden ayudar a responder a preguntas sobre, por ejemplo, la identificación de patógenos en restos humanos (p.e., Likovsky et al., 2006), el sexo de los mismos (p.e., Mays y Faerman, 2001), la identificación de las especies o los restos de comida (p.e., Burger et al., 2002), la genética de las poblaciones (p.e., Comas et al., 2018) y la identificación y rastreo de especímenes domesticados (p.e., Kahila Bar-Gal et al., 2002). Sin embargo, para la reconstrucción de la dieta, una de las aplicaciones más reseñables es su análisis en cálculos dentales, como el que encontramos en el trabajo de Weyrich et al. (2017). Gracias a esta investigación, en la que analizaron cálculos dentales de Neandertales de la Cueva Spy (Bélgica) y El Sidrón (España), se ha podido reconstruir su dieta: con alto consumo cárnico, que incluiría rinoceronte lanudo y muflón, en el primer caso; y de champiñones, piñones y musgo en el segundo caso.

### **Paleopatología y Antropometría**

También la Paleopatología y Antropometría han sido y siguen siendo dos de las técnicas más habituales referidas al estudio de los restos humanos (p.e., Hillson, 1979). Además de las mediciones de los diferentes huesos que pueden relacionarse con una nutrición más o menos adecuada a lo largo del proceso de crecimiento (Campillo y Subirà, 2004), debemos enfatizar los estudios paleopatológicos. La presencia de malformaciones o vestigios de cierto tipo de enfermedades nos puede aportar interesante información sobre los patrones de alimentación y nutrición de los grupos humanos. Sin embargo, nos encontramos ante el problema de que la mayoría de los signos (calcificaciones, estrías, rugosidades o cualquier irregularidad) que podemos observar tras la evaluación de restos esqueléticos humanos para detectar signos de enfermedad nutricional son inespecíficos. Ello implica que muchos de los indicios podrían atribuirse a una serie de estreses, siendo el estrés nutricional sólo una posibilidad. Incluso un patrón de múltiples síntomas puede interpretarse como un número variable de diferentes enfermedades. Por estas razones, es importante probar cualquier hipótesis generada por los restos esqueléticos humanos con otras fuentes de información (Wing y Brown, 1979). En el caso del País Vasco se han realizado estudios paleopatológicos, por ejemplo, en el yacimiento de Pico Ramos, donde la presencia de hipoplasias lineales del esmalte dentario fue interpretada como resultado de los efectos del destete (Baraybar y de la Rúa, 1995).

#### **2.2.2. Aproximación arqueológica a los patrones de movilidad en la Prehistoria**

Los primeros planteamientos sobre movilidad en la Prehistoria vinieron dados, principalmente, teniendo en cuenta las estrategias de caza y pesca, con los que se relaciona el término “territorios de caza” (Hernández-Pacheco, 1923). A este discurso le siguió la cuestión sobre nomadismo-sedentarismo (Obermaier, 1925), la estacionalidad de los yacimientos o el transporte de animales o materias primas (Carballo y Larín, 1933). Décadas más tarde, sería Barandiaran (1953) el que propondría un modelo de territorialidad y análisis territorial que se aproximaría al estudio de los patrones de asentamiento, que, por entonces, comenzaban a tener éxito en la investigación anglosajona (Ordoño, 2008). Pero no será hasta la década de los 70 y 80 cuando se estudiará este aspecto utilizando la Geografía y los paralelos etnográficos, tal como popularizó Binford (1980). Según este autor la movilidad responde a motivos que nos llevan a hablar de dos sistemas:

1. El sistema forrajeador, que implica un movimiento desde el lugar de residencia (hábitat) hacia los lugares donde se dan los recursos para su explotación (áreas de captación). La movilidad residencial sería más amplia que la logística, a fin de explotar los recursos de la zona hacia la que parten, es decir, el movimiento implica el cambio de residencia de estas gentes para la explotación de los recursos en el nuevo territorio.
2. El sistema colector, donde los recursos serían transportados de las áreas de captación a los asentamientos residenciales (hábitat) para su consumo. En este

caso, la movilidad sería en gran medida logística, ya que no implica un cambio de residencia, sino un transporte al campamento base o hábitat.

Estos sistemas se darían en función de si la mencionada movilidad es logística o residencial. A este respecto, contamos, por ejemplo, con los seis macro-modelos teóricos propuestos por Butzer (1989) para explicar la movilidad de los grupos cazadores-recolectores que, si bien no vamos a centrarnos en ellos, pueden verse de manera esquemática en la Figura 2.4:

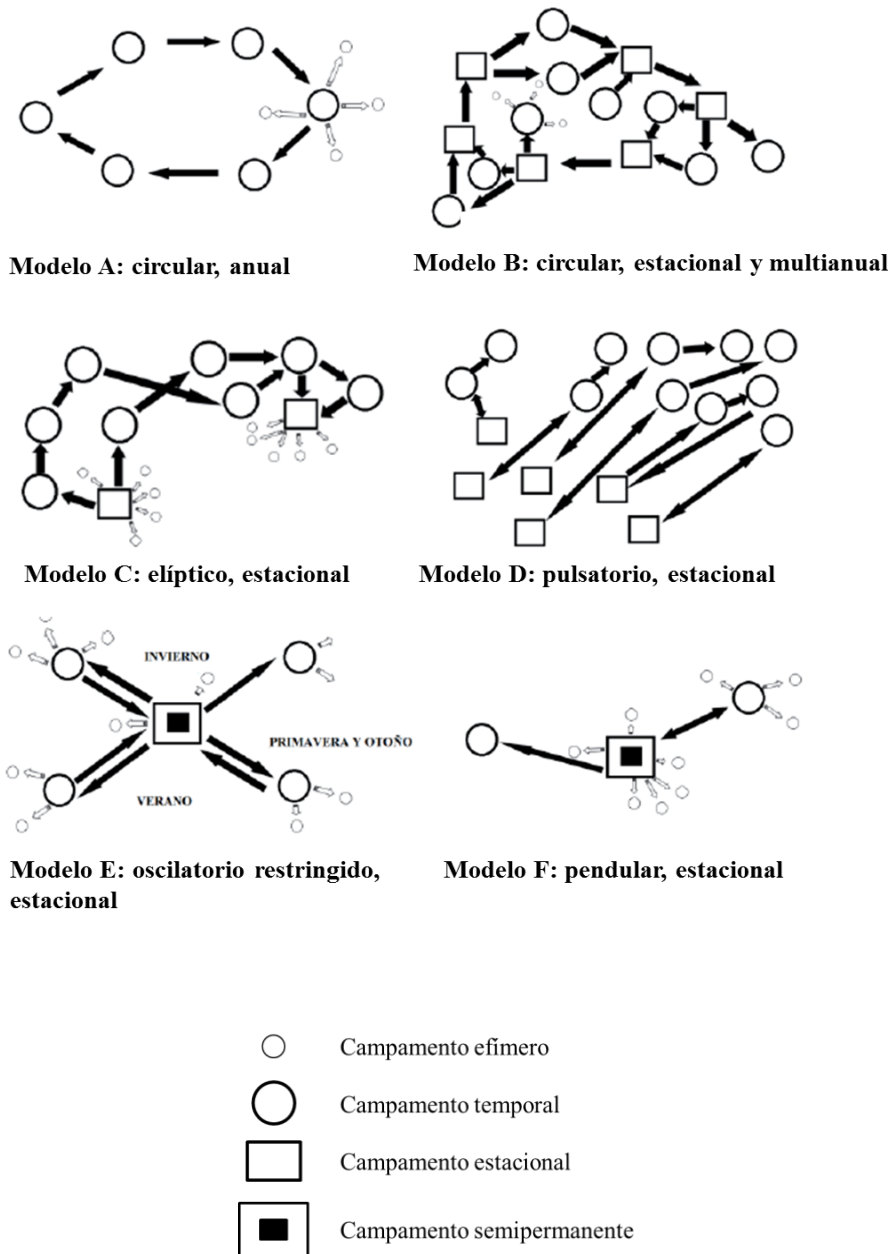


Figura 2.4: Macro-modelos teóricos de movilidad de Butzer (1989) propuestos para las sociedades cazadoras-recolectoras (modificado de Portero, 2017).

A partir de estos estudios y los conceptos derivados de estos, se ha aceptado que la movilidad humana no solo constituye una estrategia económica, sino también una de las

formas en la que las sociedades se organizan. Como consecuencia, se ha establecido que las sociedades siempre realizan movimientos a diferentes escalas, independientemente de si son residencialmente fijas o no, y que dichos movimientos siempre dejan una huella específica en el registro arqueológico (Murrieta-Flores et al., 2012). Prueba de ello es el uso de herramientas de Sistema de Información Geográfica (p.e. García-Moreno, 2010) o la existencia de la Arqueología de los Patrones de Asentamiento, cuyo objetivo es el de analizar, a escala regional, la relación con el entorno y, al mismo tiempo, entre los yacimientos; con la intención de establecer posibles patrones y redes de asentamiento, relaciones intergrupales e incluso posibles articulaciones territoriales (Ordoño, 2008).

Queda patente, por lo tanto, que los patrones de movilidad territorial provocan un gran interés entre la comunidad científica, por la gran información que aportan sobre la forma en que los individuos se relacionaban con el entorno. Lo primero que nos viene a la mente al tratar sobre este aspecto es, posiblemente, el impacto de la neolitización en el tercio norte peninsular. Pero retrocedamos antes de abordar esa idea hasta el final del Paleolítico Superior, etapa cultural en la que nos podemos encontrar con varios trabajos sobre movilidad territorial que son de gran interés para entender los patrones de la Prehistoria Reciente en el País Vasco. Los cambios en el entorno, así como las variaciones climáticas propias del Paleolítico Superior condicionaron, entre otros factores, la dinámica entre la tendencia al sedentarismo y la inevitable necesidad de emigrar de aquellos individuos. Por ello fue, precisamente, la migración una de las respuestas de aquellas poblaciones a estas variaciones que se producían en los recursos. Los movimientos de población facilitaron en el Paleolítico Superior la transmisión de materias primas, utillaje, técnicas, usos, ideas, etc. La Antropología Cultural conoce la tendencia de los pueblos cazadores y recolectores a reunirse temporalmente en algunos puntos de agregación tradicional: allí acuden grupos familiares o tribales para intercambiar sus bienes, comunicarse información, celebrar ceremonias de carácter común, etc. (p.e., Guráieb, 2011).

Sin embargo, previo a ese estadio debemos tener en consideración que, en el caso de la Cornisa Cantábrica, desaparece buena parte del corredor de la plataforma litoral durante el Paleolítico Superior, que había favorecido las comunicaciones entre los primeros grupos prehistóricos. En esta fase, el paisaje se compartimenta, tal como lo conocemos ahora, en territorios más pequeños acotados por los valles de los cursos bajos de los ríos, dificultando el acceso entre los mismos; esta situación sumado a un aumento demográfico justifica (como han sugerido los estudiosos del Mesolítico regional), tanto la escasa movilidad de los grupos humanos establecidos en la zona, como una explotación integral de los recursos más próximos (Barandiaran, 2012). En un reciente artículo de Arrizabalaga et al. (2016) se hace hincapié en la exploración de la ruta occidental del poblamiento peninsular que cruza el tercio norte peninsular en el que se enmarca esta Tesis Doctoral. Según este trabajo, que se basaría a su vez en uno anterior (Arrizabalaga, 2007), “se da la paradoja de que lo que caracterizaría al País Vasco como región sería su carácter abierto respecto a las regiones colindantes, desde y hacia las que se canalizarían los flujos de poblaciones, materiales e ideas que, en tránsito en ambos

sentidos entre la Península Ibérica y el continente europeo, se acuñan para cruzar los Pirineos” (Arrizabalaga et al., 2016: 233). Así pues, tomando como referencia la propia dispersión de los yacimientos arqueológicos, la distribución de materias primas líticas, los tecnocomplejos y las similitudes o diferencias en los comportamientos culturales y económicos de los grupos humanos, esta investigación concluye la existencia de un corredor natural en la mencionada zona geográfica.

Centrándonos un poco más en los movimientos a escala local, diferentes autores como Utrilla (1981), Butzer (1986) o Straus (1986) han analizado la estructuración de esta región, los cuales han propuesto la aceptación de un modelo teórico de ocupación atendiendo a las características de los yacimientos, a su situación y a los materiales arqueológicos encontrados. Sin embargo, en todos ellos se nota un cierto nivel de estatismo. La tendencia general es la identificación de varios lugares centrales o campamentos base que se articulan con otros subordinados. En algunos casos (Butzer, 1986) se propone la existencia de dos territorios, uno costero y otro interior. En este modelo estas dos zonas son competitivas y pueden soportar grupos humanos diferentes. Sin embargo, las características geográficas de la zona, compuesta por estrechos valles, hace difícil pensar en que pueda soportar una densidad de población que permita la coexistencia de diferentes grupos en las mismas zonas (Bernaldo de Quirós, 1992). Precisamente, teniendo en cuenta esta idea de explotación interior-litoral debemos mencionar el trabajo de Prieto et al. (2016), en el que se analiza la accesibilidad que tuvieron los grupos humanos del Paleolítico a los recursos líticos de zonas tan distantes como los afloramientos del Flysch o de Treviño, utilizando para ello la herramienta GIS y las Unidades de Coste que tienen en cuenta, no sólo la distancia, sino también las variaciones topográficas. Tomando este punto de partida, podríamos llegar a establecer cuál fue el territorio de un grupo humano teniendo en cuenta el entorno ecológico y la topografía del área circundante. Así mismo, dicho “territorio” estaría compuesto por áreas fundamentales de las que obtener sus recursos: (1) el territorio propiamente dicho, representaría el área de recursos cercanos y cotidianos; (2) el área de captación, sería un concepto más amplio, al contener también los territorios de otros yacimientos ocupados por el grupo humano en sus desplazamientos (Bernaldo de Quirós, 1992).

Una de las principales herramientas utilizadas para definir estos territorios, y en consecuencia reconstruir los patrones de movilidad en la Prehistoria de la región de estudio era, y sigue siendo, el análisis de la cultura material. Estos estudios se realizan mediante el examen del origen de las materias primas que aparecen en los yacimientos objeto de estudio, como hemos visto en el caso de Prieto et al. (2016). De esta manera, es posible relacionar los tipos de sílex con los afloramientos conocidos, lo cual indicaría la existencia de unas redes de intercambio o que los individuos de ese yacimiento a la fuerza tuvieron un rango de movilidad en el que se englobaban esas zonas (Cava et al., 2007-2008; Tarrío, 2000). En las inmediaciones de los yacimientos que analizamos en el presente trabajo las principales fuentes de sílex son las de Urbasa, Treviño, Tercis, Flysch y Chalosse (Tarrío, 2011b).

En líneas generales podemos determinar que en la mayor parte de yacimientos analizados se encuentran dos grupos de materias primas. El más abundante tiende a ser aquel compuesto por recursos locales en un área máxima de 20-30km; al que le complementa la existencia de materias regionales, traídas de una distancia de 30-60km y, nunca superando los 120km y, finalmente, los sílex *marcadores o indicadores*, que definen los territorios en función de su difusión y que pueden provenir de 60-120km y, excepcionalmente, superando los 200km de distancia desde el yacimiento (Tarrío et al., 2015). En esta línea de investigación, centrada en el análisis del origen o las fuentes de las materias primas de un yacimiento, contamos con la línea de investigación de A. Tarrío (p.e., Tarrío et al., 2012) que analiza las materias primas de la industria lítica utilizadas en la zona de estudio de esta Tesis Doctoral. El objetivo de estos análisis es, tal y como hemos mencionado, determinar los espacios de circulación, con sus redes de captación, distribución e intercambio. A modo de ejemplo, los análisis del sílex del yacimiento de Labeko Koba han concluido que sus ocupantes utilizaron instrumentos elaborados casi exclusivamente con sílex, cuyos afloramientos se hallaban a una distancia considerable: un 51% del utillaje está fabricado en sílex de Urbasa (a 40 km al sur), un 33% es de canteras de Treviño (a 50/60 km al suroeste) y una proporción menor de otras localizaciones (como el 5% de la costa de Bizkaia a 60/70 km al norte) (Tarrío, 2000).

Además de los estudios sobre la industria lítica, en ocasiones nos encontramos con descubrimientos que marcan en sí mismos un punto de inflexión a la hora de analizar los patrones de movilidad. Este es el caso, por ejemplo, de la presencia de un fragmento de un espécimen de *Spondylus* sp. (posiblemente *Spondylus gaederopus*) en el yacimiento de Lezetxiki (Gipuzkoa). Hoy en día está ausente no sólo en el Golfo de Bizkaia, sino también de la costa atlántica del norte o Francia. Los investigadores (Arrizabalaga et al., 2011) consideran que su presencia en el yacimiento debería ser explicado como resultado de una compleja red de intercambios, incluso entre grupos cazadores-recolectores, que abarcaría la costa mediterránea. En esta misma línea aparecieron restos de conchas de moluscos costeros en sitios como Bolinkoba, que distan a más de 20 km del mar, Erralla, donde se documentaron 184 restos de moluscos marinos, Amalda o Ekain (Álvarez-Fernández, 2015).

Respecto al Mesolítico contamos con pocos yacimientos analizados en la región de estudio o zonas circundantes. Uno de los trabajos sobre estos yacimientos viene dado de la mano de Cava et al. (2007-2008), en el que se analiza el origen de las materias primas de los yacimientos con una cronología del Mesolítico y del Neolítico Antiguo de Mendandia, Kanpanoste y Aizpea. En ellos se encuentran mayoritariamente materias primas de afloramientos cercanos a los propios yacimientos (a entre 10 y 25 km de distancia). Curiosamente, no existen afloramientos de sílex más próximos a los yacimientos, lo que según el equipo de investigación significaría que los recursos bióticos serían de mayor importancia para aquellos individuos. Si nos centramos en el caso de Aizpea, el sílex mayoritario, considerado autóctono, es el del Flysch terciario pirenaico pero al que, sin embargo, se le suman los sílex de las costas landesas, de Chalosse y de Flysch nordpirenaico, que remarcaría la relación que tendrían con zonas



más norteñas. Por otro lado, y también para la misma cronología, nos encontramos en algunos yacimientos con la presencia, no sólo de materias primas líticas alóctonas, sino también con elementos que informan sobre la circulación o movimiento, ya fuera de los objetos en sí mismos o de los individuos que los trasladaban, tal y como veíamos para el Paleolítico con el caso de Lezetxiki. Tales son, por ejemplo, la presencia de conchas marinas como las *Collumbela rustica* procedentes probablemente del Mediterráneo que demuestran que las relaciones costa-interior ya comenzaron en el Mesolítico (Barandiaran y Cava, 2000).

Si avanzamos cronológicamente hasta el Neolítico, la percepción que tenemos sobre la movilidad cambia drásticamente. Tradicionalmente se considera que con la llegada de la economía de producción el ser humano tiende al sedentarismo y que, sin embargo, las relaciones comerciales se incrementan. Estos patrones de movilidad han sido abordados desde diferentes líneas de investigación, además de la cultura material y los análisis de ADN que expondremos más adelante. Centrándonos en los materiales líticos en sí mismos, en el Neolítico de la zona de estudio se desarrollaron estrategias destinadas a obtener recursos más apropiados, como los encontrados en el yacimiento de Araico (Treviño, Burgos). En este yacimiento se identifican estructuras mineras de explotación, como cubetas, zanjas, escombreras, mazas de ofita y miles de fragmentos de sílex, resultado de la actividad extractiva (Tarrío et al., 2012). En líneas generales, durante el Neolítico hasta la Edad de Bronce, se deduce un comportamiento bastante parecido al documentado en los yacimientos Epipaleolíticos o Mesolíticos, pero con la incorporación de un nuevo tipo de sílex ausente hasta el momento y ajeno a la Cuenca Vasco-Cantábrica: el sílex evaporítico de grano fino del Ebro (Cuenca Terciaria del Ebro). Este tipo de sílex tiene porcentajes de aparición generalmente significativos (1-10%); mientras que para las cronologías más recientes pueden aparecer otros sílex exóticos de procedencia muy lejana (>200-300km) que aparecen como indicios (<1%) (Tarrío y Terradas, 2013). Un buen ejemplo lo encontramos en el yacimiento de Los Husos, donde el sílex procede mayoritariamente de la cuenca del Ebro, cuyos afloramientos más próximos se encuentran en la zona meridional de Navarra, a unos 100 km. Este tipo de sílex se encuentra también en los niveles del Neolítico Antiguo del abrigo de Peña Larga, yacimiento cercano al de Los Husos, si bien en este caso la proporción es mucho menor que la de sílex de procedencia occidental, de la cuenca de Treviño (Barandiaran, 2012).

En esta misma línea, autores como Cava (1988) han remarcado la influencia que tuvo el mediterráneo en esta región. Para ello, observa las similitudes entre el geometrismo Epipaleolítico del sur del País Vasco y las de Cocina, o el Bajo Aragón, junto a la incorporación por esta misma vía de animales domésticos, como la oveja, o las cerámicas impresas. En su favor, nos encontramos con la existencia de las mencionadas conchas de *Columbella rustica*, también mediterráneas, en el yacimiento de Fuente Hoz (Delibes, 1996).

La presencia de objetos de carácter claramente alóctono no sólo se da en la región objeto de estudio (Álvarez-Fernández, 2006); si bien en este trabajo no pretendemos

enumerar todos los casos de la Península Ibérica o la Costa Atlántica, consideramos conveniente dar algunos ejemplos a este respecto. Contamos, en primer lugar, con la presencia de adornos de concha *Dentalia* o *Trivia* en las sepulturas de interior de Simancas, El Miradero o Las Arnillas (Delibes et al., 1986; 1987). Otro elemento exótico que llama mucho la atención son las hachas de jade de origen alpino que se distribuyeron por toda Europa Occidental, incluyendo puntos muy dispares de la Península Ibérica, entre el VIII y V milenio calBP (Villalobos y Odriozola, 2017). Si nos fijamos en las dinámicas locales de distribución y uso de estos elementos, lo más sensato parece, por el momento, adscribir las hachas de jade-jadeíta como muy pronto al VI milenio calBP, cuando en el centro-occidente peninsular comienzan a circular elementos exóticos, como son los adornos de variscita, lignito, pizarra o marfil africano y asiático (Murillo-Barroso y Martín, 2012; Schuhmacher, 2012).

Respecto a la presencia de ámbar, se han analizado varios yacimientos del norte peninsular en los que aparecen restos de dicho material, con cronologías que oscilan desde el Paleolítico Superior hasta la Edad del Bronce (Murillo-Barroso et al., 2018). El estudio concluye que el ámbar arqueológico prehistórico de la región tuvo mayoritariamente un origen local, y que probablemente era obtenido en áreas muy cercanas a los yacimientos arqueológicos prehistóricos. Los espectros de infrarrojos (IRTF) de los ámbares de los yacimientos en cueva de El Pendo y Cueva Morín (Álvarez-Fernández et al., 2005), La Garma A (Peñalver et al., 2007) y el monumento megalítico de Trikuaziti I (Mujika y Armendariz, 1991) muestran que corresponden a ámbares cretácicos. Únicamente el ámbar del monumento megalítico de Larrarte (Mujika y Armendariz, 1991) corresponde a succinita del Terciario Báltico. Estos datos indican que, al menos en una pequeña área de la provincia de Gipuzkoa (Trikuaziti I y Larrarte, ambos de cronología calcolítica), los grupos humanos utilizaron, tanto el ámbar autóctono, como el alóctono. Por lo tanto, gracias a las rutas comerciales con el norte de Europa a partir del Neolítico, el abastecimiento de ámbar autóctono en la Península Ibérica se abandonaría en gran medida, para dar paso a un ámbar alóctono más transparente y fácil de trabajar: el ámbar báltico. No obstante, durante el inicio del Bronce se seguiría utilizando ámbar del Cretácico en algunos yacimientos, como se observa en Trikuaziti I o durante el Bronce Pleno de la Lora I (Álvarez-Fernández et al., 2005).

La última línea de investigación que vamos a tratar a continuación con el fin de discernir los patrones de movilidad es el ya mencionado ADN. Su metodología está basada en los análisis sobre material antropológico, puesto que el ADN está presente de manera natural en cualquier tejido orgánico con células con núcleo, incluido el hueso (p.e., MacHugh et al., 2000). Dentro de los análisis de ADN debemos diferenciar entre aquellos que estudian el ADN nuclear (ADNn), que sólo se transmite de padre a hijos varones, y el mitocondrial (ADNmt) que es transmitido sólo por mujeres, tanto a hijas, como a hijos (de la Rúa y Hervella, 2013). Aunque nos vamos a centrar en los análisis de restos humanos, debemos recordar y ser conscientes de que también se pueden analizar restos de origen animal y vegetal, que abren líneas de investigación como las especies implicadas en la domesticación, sus lugares de origen, agriotipos y

redistribución, recorridos espaciales y cronológicos, etc. (p.e., Fuller, 2007; Larson et al., 2007; Scheu, 2017). En relación a su utilidad en el estudio de la movilidad humana, debemos remarcar, en primer lugar, la posibilidad de identificar la existencia o no de posibles relaciones familiares en el caso de las tumbas colectivas (p.e., Hervella et al., 2012). Por otro lado, a pesar de los problemas involucrados en la identificación de grupos étnicos (p.e., Jones, 2008), los datos obtenidos nos pueden ayudar a responder a preguntas sobre, por ejemplo, las migraciones poblacionales en procesos de máximo interés, como el de la neolitización (p.e., Kaestle y Smith, 2001); puesto que posibilita recuperar datos de variabilidad genética sobre esos individuos, tal y como se ha llevado a cabo en Europa con el objetivo comprender con mayor detalle dicho proceso, y su impacto en las sociedades pre productoras (p.e., Dequilloux et al., 2012).

Si bien se trata de un proceso muy complejo y variado en función de las características regionales, en la Península Ibérica la contribución genética de los cazadores-recolectores es superior a la observada en el resto de Europa, mostrando una alta variabilidad regional (Olalde et al., 2018). Los datos mitocondriales sugieren que sólo una pequeña fracción de los europeos actuales pudo ser descendiente de los individuos neolíticos procedentes de Oriente Próximo, con linajes mitocondriales incorporados en el Neolítico de alrededor del 20%.

Los análisis de ADN mitocondrial realizados en la región de estudio del norte peninsular de cronologías prehistóricas engloban un total de 17 yacimientos<sup>4</sup>, si bien se han realizado más en otras zonas circundantes (Alt et al., 2016; Szécsényi-Nagy et al., 2017; Olalde et al., 2018), hemos decidido no incluirlas en esta sección con el fin de sintetizar la información. Los yacimientos analizados muestran una distribución descompensada espacial y cronológicamente: más de la mitad de las muestras corresponden a análisis de yacimientos del Neolítico Final y el Calcolítico, mientras que para períodos como el Paleolítico Superior (n=4) o el Mesolítico (n=3) las muestras son muy escasas. Geográficamente, las muestras se concentran en el área vasco-navarra para momentos neolíticos y postneolíticos, pero las de épocas anteriores provienen de áreas más occidentales (Cantabria). Respecto a los resultados observamos los subhaplogrupos pertenecientes al clado mitocondrial U, que parecen reafirmar la idea de la uniformidad genética matrilineal, al menos de las poblaciones mesolíticas de la zona (Sánchez-Quinto et al., 2012).

Las primeras analíticas corresponden al trabajo de N. Izagirre (1998), al que le siguió otro en colaboración con C. de la Rúa (Izagirre y de la Rúa, 1999), quienes utilizaron el ADN para profundizar en la hipótesis sobre movimientos poblacionales emanada del estudio del ADN europeo actual (Torróni et al., 1996, 1998) y fundamentada en la frecuencia del haplogrupo-mt V. Sus resultados, si bien no son analíticas completas, contrastan con la imagen teórica de la población vasca como heredera inalterada de los pobladores preneolíticos de la zona (Dupanloup et al., 2004). Por lo que proponen un

---

<sup>4</sup> Aizpea, Campas de la Choza, El Mirón, Erralla, Errekatzuetako Atxa, Fuente Hoz, La Chora, La Pasiéga, Longar, Los Cascajos, Marizulo, Paternanbidea, Pico Ramos, San Juan Ante Portam Latinam, Santimamiñe, Urtiaga, Urratxa III (de la Rúa et al., 2015; López Quintana et al., 2015; Palencia, 2015).

origen del acervo genético vasco actual en momentos posteriores al Neolítico, idea apoyada por análisis de ADN de población de cronología histórica (Alzualde et al., 2005). Las altas frecuencias del haplogrupo-mt T2b en el estudio genético de poblaciones actuales de las zonas nortes de Navarra y Cantabria oriental (no así en las muestras provenientes del País Vasco), pueden interpretarse como signo de continuidad en el acervo genético de la región, o como resultado de la deriva genética (Cardoso et al., 2011).

El posterior estudio de Hervella et al. (2012), en consonancia con las tendencias actuales de investigación paleogenética, realiza un amplio recorrido cronológico (Paleolítico Superior-Edad del Bronce), teniendo como resultado una configuración diferente de la distribución de haplogrupos-mt respecto a las muestras de población actual y entre las diferentes épocas. Este trabajo rechaza modelos puramente démicos o aculturadores para la neolitización del territorio, revelando un panorama complejo del proceso regional. Los autores enuncian que el fenómeno de adopción de la economía de producción sigue pautas diferentes en el norte peninsular respecto a otras áreas, como Europa Central o el Mediterráneo occidental (Hernández, 2015), información que ha sido recientemente ratificada por Szécsényi-Nagy et al. (2017). Asimismo, la existencia del haplogrupo-mt H en muestras preneolíticas, debe ser tomada en cuenta como un rasgo diferencial respecto a otras regiones, al igual que el ascenso del haplogrupo-mt U en momentos avanzados del Neolítico, presente en todas las muestras descritas como mesolíticas (Hervella et al., 2012; Sánchez-Quinto et al., 2012).

Finalmente, contamos con la Tesis Doctoral de L. Palencia (2015) dirigida por la Doctora M.Á. Martínez de Pancorbo en la que fueron analizados los yacimientos del Dolmen de Errekatzuetako Atxa, el Dolmen de Campas de la Choza y Santimamiñe. Los resultados de los dólmenes muestran un patrón similar, con linajes que se corresponden con los haplogrupos R0, U y J, donde destaca el R0. Como consecuencia, la autora concluye que las poblaciones que utilizaron esos dólmenes se encontraron, filogenéticamente hablando, muy próximas. Esta relación podría responder a un origen común, a que tuvieran un contacto continuo, o a que los individuos aparecidos en estos dólmenes formaran parte de la misma población, pudiendo, además, ser una opción que una de ellas descendiera de la otra. Respecto a los resultados de Santimamiñe, difieren notablemente respecto a lo observado en los dólmenes, pudiendo ser reflejo de una mayor diversidad de los linajes mitocondriales en esta zona geográfica.

## 2.3. The application of carbon, nitrogen and strontium isotopes in archaeology: current status

### 2.3.1. Isotopic principles

The word “isotope” was conceived by Margaret Todd, a medical doctor, and Frederick Soddy in 1912, when Soddy described the then-nameless concept of elements of different masses that occupy the same place in the periodic table. Todd suggested the term ‘isotope’, from the Greek *isos* (‘same’) and *topos* (‘place’), being coined in scientific literature by Soddy a year later in 1913 (Nicol 1957; Nagel 1982).

One of the most-often used tools to reconstruct past dietary patterns, in recent decades, has been the analysis of stable isotope ratios of carbon and nitrogen on archaeological skeletal material (e.g., Makarewicz and Sealy, 2015; Schwarcz and Schöninger, 2011). On the other hand, strontium isotopes have proved to be very suitable to track past territorial mobility patterns at the individual level analysing enamel. To understand how this data is obtained we need to know, first of all, the biochemical processes of each element through its incorporation in an organism, as explained below.

To begin, we have to explain the concept of an isotope and their typology. The isotopes are one of each atom of a chemical element with different neutrons. In the case of carbon and nitrogen used for dietary reconstruction, they are called *stable* isotopes because they do not decompose through the time. Others, like  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , named *radiogenic* are those which are created from the decomposition of a *radioactive* ones, being one of the most used the *Carbon fourteen*/ $^{14}\text{C}$  (Ebbing, 1996). Depending on their mass there are two types too: on the one hand, there are heavy isotopes, with more mass (e.g.,  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ ); on the other hand, the light isotopes are those with less mass (e.g.,  $^{12}\text{C}$  and  $^{14}\text{N}$ ). Both heavy and light isotopes undergo the same reactions, but in the case of heavy ones, they react slower than lights because of their mass; consequently, these differences in reaction rates cause an alteration or fractionation in the isotopic ratio (White, 2013) (see *Carbon and nitrogen isotopes*).

The most used analyses on the bone collagen are based on the relations between the stable isotopes of two main chemical elements: carbon ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) and nitrogen ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ). Additionally, there are analyses of sulphur ( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ ), oxygen ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) and hydrogen ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ) isotopes. On the other hand, the analyses of the isotopic proportions of strontium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) on the enamel are relevant, due to the diagenesis in this material is less than in bones. But why choose these isotopes for analysing humans and animals? It is because almost all of them are the bioelements that compose the base of the biological material. The intake of these elements is essential when we ingest food or water (Sandford, 1993). On the other hand, the use of the strontium isotopes is related to the particularities of it, which can vary according to the geology where the food process has been developed (Bentley, 2006).

### 2.3.1.1. Carbon and nitrogen isotopes: principles

Focusing on the stable isotopes of carbon and nitrogen, their analysis is based on the premise that the isotopic composition of foodstuffs is reflected in the consumer's tissue, and changes only through the isotopic fractionation. This term is defined as the relative partitioning of the heavier and lighter isotopes between two coexisting phases in a natural system (Tiwari et al., 2015). In this case, it defines the difference between the isotopic values of the animal or plant ingested and the analysed sample, which is composed, at the same time, of two processes: kinetic fractionation and thermodynamic fractionation. The first one refers to the fractionation that occurs in the biological systems (enzymatic reactions), when there is a rupture or formation on a link. On the other hand, the thermodynamic fractionation is a process of balance where there is no breaking or formation of links; it is responsible of isotopic effects observed in chemical and physical processes, such as the infrared absorption and distillation (Meier-Augenstein, 2002; Salazar-García, 2011).

Moreover, this fractionation does not happen homogeneously among species, neither among isotopes of different chemical elements (DeNiro and Epstein, 1981; McCutchan et al., 2003). According to this, the  $\delta^{13}\text{C}$  data, for example, will vary between 0 and 1 ‰ and the  $\delta^{15}\text{N}$  data between 3 and 5 ‰ from foods to consumer (Bocherens and Drucker, 2003; DeNiro and Epstein, 1978, 1981; Schöeninger and DeNiro, 1984). Some more recent studies, however, suggest that the increment of nitrogen through fractionation could be higher (Hedges and Reynard, 2007; O'Connell et al., 2012). Although other skeletal substrates, such as bone apatite (e.g., Tieszen and Fagre, 1993) and dental calculus (e.g., Salazar-García et al., 2014b) have been used and evaluated as dietary markers, collagen is still the preferred material for carbon and nitrogen analysis, since it allows studying both isotopes and has internationally accepted quality controls to evaluate the degree of diagenesis (e.g., Van Klinken, 1999).

Before focusing on the information that can be obtained from each isotope, we have to mention that the results are compared with standard values, using the delta notation ( $\delta$ ) and expressed in parts per thousand (‰), due to the low amount of abundance of different isotopes (McKinney et al., 1950). The delta value can be positive, when the sample is heavier than the model material and we use terms like “enrich”, taking into account the heaviest isotope. On the other hand, it can be negative as in the case of carbon. This value is obtained with the formula shown below (Eby, 2004).

$$\delta = \left( \frac{\text{Isotopic ratio of sample} - \text{Isotopic ratio of standard}}{\text{Isotopic ratio of standard}} \right) \times 1000$$

The delta values are related to the measured difference in relation to an international standard. In the case of stable carbon isotope ratios, they were expressed relative to the VPDB scale (Vienna PeeDee Belemnite), with a  $\delta^{13}\text{C}$  content of 0.011237 ‰. The stable nitrogen isotope ratios, on the contrary, were measured relative to the AIR scale (atmospheric  $\text{N}_2$ ), with a constant natural abundance of 0.3663 ‰ (Létolle, 1980; Sweeney et al., 1976).

Leaving the general information aside, the study of  $\delta^{13}\text{C}$  is related to the carbon biological cycle (for natural abundances see Table 2.1). The carbon enters in the biosphere in the form of atmospheric  $\text{CO}_2$ ; we have to take into consideration that the actual atmospheric carbon value is about 7 ‰ and 8 ‰ (Keeling et al., 1979; O’Leary, 1981). However, it has been observed that due to the burning of fossils fuels and deforestation, the value is becoming more negative (0.03 ‰ per year) (Keeling et al., 2005). This atmospheric carbon is incorporated into the plants during photosynthesis; in this phase, the light isotope ( $^{12}\text{C}$ ) is positively discriminated, therefore, the  $^{13}\text{C}$  plants decrease regarding to the atmosphere (O’Leary, 1995). This means that the plants use more  $^{12}\text{C}$  than  $^{13}\text{C}$ , occurring the first isotopic fractionation of the cycle.

Isotope	Fractional abundance
$^{12}\text{C}$	0.98889
$^{13}\text{C}$	0.01111

**Table 2.1. Natural abundances of carbon stable isotopes (Rosman and Taylor, 1998; Schoeller, 1999).**

In this point we have to make a distinction between plants, regarding to the different photosynthetic pathways. The plants which fix the carbon dioxide in a molecule with three carbon atoms are called  $\text{C}_3$  plants, because they use the  $\text{C}_3$  photosynthetic pathway (Calvin-Benson Cycle). They incorporate less quantity of  $^{13}\text{C}$  isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  mean value of  $-26$  ‰; between  $-22$  and  $-34$  ‰) (O’Leary, 1988), comparing with those which fix the carbon dioxide in a molecule with four atoms of carbon, following the  $\text{C}_4$  photosynthetic pathway or plants  $\text{C}_4$  (the more recently discovered Hatch-Slack cycle) ( $\delta^{13}\text{C}$  mean value of  $-12.5$  ‰, between  $-7$  and  $-20$  ‰) (Hoefs, 1997; O’Leary, 1981; Smith and Epstein, 1971; Tieszen, 1991). Therefore, the  $\text{C}_3$  plants use the mentioned Calvin-Benson pathway, which results in three composed carbon atoms (phosphoglyceric acid). On the other hand, the  $\text{C}_4$  pathway has a higher rate of carbon-dioxide assimilation, as a consequence of an adaptation to warmer environments with high light intensity; therefore the plants that follow this pathway appear mainly in tropical grasses (Wing and Brown, 1979). The two pathways can be distinguished on the basis of their respective carbon isotope ratios ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ). Because  $\text{C}_3$  plants discriminate more than  $\text{C}_4$  plants against the heavier isotope during the uptake of atmospheric carbon dioxide;  $\text{C}_3$  plants, consequently, have a lower  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio than  $\text{C}_4$  plants (Lerman and Troughton, 1975).

Therefore, if we analyse the  $\delta^{13}\text{C}$  mean values of both  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  plants, we can see that there is no overlap between the ranges of different groups of plants. This means that it is possible to estimate the relative importance of them in the diet (DeNiro and Epstein, 1978). Overall, the  $\text{C}_3$  plants are almost all the trees, bush and plants of cold, mild regions and extreme latitudes. The foods that derive from them are most of the cereals

(barley, wheat and rice), nuts, fruits and vegetables. The C<sub>4</sub> plants (only the 3 % of the plants on Earth) are in tropical climates, savannah environments and regions adapted to heat and aridity. In this areas, prevail the herbaceous and food like corn, millet, sorghum and sugar cane (Tieszen, 1991; Vogel and Van der Merwe, 1977). In addition to C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants, a third group exists, called CAM (Crassulacean Acid Metabolism), in which are included those plants adapted to arid conditions too. This last group of plants can, depending on environmental conditions, fix carbon-dioxide by either the C<sub>3</sub> or the C<sub>4</sub> pathway, or both, and consequently have C<sub>3</sub>-like, C<sub>4</sub>-like, or intermediate <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratios. Inside this group we find the cactus, a large amount of spermatophytes (plants with flowers), like orchids or bromeliaceous (such as pineapple). All these plants have the same enzyme than C<sub>4</sub> plants, but they use it in a different way, because they affix the CO<sub>2</sub> during the night and release and reattach the carbon during the day. Inside the CAM plants, there are the considered *real* CAM and *facultative* CAM. The real ones have δ<sup>13</sup>C values ca. -11 ‰ (Lajtha and Michener, 1994); on the other hand, the facultative have δ<sup>13</sup>C values among -23 and -11 ‰.

Overall, the isotopic differences introduced during photosynthesis are maintained in all metabolic steps within the plant, as well as in the subsequent animal links of the food chain (Wing and Brown, 1979). Therefore, the isotopic analyses of carbon allow us to differentiate the diets based on C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> or between C<sub>3</sub> and CAM, but not between CAM and C<sub>4</sub> (Hoefs, 1997). However, both CAM and C<sub>4</sub> plants are almost non-existent in the chronology and area in which this work is focusing on (Taiz and Zeiger, 2006).

In addition to the differences produced by the types of photosynthetic pathways, other agents can affect the carbon proportions: physiological influences (e.g., Farquhar et al., 1989), environmental, spatial and temporal effects, such as the humidity, the temperature or the quality of the substrates (e.g., Downton et al., 1985; Flanagan and Jefferis, 1989; Korner et al., 1988; Madhavan et al., 1991). Because of the combination of the mentioned influences and many others, not only in a global scale, but also on a smaller scale, we can find a high variability in the carbon isotopic values. For example, some researchers have demonstrated that the low temperatures and the hydric stress increase the δ<sup>13</sup>C values in the same specie plants (Lajtha and Marshall, 1994; Michelsen et al., 1996). Additionally, even the same plant can have variable δ<sup>13</sup>C values depending on the anatomical and biochemical fractions (Ambrose and Norr, 1993); the leaves usually have more negative values comparing to the roots or the trunks with higher values (O'Leary, 1981).

After explaining the variations of carbon values in plants and returning to the carbon biological cycle (Fig. 2.5), the carbon values of the mentioned plants are integrated in the animal tissues and, then, ingested by humans. The δ<sup>13</sup>C ratios are the result of the consumption of different macronutrients (proteins, lipids and carbohydrates); therefore, the isotopic composition of carbon molecules (including bioapatite and collagen) is directly connected with the isotopic intake through the food. Even so, it has been demonstrated that the carbon quantity in collagen, the most used substrate for



archaeologists, depends mainly on the consumed proteins (Ambrose and Norr, 1993; Jim et al., 2004). Therefore, the  $\delta^{13}\text{C}$  values on bone collagen are able to determine the relative weight of protein depending on its source, in particular between plants following the  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  photosynthetic pathways and the products of animals feeding on these plants (Chenery et al., 2010; Van der Merwe, 1982). As mentioned before,  $\text{C}_4$  plants were almost non-existent, being therefore carbon isotope ratio analysis mainly useful for discriminating between the consumption of terrestrial and marine resources (e.g., Arias, 2005; Chisholm et al., 1982; Keegan and DeNiro, 1988; Lubell et al., 1994; Tauber, 1981).

The marine resources are generally more enriched in  $\delta^{13}\text{C}$  compared to the terrestrial ones, because of that, it is possible to discriminate between them. For example, the marine vertebrates have a  $\delta^{13}\text{C}$  mean value of ca.  $-12 \pm 1$  ‰, while the terrestrial have a  $\delta^{13}\text{C}$  mean value of ca.  $-20 \pm 1$  ‰ (Richards and Hedges, 2003). The marine vertebrates have  $\delta^{13}\text{C}$  higher values because their carbon main source is the  $\text{CO}_2$  dissolved in the water, originating from the carbonates, which have a  $\delta^{13}\text{C}$  value of 0 ‰ and, therefore, higher than the atmospheric  $\delta^{13}\text{C}$  of ca.  $-8$  ‰ (Feng, 1998; Friedli et al., 1986). Taking this information into consideration, an organism with  $\delta^{13}\text{C}$  ca.  $-12$  ‰ will have a diet based almost only on marine proteins. On contrast, an organism with  $\delta^{13}\text{C}$  ca.  $-20$  ‰ corresponds to a diet based on terrestrial proteins (Richards and Hedges, 1999b).

Regarding the use of bone collagen to analyse  $\delta^{13}\text{C}$  values, a review of published enrichment values, under experimental conditions, suggests that the  $\delta^{13}\text{C}$  values from the diet to collagen range between 3.7 ‰ to 6 ‰ for herbivores and omnivores (Bocherens and Mariotti, 2002), and about 1 ‰ for carnivores (Bocherens and Drucker, 2003). On the other hand, in bioapatite there is a higher enrichment, with  $\delta^{13}\text{C}$  value enrichment of around 9 ‰ to 14 ‰ between food and consumer (Ambrose and Krigbaum, 2003). All this varies depending on the food regime and between the lab studies and the field work (Koch et al., 1998; Krueger and Sullivan, 1984; Lee-Thorp et al., 1989).

The differences in  $\delta^{13}\text{C}$  values between the collagen and the apatite reflect the difference between their fractionations. This difference is especially interesting in herbivores and omnivores, because, being the collagen a protein, its  $\delta^{13}\text{C}$  value reflects mainly the protein portion of the diet, while the apatite could reflect the complete diet (proteins, fats and carbohydrates) (Ambrose and Norr, 1993; Tieszen and Fagre, 1993). In consequence, when analysing samples in collagen, it has to be taken into consideration the possible exaggeration of the enriched  $^{13}\text{C}$  protein in the diet; therefore, food with enriched  $^{13}\text{C}$  values, like fish, will cover up other sources like vegetables, with less protein content (Harrison and Katzenberg, 2003). In spite of this, isotopic analyses on bone collagen have proved to be more reliable and have fewer disadvantages than the studies on bioapatite, affected by the diagenesis. Additionally, in the case of the studies on bone collagen, there are collagen quality indicators internationally accepted, which contribute to a high reliability of the data.

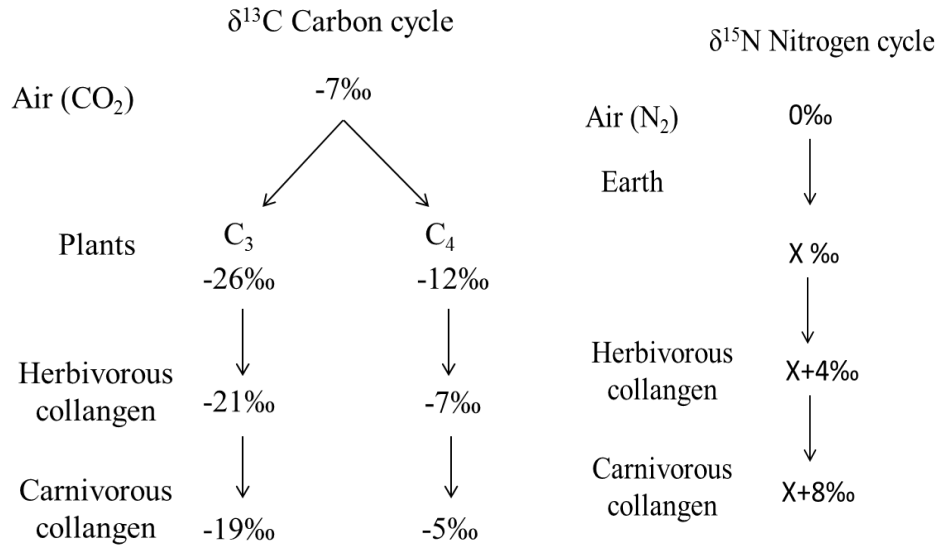


Figure 2.5: Carbon and nitrogen cycles with their values variations

Concerning nitrogen stable isotope ratio analyses, the  $\delta^{15}\text{N}$  values are related to the complexity of the trophic chain in which the analysed specimen is integrated (for natural abundances see Table 2.2). The main reservoir for the different modalities of the nitrogen cycle is the atmospheric nitrogen (Salazar-García, 2011) (mostly in  $\text{N}_2$  form, but also in  $\text{NO}_x$  [nitrogen oxides] and  $\text{NH}_3$  [ammoniac]). On the other hand, both in soil and aquatic environments it appears usually in  $\text{NH}_4^+$  (ammonium),  $\text{NO}_3^-$  (nitrate),  $\text{NO}_2^-$  (nitrite) and amino acids. The  $\delta^{15}\text{N}$  values in soil vary from +2 to +10 ‰, although they can be more extreme; additionally, the values increase when going deeper in the ground (e.g., Létolle, 1980).

Isotope	Fractional abundance
$^{14}\text{N}$	0.99634
$^{15}\text{N}$	0.00366

Table 2.2. Natural abundances of nitrogen stable isotopes (Rosman and Taylor, 1998; Schoeller, 1999).

The nitrogen is incorporated through the bacteria and microorganisms of the ground to the biological systems (Fig. 2.5), which reduces the nitrate to nitrite and the nitrite to ammonium sequentially, allowing the absorption of the ammonium by the plants in this process and affixing it in the amino acids. The isotopic fractionation occurs mainly during these processes of absorption of  $^{15}\text{N}$  enriched substrates, resulting in a positive enrichment of  $^{15}\text{N}$  from the substrate to plants. However, some plants, like legumes, incorporate the atmospheric nitrogen ( $\text{N}_2$ ) by symbiotic systems and produce a light reduction in the proportion of  $^{15}\text{N}$  and, consequently, in  $\delta^{15}\text{N}$  values. Additionally, it has

to be taken into account that the plants show a high variability in their  $\delta^{15}\text{N}$  values, depending on environmental conditions, such as temperature or hydric availability (e.g., Schwarcz et al., 1999), the nitrogen transformation and the use of fertilizers (e.g., Choi et al., 2003; Kohl et al., 1973; Yoneyama, 1990), the accumulation of animal remains (e.g., Schwertl et al., 2005), the salinity (e.g., Britton et al., 2008; Heaton, 1987; Van Groeningen and Van Kessel, 2002), and the contribution of marine nitrogen (e.g., Hicks et al., 2005; Virginia and Delwiche, 1982).

Once the nitrogen has entered into the plants from the ground and air, animals consume it. The  $\delta^{15}\text{N}$  values undergo enrichment in the body tissues of herbivorous compared to the ingested vegetables (DeNiro and Epstein, 1981), occurring the same with each new step in the trophic chain. Because of this, the studies of  $\delta^{15}\text{N}$  are essential for knowing the level of any living organism in the trophic chain (Minagawa and Wada, 1984). It has been demonstrated by experimentation that in each step of the trophic chain, the  $\delta^{15}\text{N}$  values increase ca. +2 and +5 ‰ (usually from +2.6 to +3.4 ‰) between the consumed food and the consumer (DeNiro and Epstein, 1981; Minagawa and Wada, 1984; Schwarcz, 1991). However, other changes have been observed, from +1.7 to +6.9 ‰ (Bocherens and Mariotti, 2002). Thanks to this isotopic fractionation, it is possible to situate the origin of consumed proteins by humans in the trophic chain, when human and animal values are analysed. Consequently, individuals with higher  $\delta^{15}\text{N}$  values will appear higher in the trophic chain, because of the consumption of animal proteins. Although the nitrogen values can vary depending on the different ecosystems, in general the terrestrial herbivorous have  $\delta^{15}\text{N}$  values of +3 to +6 ‰ and carnivorous around +7 and +10 ‰ (Katzenberg, 1989; Schöeninger and DeNiro, 1984). On the other hand, marine and lacustrine ecosystems have a higher number of trophic levels than terrestrial ones (Lidén, 1995; Schöeninger and Moore, 1992), leading this to an overall higher level of  $\delta^{15}\text{N}$  in their organisms, compared to their terrestrial counterparts (Minagawa and Wada, 1984). In general, the molluscs have  $\delta^{15}\text{N}$  values between +7 and +10 ‰ (Fry, 1988), fish between +10 and +15 ‰ (Schöeninger and DeNiro, 1984) and marine mammals between +13 and +20 ‰ (Richards and Hedges, 1999b).

The increment of each trophic step in the trophic chain is called “bioamplification”, and it is variable (Bocherens and Mariotti, 2002), depending on the high or low content of proteins in a diet (Post, 2002), on diets with ups and downs in C:N ratios (Adams and Sterner, 2000; Webb et al., 1998) or on periods of malnutrition or fasting (Mekota et al., 2006). This principle of bioamplification is usually used to understand the trophic relations between different organisms in a certain ecosystem, although the reasons of this pattern are still little understood (Fuller et al., 2004; 2005b; Van der Klift and Ponsard, 2003).

Additionally, the complexity of the nitrogen cycle supposes several exceptions of what has been previously explained. It is the case of some crustaceans with low isotopic proportions (Katzenberg, 2000; Santiago et al., 2005) or the alteration in the  $\delta^{15}\text{N}$  of plants, because of the environmental factors mentioned earlier, taking into account that

any change in the nitrogen values of the plants will affect the rest of the trophic chain. The differences in the condition of each individual can modify the nitrogen ratios too. An experiment carried out by Hobson and Clark (1992) with ravens showed that those fed with plants have higher nitrogen values (as far as 6 ‰) than those fed with fish. The difference values correspond to malnutrition condition and nutritional stress, which caused an increase in the  $\delta^{15}\text{N}$  values, confirmed by another study (Hobson et al., 1993). Unfortunately, until now there are not many studies analysing the effect of unsuitable diets or malnutrition in humans, although we have to underline a research that confirms the alteration of values during nutritional stress (Fuller et al., 2005b).

Related to the effects of nutrition on nitrogen values, other works have proved that some illnesses and bone pathologies can increase the nitrogen values of bone collagen too. For example, in a study carried out by Katzenberg and Lovell (1999) it has been observed an increase of 2 ‰ in a bone with osteomyelitis, a bone infection. In the case of the presence of calcifications or callus they will not have the same values than the rest of the skeletal tissues, because its formation is more recent; because of that, this type of bone elements with alterations or pathologies should not be sampled. Additionally, some death's causes, like those related to nutritional stresses, may alter the results too as mentioned in the case of Hobson et al. (1993) work.

Another aspect that changes the nitrogen values is the better known effect of gestation and breastfeeding (Fig. 2.6). The consumption of breast milk implies that the children appear in a higher trophic level than their mothers, ca.  $\delta^{15}\text{N}$  +2 ‰ or +3 ‰ higher (Balasse and Tresset, 2002; Fogel et al., 1989; Fuller et al., 2005a, 2006; Mays et al., 2002; Richards et al., 2002; Wright and Schwarcz, 1998, 1999). During the weaning process, because of the consumption of other types of food, the nitrogen values decrease (Dupras and Tocheri, 2007). Once the child has been completely weaned, the  $\delta^{15}\text{N}$  values will be equal to those of the mother. Therefore, the values of  $\delta^{15}\text{N}$  are a very useful tool to analyse the weaning process and the duration of the breastfeeding.

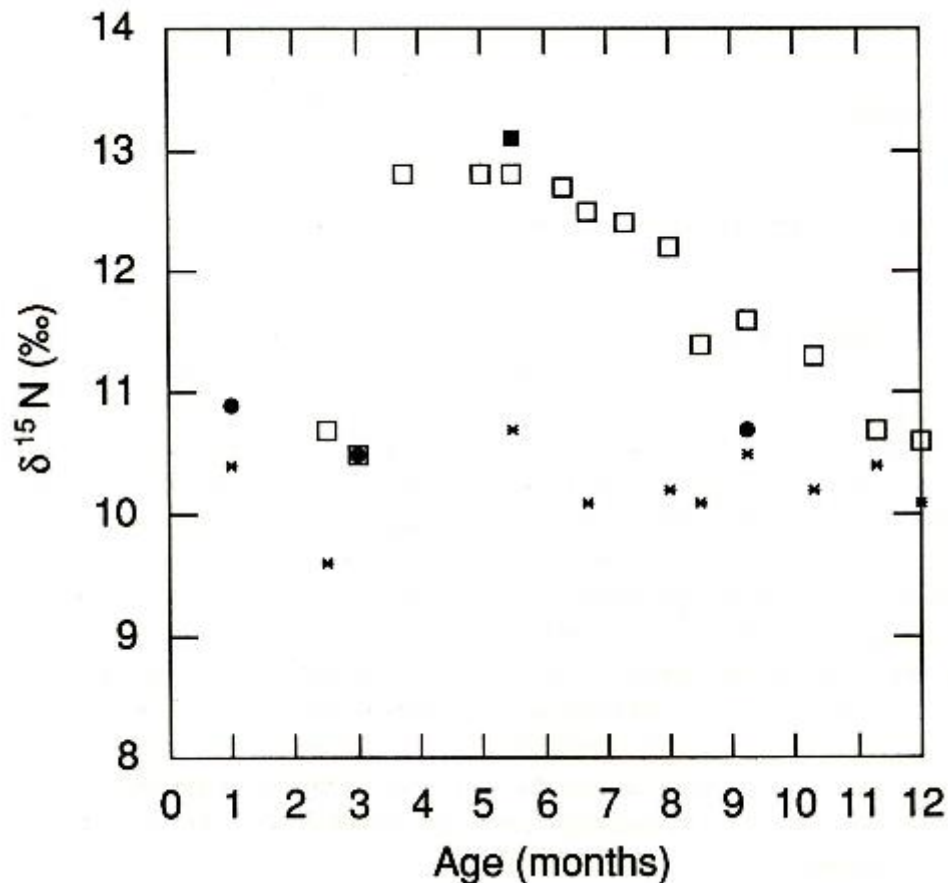


Figure 2.6: Longitudinal study of the variation in  $\delta^{15}\text{N}$  in the fingernail cuttings of a mother (\*) and infant pair (□). The time (months after birth) indicates when fingernails were sampled. The infant's hair (■) and the father's fingernails (●) were also measured. The infant was exclusively breast fed until 5 months of age, when a bovine milk-based formula was introduced (100ml/day). Formula amounts increased with time to 500ml/day at 11 months. Dairy products were introduced at 7 months (100gr/day). Modified from Fogel et al., 1989.

Even more information is obtained by correlating the data of the two isotope systems. The values of both  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  vary depending on different biomass and ecosystems, and on the different steps of the trophic chain; for example, in the case of  $\delta^{13}\text{C}$  high values it is possible to determine if they correspond to  $\text{C}_4$  resources (related to  $\delta^{15}\text{N}$  low values) or marine resources (related to  $\delta^{15}\text{N}$  high values). Additionally, there is another point to take into account, when interpreting  $\delta^{13}\text{C}$  results a value of ca.  $-10$  to  $-11$  ‰ it has to be understood as 100% marine resources consumption, process known as “fish paradox”; although other researchers set the limit closer to ca.  $-15$  to  $-16$  ‰ (Salazar-García, 2011).

Therefore, it is possible to discriminate among species of vegetables and their photosynthetic way, establish the terrestrial, lacustrine-fluvial or marine origin of the food resources and situate an organism in the trophic chain (Bocherens, 1999; DeNiro and Epstein, 1978; Katzenberg, 1992, 2000; Larsen, 1997; Schöeninger and DeNiro, 1984; Schöeninger and Moore, 1992; Schwarcz and Schöeninger, 1991; Smith and

Epstein, 1971). Some studies have established the usual values for different plants and animals, as shown in Figure 2.7, through ecological studies and analyses of controlled animals with known diet (Ambrose, 2000; DeNiro and Epstein, 1978, 1981; Richards and Hedges, 2003; Schöeninger and DeNiro, 1984). Following this model, we can take the values of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  as specific signals of different food sources, knowing the produced changes in the carbon and nitrogen values when the food is consumed. Therefore, with the measure of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of the human bones, we are able to determine the type of consumed foodstuff (Lee-Thorp and Sponheimer, 2006). Relevant information can be obtained thanks to the analyses of the human tissues, not only in connection with dietary habits, but also about the exploitation of the environment and possible differences in the access to biotic resources according to, for example, the age or sex of the individual (e.g., Lillie and Richards, 2000; Lillie et al., 2003). This type of information could also shed light into social structure and be indicative of social inequality (e.g., Lillie, 1997).

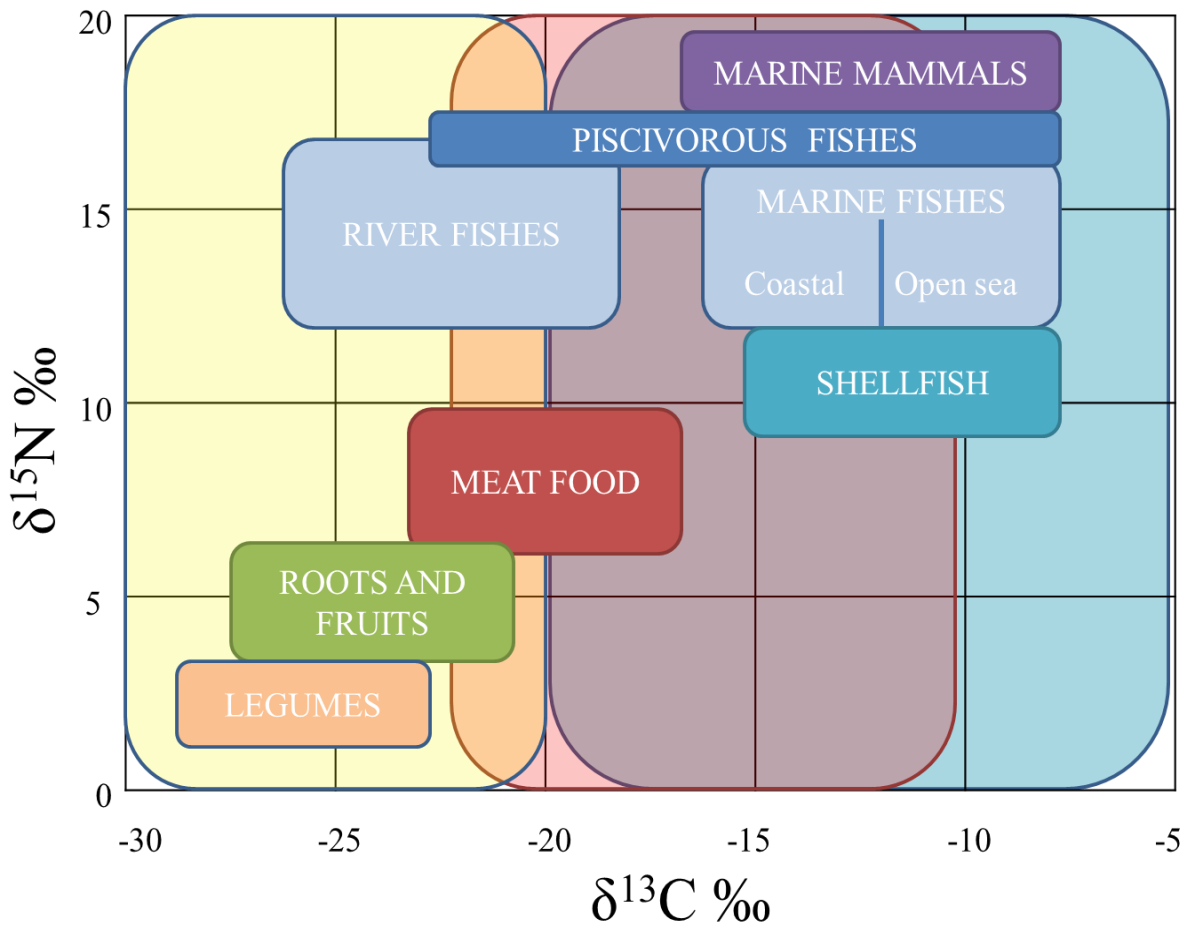


Figure 2.7: Graphic with  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  theoretical values.  Refers to  $\text{C}_3$  plants and resources,  to CAM and  to  $\text{C}_4$ .

At the same time, it is important to know that the interpretation of the results have some limitations or points to take into account: (1) plant proteins are usually masked by animal proteins, because the food with higher density of proteins contribute more in the composition of the collagen than other with less protein content like vegetables (e.g., Bocherens, 2009; Richards et al., 2003a); (2) if the analysed individual is infantile, nitrogen isotope values could be higher than expected, due to the above described breast-feeding or weaning signal (e.g., Fuller et al., 2004); (3) as the isotopic composition of the bone is continually regenerated, it should always be considered that stable isotope results refer only to protein diet in the last years of the individual's life, depending on the collagen turnover for each different type and part of bone (Hedges et al., 2007; Meiklejohn, 2009); (4) it is compulsory to take samples of faunal remains, if possible, of the same site and chronology that the analysed humans, because local conditions could affect the isotopic background; (5) it is recommendable, when possible, to complement the information provided by the analyses of isotopes with other techniques, such as radiocarbon dating, anthropological studies, etc. with the aim to improve our vision about the past societies we are researching.

#### 2.3.1.2. Strontium isotopes: principles

The use of strontium isotope analysis, in order to provide information to characterize past human mobility patterns, is quite recent. The mentioned strontium isotope analyses of archaeological enamel have provided useful results as indicator of movements and migrations, not only of humans, but also of animals (e.g., Britton et al., 2009; Goude et al., 2012). Strontium isotope ratio values ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) depend on geological location, due to variations in their proportions in the different geologies. Each geological zone possesses a particular value of between ca. 0.700 and 0.750, as the radiogenic isotope of strontium ( $^{87}\text{Sr}$ ) is derived from the decomposition of the radioactive rubidium ( $^{87}\text{Rb}$ ), which has a mean life of approximately  $4.88 \times 10^{10}$  years. Throughout this process, a proportional decrease of  $^{87}\text{Rb}$  in relation to the increase of  $^{87}\text{Sr}$  can be observed (Faure, 1986). Then, the abundances of the  $^{87}\text{Sr}$  normalise with the non-radiogenic  $^{86}\text{Sr}$ , allowing the comparison among different samples, and being the ratio  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  an indicator of the relative abundances of the rubidium and the strontium and, therefore, the age of the rock. Because of the mentioned relation between rubidium and strontium, older rocks have higher levels of  $^{87}\text{Sr}$ , as they have experienced the decomposition of  $^{87}\text{Rb}$  for a longer time (Bentley, 2006). In addition, this method has been used in order to check the location of the analysed organism in the trophic chain, taking into account the alimentation (Knudson et al., 2010).

The strontium has four isotopes produced in a natural way (Table 2.3). The strontium isotope compositions used like geological indicators are usually expressed by the ratio  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , without delta notation. The measurements of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  are normalised using analyses of standard NIST SRM987 (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, EEUU). SRM987 is a high purified and homogenised carbonate, with a published  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  value of 0.710240 (Johnson et al., 1990; Terakado et al., 1988).

Isotope	Abundance (%)
$^{84}\text{Sr}$	0.56
$^{86}\text{Sr}$	9.87
$^{87}\text{Sr}$	7.04
$^{88}\text{Sr}$	82.53

Table 2.3. Natural abundances of strontium isotopes (Capo et al., 1998)

Strontium isotopic values are conveyed from weathering rocks, through the trophic chain from the lithosphere and, then, to plants and animals, and ultimately into the enamel of analysed humans. This process occurs without measurably isotopic fractionation or ratio alteration (Bentley and Knipper 2005; Blum et al., 2000), because the occurred fractionation during the biological process is insignificant compared to that from elements with a lower mass. Therefore, the measurement of the ratio  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  of a sample reflects the quantity of the radiogenic  $^{87}\text{Sr}$ , depending on its origin and providing information about the provenance of the sample. The isotopic ratio of the strontium is not modified by the environmental conditions, neither by the biological process of the organisms (Capo et al., 1998), and because of that the fractionation is going to be considered as non-existent for the discussion in this work.

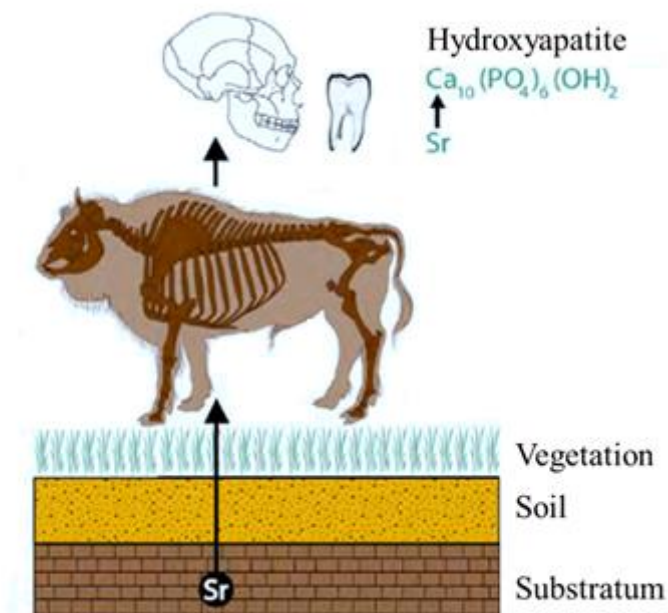


Figure 2.8: Strontium incorporation process into the human enamel (modified from Salazar-García, 2011).



However, this incorporation is not so straightforward, because different factors can affect the bioavailable strontium ratio, meaning that the strontium values of the geology are not always the same as those of the organisms. Therefore, it is important to have into account some aspects, such as the characteristics of the rock and the minerals that form it, because they can vary and, as a consequence, alter the strontium ratios (Bentley, 2006). Additionally, effects such as weathering, hydrological cycles (Graustein and Armstrong, 1983), biopurification (Burton et al., 1999), geological movements in the surface (Steele and Pushkar, 1973), the effect of sea (Green et al., 2004), actual fertilizers (Németh et al., 2006) and diagenesis (Dijkstra and Smits, 2002) will also affect the ultimate bioavailable Sr ratio in a specific location, and should be thus considered when designing the geological sampling strategy and discussing the interpretation (Bentley, 2006; Slovak and Paytan, 2012).

The mentioned biopurification process refers to the positive discrimination of  $\text{Ca}^{2+}$ , contrary to what happens to other cations like  $\text{Sr}^{2+}$ . This process occurs during the incorporation of these mineral nutrients in the body tissues (Salazar-García, 2011). The biopurification can vary the strontium concentrations, both in plants and consumers, but without altering the isotopic ratios (Burton et al., 1999; Elias et al., 1982). We should also keep in mind for interpretations that, regardless of geological characteristics, coastal areas usually present marine-influenced bioavailable strontium values, due to the sea spray effect (Bentley, 2006; Hartman and Richards, 2014). The vegetation will have mainly the isotopic composition of the strontium leaving the ground, with different concentrations from a few particles in the roots until 0.2 % in the wood and the bark (Åberg et al., 1990; Capo et al., 1998; Graustein and Armstrong, 1983). It is possible that atmospheric strontium affects the values of the surface of the ground; additionally, the contribution of the strontium to the biomass, the depth of the roots and the existence of subterranean water can affect the bioavailable strontium concentration and its  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio (Poszwa et al., 2004).

Despite all the mentioned influences, it has been observed that, in most of the environments, the erosion of the local lithology continues contributing the most significant amount of strontium (Bentley, 2006). Besides, both the cohesive effect that alters plants values and which occurs through the trophic chain, remove the local variation (Blum et al., 2000; Burton et al., 1999; Price et al., 2002; Sillen et al., 1998). Consequently, the values of the organisms will be close to the underlying geology and to the existent values of the grounds, but not the same. Exactly because of this difference, it is indispensable in this type of researches to establish the reference strontium values for the analysed area, that is, the bioavailable strontium. Therefore, this bioavailable strontium ratio is a consequence of different factors that can vary depending on, for example, rivers or sea water. In previous studies, different equations have been used in order to establish the contribution of each factor to the bioavailable reservoir (Kennedy et al., 2002). Unfortunately, the high variability of the rocks, the ground formation process, the water sources and any other punctual contribution make these studies almost impossible (Salazar-García, 2011). Because of this problematic it is

compulsory to determine the bioavailable range, for that, there are different options: the most used are the analyses of little rodents (e.g.: Copeland et al., 2008; Price et al., 2002), local vegetable material (e.g.: Hodell et al., 2004), local snails (e.g.: Sarasketa-Gartzia et al., 2017) or the hydric availability (e.g.: Montgomery et al., 2006). Both in the biosphere and in the human tissues the strontium is related to the calcium (Ca), because the strontium is incorporated in the organisms, more usually than other elements (Meiggs, 2007), instead of calcium. This incorporation and fixation of strontium into living organisms, in this case in humans, occurs during the formation of bioapatite, as mentioned, as substitute of calcium. The quantity of strontium in the enamel is usually among 25 and 600 ppm (parts per million), although the concentration could be higher depending on the local environmental concentrations, dietary patterns and the mineralization of the tissues (Iyengar et al., 1978; Steadman et al., 1958).

About the preferred material for strontium isotope analysis, we have to mention that, in the beginning, it was used the bone apatite. For that, they were usually analysed both enamel and bone, in order to check possible differences among them. Using this methodology, it was compulsory to remove the diagenetic strontium (e.g., Sillen et al., 1998). In spite of that, this process has not been efficient enough and, as a consequence, the preferred material used for strontium isotope analysis is still the enamel, being less susceptible of contaminations or alterations compared to bones (Hoppe et al., 2003; Koch et al., 1992; Nelson et al., 1986; Trickett et al., 2003). Focusing on the enamel analysis, it is recommendable not to sample those teeth that are formed during the pregnancy or the breastfeeding, because, in this case, the values will reflect the strontium ratios of the mother. Finally, even if it is not the used methodology in this Thesis, it is possible to analyse different points of the same tooth sequentially, in order to reconstruct the movements of a specific period of time (e.g., Pellegrini et al., 2008).

### **2.3.2. Previous works of carbon, nitrogen and strontium isotopes**

In this chapter we are going to discuss the papers about isotopic analysis on prehistoric chronologies (especially Mesolithic, Neolithic and Chalcolithic-Bronze Age) and from both Atlantic and Mediterranean Europe.

#### **2.3.2.1. Carbon and nitrogen isotopes previous studies**

The first applications of chemical methods used to reconstruct the past diets were the analyses of trace elements in skeletal remains (Toots and Voorhies, 1965; Underwood, 1977). Unfortunately, those studies have been decreasing due to the contaminations and alterations of the substratum that affect the concentrations of elements (Katzenberg, 2000), known as diagenesis (Price et al., 1992). Because of this problematic, the research community focused on other methodologies, such as isotopic analyses, to reconstruct past dietary patterns. Thanks to the obtained information about the composition and metabolism of living organisms (both of plants and animals), it was possible to study for the first time this issue from a new point of view in the 70's. The anthropologist Van der Merwe and the geochemist Vogel started to develop the idea of unifying both disciplines, with the aim of analysing the beginning of corn consumption

in America (Van der Merwe and Vogel, 1978; Vogel and Van der Merwe, 1977). That was the starting point to several research studies, estimating directly for the first time the protein resources consumption of past diets. This application arrived to Europe in the 1980's with a novel study about the dietary Mesolithic-Neolithic transition in Denmark (Tauber, 1981). In this sense, the studies of isotopes developed throughout the world, becoming one of the most usual analyses in archaeological science research. Consequently, our knowledge about dietary and mobility patterns is constantly growing. On the other hand, the exponential increase of this type of studies during last decades has allowed the improvement of the methodology, about, for example contamination, preservation and recuperation of the remains. Thanks to that, a general interest is increasing towards this type of analyses, not only for Prehistory studies, but also for historical chronologies (e.g., Ortega et al., 2013).

Regarding the studies that have been carried out in Europe on prehistoric chronologies until now, they have focused mainly on the transition from the Mesolithic to the Neolithic, because it was one of the most important changes in the continent: the transition from hunter-gatherer to producer societies. The first studies in Europe, as mentioned, were carried out in Denmark (Tauber 1981, 1983, 1986), followed by others like Fischer et al. (2007) or Richards et al. (2003a). Other analysed sites were in the Atlantic façade of France (e.g., Rey et al., 2016; Schulting et al., 2008; Schulting and Richards, 2001), Belgium (Bocherens et al., 2007), Netherlands (e.g., Kootker and Davies, 2016; Smits and Van der Plicht, 2009), Ireland (e.g., Kador et al., 2014) and Great Britain (e.g., Hedges et al., 2008; Richards et al., 2003c; Richards and Mellars, 1998; Richards and Hedges, 1999a; Schulting and Richards, 2001, 2002a, 2002b, 2002c). Thanks to these studies, it can be observed that there was a general change between the two periods in the Atlantic façade. During the Mesolithic the analysed individuals show important marine resources consumption. In some cases, such as in the Scottish island of Oronsay, the individuals show a diet based almost only on marine resources (Richards and Mellars, 1998). However, with the Neolithic this pattern changed, the consumption of marine resources was abandoned in favour of plants and terrestrial animals. The sudden shift observed in dietary patterns could be associated with a quick adoption of agriculture and husbandry practices by hunter-gatherers, or a replacement of hunter-gatherers by Neolithic populations, contradicting the traditional view of slow and gradual adoption (Dennell, 1983).

On the other hand, in the area of Baltic Sea the dietary change between Mesolithic and Neolithic is not observed, taking into consideration the analysed archaeological sites of, for example, Sweden, Finland, Latvia and Ukraine (e.g., Eriksson, 2003, 2006; Lidén, 1995; Lidén et al., 2004; Núñez et al., 2006), where the consumption of marine resources was maintained even during the Neolithic, for example in the Åland Islands. However, differences have been observed when comparing archaeological sites of the coastal and the inland areas, because in inland zones there were no evidences of marine resource feeding once the Neolithic began. In Latvia the most characteristic is the consumption of freshwater sources, both in Mesolithic and Neolithic periods, but not of

marine resources (Eriksson, 2006). In other areas, such as Germany, there is no evidence of consumption of any type of aquatic resources during Early Neolithic (e.g., Fraser et al., 2013; Mörseburg et al., 2015; Nehlich et al., 2009; Oelze et al., 2011). The same occurs in some sites close to great rivers such as the Danube, where during the Mesolithic the consumption of freshwater resources was a main element, but once the Neolithic begins it seems to disappear (Bonsall et al., 1997, 2000). The same situation is suggested by the results of the analysed Neolithic individuals of Slovenia, with a dietary pattern based mainly on terrestrial sources (Ogrinc and Budja, 2005). However, in other areas near to the Danube and Dnieper rivers similar consumption of lacustrine-freshwater sources, both during Mesolithic and Neolithic, has been observed (Borić et al., 2004; Lillie and Jacobs, 2006; Lillie and Richards, 2000; Lillie et al., 2003).

In the European Mediterranean area we can underline the research studies carried out in France (e.g., Goude et al., 2017; Herrscher and Le Bras-Goude, 2008, 2010; Herrscher et al., 2013a, 2013b; Le Bras-Goude and Claustre, 2009; Le Bras-Goude et al., 2006a, 2006b, 2006c, 2009, 2010, 2013; Vigne, 2004), Italy (e.g., Francalacci, 1988; Giorgi et al., 2005; Goude et al., 2011-2013; Le Bras-Goude et al., 2006b; Lelli et al., 2012; Mannino et al. 2011, 2012; Pettit et al., 2003), Slovenia (e.g., Ogrinc, 1999; Ogrinc and Budja, 2005), Croatia (e.g., Cristiani et al., 2018; Lightfoot et al., 2011, Paine et al., 2009), Albania (e.g., Kline, 2015), Greece (e.g., Papathanasiou, 2003; Papathanasiou et al., 2000; Richards and Hedges, 2008), Turkey (e.g., Lösch et al., 2006; Richards et al., 2003b), Cyprus (e.g., Lange-Badré and Le Mort, 1998) and Malta (e.g., Richards et al., 2001). The results show heterogeneity, even in the same group, concerning dietary patterns, with scarcity in the consumption of marine resources. Curiously, not even in Malta appears to be a meaningful use of marine products. Overall, it can be said that the introduction of agriculture and husbandry implied the definitive abandonment of the exploitation of the sea. Additionally, there are some researches pointing out that the change occurred during Neolithic, and not among the Mesolithic and Neolithic phases (Bonsall et al., 2004; Mannino et al., 2011).

Few isotope studies have been carried out in the North of Iberia (Fig. 2.9), and the nearest cases to our study region are represented mainly by the research of P. Arias and R. Schulting (Arias, 2005; Arias and Schulting, 2010). Their studies examined the sites of La Poza l'Egua, Colomba and Los Canes (Asturias), Cotero de la Mina and La Garma A (Cantabria), J3 (Basque Country) and Braña Arintero (Castilla y León). The age of these sites is quite diverse, from the Mesolithic (Poza l'Egua, Colomba, Los Canes, J3 and Braña-Arintero) to the Bronze Age (La Garma A), including the Neolithic site of Cotero de la Mina. The Mesolithic individuals of Colomba, J3 and Poza l'Egua show similar consumption of terrestrial and marine products, while those from Braña-Arintero and Los Canes show a very low or non-present consumption. Finally, in the case of the Neolithic individual from Cotero de la Mina, it shows a dietary pattern based only on terrestrial products, likewise to elsewhere in the European Atlantic façade. The results of the analyses indicated the presence of seafood in the diet of coastal Mesolithic populations, and its abandonment during the Neolithic.

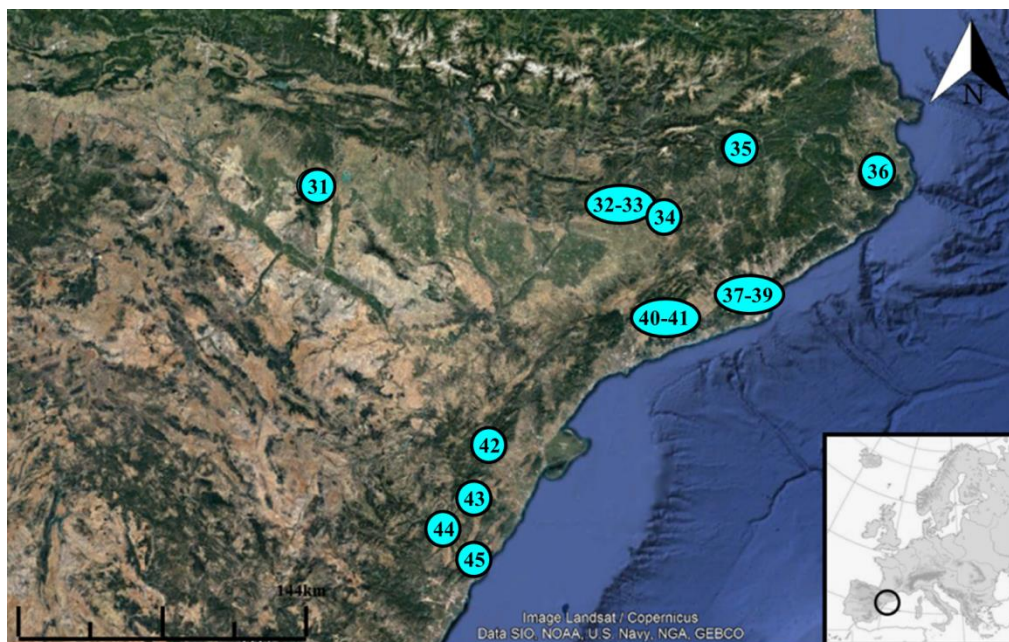
Besides the research carried out in the region by P. Arias and R. Schulting, we find analyses done by T. Fernández-Crespo in Ondarre archaeological site (Aralar, Gipuzkoa), some mortuary monuments and caves of La Rioja Alavesa, and the site of La Atayuela (La Rioja). Ondarre is a cist of the Bronze Age, in which a diet based on domestic animals and C<sub>3</sub> plants was observed (Fernández-Crespo et al., 2016). The sites analysed in La Rioja Alavesa are Las Yurdinas II, Los Husos I, Peña Larga, El Sotillo, Alto de la Huesera, Chabola de la Hechicera and Longar (Fernández-Crespo and Schulting, 2017). The researchers expose the idea of significant differences in  $\delta^{13}\text{C}$  values between individuals that appeared in caves and those placed in monuments, although all of them show a typical diet based on C<sub>3</sub> terrestrial resources. Finally, as in the previous case, the overall results of La Atayuela are consistent with diets focused on C<sub>3</sub> plants and terrestrial animal resources (Fernández-Crespo et al., 2018). On the other hand, López-Quintana et al. (2015) have analysed several individuals from the recent excavations of Santimamiñe, which are going to be studied along the discussion of this thesis. Those results show a clear decrease in the consumption of marine resources from the more antique chronology to the more recent ones, emphasizing the consumption of C<sub>3</sub> terrestrial resources.



**Figure 2.9: Archaeological sites of northern Iberian Peninsula with  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  results. The site is located under each number. (1)Cova do Santo (2) La Braña-Arintero (3) Colomba (4) La Pozal'Egua (5) Los Canes (6) Cotero de la Mina (7) La Garma A (8) Pico Ramos (9) Santimamiñe (10) Karea (11) Marizulo (12) J3 (13) Fuente Hoz (14) Kurtzebide (15) Iruaxpe I (16) Urtao II (17) Ondarre (18) Las Yurdinas II (19) El Sotillo (20) Los Husos (21) Peña Larga (22) Alto de la Huesera (23) Chabola de la Hechicera (24) Longar (25) La Atayuela (26) Abauntz (27) Alto de Reinoso (28) Cueva de San Juan (29) Cova de la Guineu (30) Can Gelats.**

Additionally, in the broader upper half of the Iberian Peninsula other analysis have been carried out: the Neolithic sites of Alto de Reinoso (Alt et al., 2016), Gelats (Gibaja et al., 2017a) and Cueva de Chaves (Villalba-Mouco et al., 2018b), as well as the

Neolithic-Chalcolithic sites of San Juan cave, Cova de la Guineu and Cueva de Abauntz (Villalba-Mouco et al., 2017, 2018) and Cova do Santo (López-Costas et al., 2015) from the Bronze Age (Galiza). In the case of Alto de Reinoso, isotope analysis indicate that it was a homogeneous group, with egalitarian access to food; additionally, cereals and small ruminants were the principal sources of nutrition (Alt et al., 2016). Referring to San Juan cave individuals, the isotopic study shows a diet based on C<sub>3</sub> terrestrial resources, with domestic herbivores being probably the main protein source (Villalba-Mouco et al., 2017). In the case of Cova de la Guineu and Cueva de Abauntz, they show a diet based on C<sub>3</sub> terrestrial resources, and the researchers suggest a preference of herbivore intake as a main protein source, probably domestic (Villalba-Mouco et al., 2018a). For Cueva de Chaves, as well as for the previous cases, the individuals show a diet mainly based on terrestrial C<sub>3</sub> resources, there is only one individual, who was buried with special funerary treatment, which shows slightly different protein intake (Villalba-Mouco et al., 2018b). Finally, the results from Cova do Santo suggest a very homogenous diet, which was almost exclusively based on C<sub>3</sub> plants and terrestrial animal products, as in the previously mentioned sites (López-Costas et al., 2015).

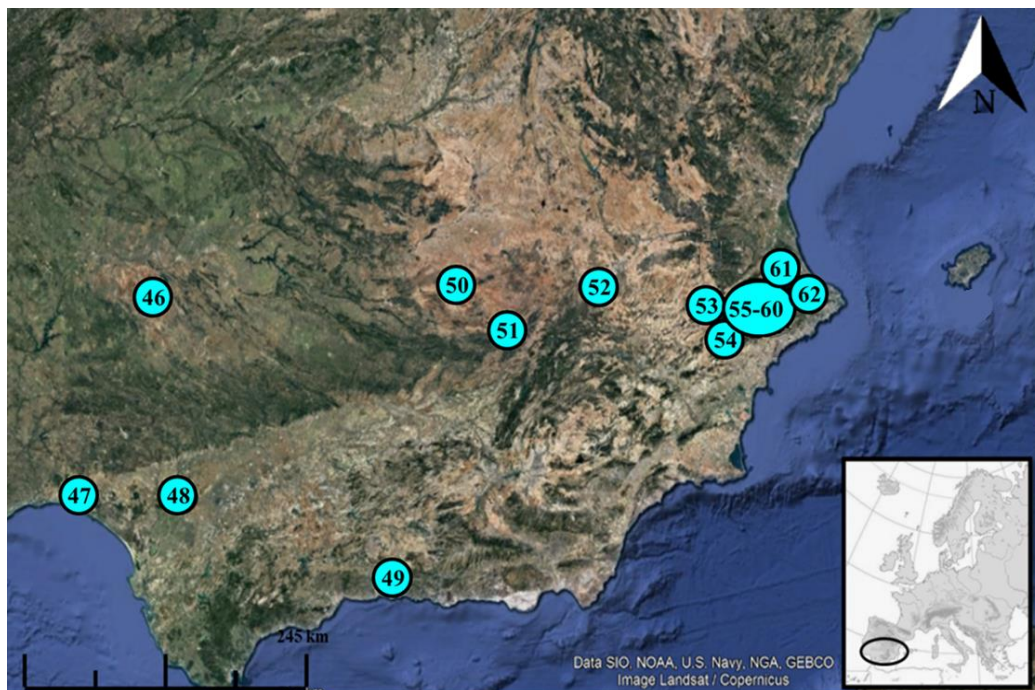


**Figure 2.10: Analysed archaeological sites in the North-East section of Iberian Peninsula.**  
 (31) Cueva de Chaves (32) Ceurò (33) Llord (34) Costa dels Garrics del Caballol (35) Balma Guilanya (36) Puig d'en Roca (37) Bòbila Madurell-Can Gambús (38) Can Roqueta-Can Revella (39) Horts de Can Torras (40) Pujolet de Moja (41) Hort d'en Grimau (42) La Cova del Diablets (43) Costamar (44) Cingle del Mas Nou (45) Tossal del Mortòrum

In the Eastern part (Fig. 2.9 and Fig. 2.10), we have to highlight the research work of García-Guixé in which were analysed several archaeological sites, such as the Upper Palaeolithic site of Balma Guilanya (Garcia-Guixé et al., 2009) or the Mesolithic El Collado (Garcia-Guixé et al., 2006). In the first case, the main input of proteins came

from terrestrial herbivores, without evidence of freshwater or marine resources consumption. In the case of El Collado, the results show a consumption of marine protein, estimated at ca. 25 % from the whole dietary protein. On the other hand, we have to name the work carried out in the Mediterranean Sea in which were analysed the stable isotopes of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of both ancient and recent fish remains (Garcia-Guixé et al., 2010).

In the centre of the Peninsula (Fig. 2.10) we have the analysed sites of Motilla de Azuer, Castillejo de Bonete and El Acequión, all of them with a Chalcolithic-Bronze Age chronology and located in Castilla La Mancha. The cases of Motilla de Azuer and Castillejo de Bonete results show a diet based on terrestrial  $\text{C}_3$  resources (Salazar-García et al., 2013). Additionally, Motilla de Azuer is particularly interesting, because, even if the  $\delta^{13}\text{C}$  values are homogeneous (showing a typical diet based on  $\text{C}_3$  terrestrial resources), the  $\delta^{15}\text{N}$  results show three different groups: (1) low nitrogen values related to a significant consume of vegetal proteins; (2) medium nitrogen values related to a more equilibrated consume among proteins of vegetal and animal source; (3) high nitrogen values related to a diet based mainly on animal proteins and the effect of the breastfeeding (Nájera Colino et al., 2010).



**Figure 2.11:** Analysed archaeological sites in the South-East and South section of Iberian Peninsula. (46) La Pijotilla (47) La Orden-Seminario (48) Valencina-Castilleja (49) Cueva de Nerja (50) Motilla del Azuer (51) Castillejo del Bonete (52) El Acequión (53) Coveta del Frare (54) Casa Corona (55) Peña del Comptador (56) Cova de la Sarsa (57) Cova de la Pastora (58) Santa Maira (59) Tossal de les Basses (60) Avenc dels dos Forats (61) La Vital (62) El Collado

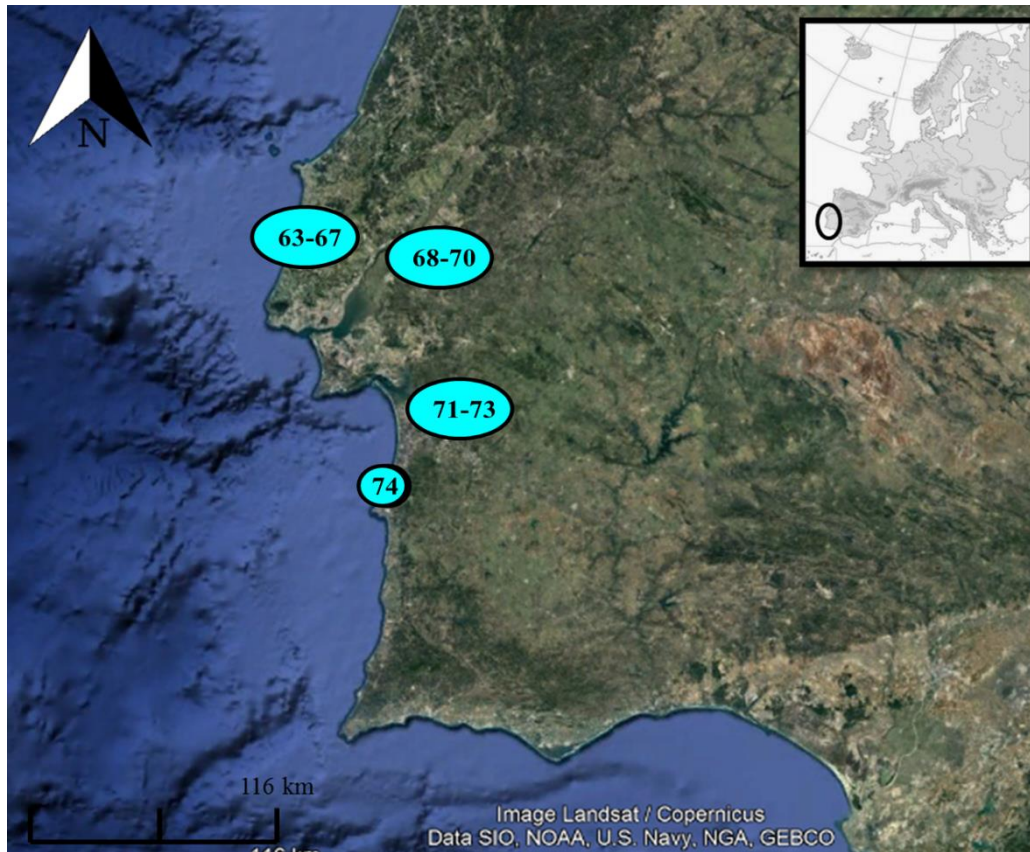
In the case of the Mediterranean area (Fig. 2.10) of the Iberian Peninsula, the main research has been carried out in the context of Salazar-García's Doctoral Thesis and parallel studies: Santa Maira, Cingle del Mas Nou and Penya del Comptador Mesolithic sites (Salazar-García, 2011; Salazar-García et al., 2014a), and Cova de la Sarsa and Costamar Neolithic sites (Salazar-García, 2009, 2010). All the results obtained in these sites indicate that Mesolithic and Neolithic diet in the region was largely based on C<sub>3</sub> terrestrial resources; although referring to the Mesolithic chronologies, there was a measurable evidence of low-level consumption of marine resources at both coastal and inland sites (Salazar-García et al., 2014a). Additionally, other sites like the Mesolithic Casa Corona (Fernández-López de Pablo et al., 2013), the Neolithic of Cova de la Pastora and Tossal de les Basses (McClure et al., 2011; Salazar-García et al., 2016), the Chalcolithic of Avenc del dos Forats and La Vital (McClure et al., 2011; Salazar-García, 2011), the Chalcolithic-Bronze Age site of La Coveta del Frare (García Borja et al., 2013), the Bronze Age Tossal del Mortórum (Salazar-García, 2017) and the diachronic site of La Cova dels Diablets (Salazar-García, 2014) have been analysed, all of them in Comunitat Valenciana and showing mainly the consumption of C<sub>3</sub> terrestrial resources; only the individuals from Costamar and Tossal de les Basses show the possibility of consuming marine products in enough amount as to be detectable through isotope analysis. Additionally, a review has been recently published about the Western Mediterranean  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotope analysis carried out to date (Salazar-García et al., 2018).

In the South part of the Iberian Peninsula (Fig. 2.10) we have to reference the Thesis carried out by Díaz-Zorita Bonilla (2013), whose work analyses the archaeological sites of La Pijotilla, Valencina-Castilleja and La Orden-Seminario. In La Orden-Seminario (Andalucía), composed by Neolithic human remains, the isotope analyses show that the consumption of C<sub>3</sub> terrestrial resources was the base of their diet. Valencina-Castilleja is a Chalcolithic burial site in which the isotope values are consistent with a diet based mainly on terrestrial resources, even if there is no trace of marine protein consumption in their diet, the isotopic evidence presented does not exclude the occasional consumption of freshwater resources (Fontanals-Coll et al., 2016a). Additionally, there is a unique result of La Pijotilla site (Chalcolithic), located in Extremadura with the same dietary pattern as mentioned in the previous cases. Also in Andalucía is located Nerja Cave, in which there is an interesting contrast between the isotopic evidence of marine resources consumption in the earlier Neolithic levels, in contrast to its absence in later Neolithic stages (Salazar-García et al., 2017).

In the rest of Iberian Peninsula (Fig. 2.11), it is especially interesting the researches carried out in some shell middens, such as the ones at the Muge (Lubell et al., 1994; Jackes and Meiklejohn, 2004; Roksandić, 2006) and Sado estuaries (Umbelino, 2006). The results of Portugal do not show a sudden dietary change between the Mesolithic and Neolithic, it seems that the Mesolithic subsistence economy was based on both marine and terrestrial products, as exposed in the review of Guiry et al. (2016). Other researchers have suggested that the heterogeneity in the dietary patterns is related to the



variations of the tides in the Tagus estuary (Jackes and Meiklejohn, 2004; Van der Schrieck et al., 2007). Additionally, we find the work of Lillios et al. (2010) in the Rockshelter of Bolores, characterised by a diet based mainly on C<sub>3</sub> plants and terrestrial protein sources; and Waterman et al. (2015) in South-Western Portugal with similar dietary pattern composed of terrestrial animal proteins and C<sub>3</sub> plants.



**Figure 2.12: Analysed archaeological sites in the South-West section of Iberian Peninsula. (63) Lapa da Rainha (64) Bolores (65) Cova da Moura (66) Zambujal (67) Borracheira (68) Cabeço da Arruda (69) Cabeço da Amoreira (70) Moita do Sebastião (71) Arapouco (72) Poças do Sao Bento (73) Cabeço do Pez (74) Samouqueira**

To sum up, although the adoption of agriculture and husbandry in the transition between Mesolithic and Neolithic was a very complex process, it is possible to determine three main dietary patterns in Europe, taking into account possible local variations: (1) quick and more drastic in the north part of the Atlantic façade; (2) slow and not drastic in the surroundings of the Baltic Sea, and (3) quick but not drastic in the Mediterranean area. Finally, we would like to emphasise that the analyses of carbon and nitrogen isotopes can give information, not only about dietary patterns, but also about cultural behaviours. In this sense, it has been suggested by some researchers the possibility of a cultural reaction, like a taboo, towards the marine products (Richards and Schulting, 2006). Although in some areas the change of dietary patterns between Mesolithic and Neolithic individuals is irrefutable (Hedges, 2004), the analytical results do not fit well with the archaeological remains: (1) the presence of wild deer and bovid remains in Mesolithic

shell middens has been documented, (2) fishing and marine shell gathering evidences appear still during the Neolithic, and (3) the biggest shell middens identified until now are Neolithic (Milner et al., 2004).

#### 2.3.2.2. Strontium isotope previous studies

On the other hand, the analyses of strontium isotopes have increase in the last years, with the aim to reconstruct the movements, migration patterns and territoriality of, not only hominins (Richards et al., 2008), but also animals. This advance has been possible greatly thanks to the intensive research of Bentley (2006) about the role of strontium isotopes in geology and archaeology, and their bioavailability for living organisms. Additionally, the works of Copeland et al. (2008, 2010) have improved the methodology and its applications in Prehistory.

As mentioned previously, and before focusing on studies carried out in humans, strontium isotopes ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) have been used, for example, in order to check the presence of transhumance. In the Iberian Peninsula we have to mention the pilot study of Valenzuela-Lamas et al. (2016), in which were analysed a total of seven sheep molars of Turó de la Font de la Canya, an Iron Gate site of Catalonia. This study was carried out with the aim of investigating the existence of seasonal livestock mobility; the results indicate that, at least the analysed sheep, did not move or move among geologies with the same strontium values. In the rest of Europe the applications of those analyses are more used but, still, scarce. Briefly, we can remark the work of Bentley and Knipper (2005); they analysed cattle teeth at regular intervals along the growth axis of the tooth enamel of the excavated LBK Vaihingen Neolithic site (Germany). The results show that some cows have lived somewhere away from the site, which can be related to some kind of pastoralism. The studies of Britton et al. (e.g., 2009, 2011) are focused on the pilot study of modern *Rangifer taradus granti* mobility patterns and, then, the analyses of the same animal from the Middle Palaeolithic in the archaeological site of Jonzac (France). The results were used to investigate the ranging and migratory behaviours of the reindeer, which had strontium values indicating a seasonal migration pattern. This information allows the researchers to have greater insight into the paleoecology of animals, the environment and the Neanderthal site use and hunting strategies. Finally, it is remarkable the importance of this methodology in South Africa (e.g., Balasse et al., 2002), where Copeland's studies (e.g., Copeland et al., 2016) are mainly concentrated in sites with early evidence of key modern human behaviours. In the site of Agulhas Plain (Middle Stone Age) there were analysed 55 samples of enamel from ungulates; the results indicate that they spent most of their time on the site and clearly exclude a north-south (coastal-interior) movement or migration pattern.

Coming back to strontium analyses in human enamel, even if there are not many studies in the investigated region for prehistoric periods yet, a very interesting research is being carried out by V. Villalba Mouco in her Doctoral Thesis (supervised by P. Utrilla and DC. Salazar-García), focused on the North-East region of the Iberian Peninsula. More concretely, the researcher analysed some archaeological sites from Aragon and Catalunya regions. In her first published study (Villalba-Mouco et al., 2017), were

observed a heterogenic mobility patterns. In the same site (San Juan Cave) 4 individuals from 21 show  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values that fall outside the local bioavailable range, while this mobility pattern seems to have happened at the end of the cave's use as burial site, during the end of the Late Neolithic-Chalcolithic period. Additionally, the bioavailable values existing nowadays for Iberian Peninsula suggest different origins for the mentioned four non-local individuals.

There are another two strontium isotope researches; the first one has been carried out in Alto de Reinoso archaeological site mentioned above. The results obtained show that only a few individuals were likely to have spent their early childhood in a different geological environment, whilst the majority of individuals grew up locally (Alt et al., 2016). The second study has been done close to Madrid, in the sites of El Rebosillo, La Dehesa, El Muladar, Bajo del Cercado, Casa Montero, Los Berrocales, El Congosto, Caserío de Perales, Pista de Motos, Fuente de la Mora, Gózquez, La Ocañuela and Los Chorrillos (Díaz-del-Río et al., 2017). From 82 human samples only four of them were identified as clear outliers, this scarcity of non-local values suggests a less common inter-regional mobility, compared with other sites.

Additionally, we can find bioavailable strontium data for the studied region (check 5.1. *Bioavailable Strontium*) in the works carried out by Prevedorou et al. (2010) and Baceta et al. (2013) for Nafarroa, Rossy et al. (1992) for inland Bizkaia, Gómez Alday et al. (2001) for coastal Bizkaia and Gipuzkoa, Fernández de Ortega (2007) for Araba. In the rest of Iberian Peninsula we can highlight the research of Subías et al. (1998), in the Tena Valley (Spanish Central Pyrenees) or the Doctoral Thesis previously mentioned of Salazar-García (2011) of Eastern Iberia.

In Europe strontium analyses have been done more often, providing us information about Portugal (e.g., Waterman et al., 2014), France (e.g., Haak et al., 2008), Germany (e.g., Bentley et al., 2002, 2004), United Kingdom (e.g., Budd et al., 2000), Ireland (e.g., Snoeck et al., 2016), Italy (e.g., Tafuri et al., 2015), Serbia and Romania (e.g., Borić and Price, 2013), Hungary (e.g., Gibling et al., 2013) and Sweden (e.g., Eriksson et al., 2016; Sjögren et al., 2009; Wilhelmson and Price, 2017). Referring to the *maps* of bioavailable strontium we consider that, even if is not the study region of this work, it is remarkable the works carried out in France (Willmes et al., 2018) and in The Great Britain (Evans et al., 2018), because they have sampled each geology creating a complete data base and map.



## 3. Objetivos y plan de trabajo

Una vez expuesto el marco geográfico, así como los antecedentes, tanto arqueológicos, como isotópicos, en este apartado se procede a desarrollar los objetivos y plan de trabajo de la presente Tesis Doctoral que se indican a continuación.

### 3.1. Objetivos

El objetivo de esta Tesis Doctoral se enmarca en la búsqueda de nuevos datos que nos ayuden a comprender en profundidad algunos de los aspectos que consideramos relevantes de las sociedades prehistóricas. Por un lado, el estudio de los patrones de alimentación, que nos aporta información sobre las costumbres alimentarias, la evolución en la explotación de los diferentes ecosistemas y el acceso diferencial a los recursos. Por otro lado, analizar la movilidad territorial de los grupos humanos a lo largo de la zona objeto estudio de manera diacrónica, con el fin de establecer sus movimientos o procedencia, posibles comportamientos territoriales o áreas de captación de recursos. A continuación, y partiendo de estas ideas generales, desarrollamos en detalle dichos objetivos, así como los secundarios relacionados con ellos.

1. Obtener resultados isotópicos de carbono y nitrógeno, mediante el análisis de colágeno óseo, que nos permitan reconstruir la dieta de los individuos analizados de cronologías que van desde el Mesolítico hasta la Edad de Bronce en ocho yacimientos del País Vasco.
2. Crear una primera base de datos de isótopos estables de restos faunísticos, con el fin de identificar de manera más detallada los patrones de alimentación humanos y sus posibles variaciones en función de los diferentes ecosistemas.
3. Contribuir al conocimiento sobre los patrones de movilidad de la Prehistoria Reciente, analizando isótopos de estroncio de material dental arqueológico provenientes de un total de ocho yacimientos de cronologías que abarcan desde el Mesolítico hasta la Edad de Bronce, así como muestras actuales (plantas y caracoles) de las inmediaciones de los yacimientos.
4. Determinar los valores de estroncio del sustrato geológico local, para lo que se analizaron un total de diez restos de plantas y caracoles actuales de las inmediaciones para cada yacimiento.
5. Determinar los posibles orígenes de los individuos que hayan registrado valores considerados como no-locales. Para ello utilizaremos, tanto los resultados para las diferentes zonas geológicas obtenidos en esta Tesis Doctoral, como los datos ya disponibles de investigaciones previas obtenidos mediante la recopilación bibliográfica.

6. Comparar los resultados obtenidos de los yacimientos con el fin de poder establecer un contraste diacrónico en los patrones de alimentación y movilidad. Compararlos a su vez con los resultados de otras investigaciones y de zonas geográficas circundantes.

### 3.2. Plan de trabajo

En este apartado se detallan los pasos tomados a lo largo de los cuatro años que han supuesto el proceso de realización de la presente Tesis Doctoral.

1. En primer lugar se procedió a la recopilación bibliográfica del estado de la cuestión en Europa y la Península Ibérica haciendo, además, especial hincapié en el conocimiento sobre la metodología isotópica.
2. Una vez conocidos los antecedentes, se procedió a la elección de los yacimientos que formarían el corpus de esta Tesis Doctoral. Para ello, se tuvieron en cuenta diferentes factores, tales como la cronología, la zona geográfica, el acceso a los materiales para su estudio y el interés arqueológico del yacimiento objeto de análisis.
3. Tras la selección de los yacimientos, se acudió a los centros de depósito donde se realizó el muestreo: Arkeologi Museoa en el caso de Bizkaia, Bibat en el caso de Araba y, finalmente, Gordailua en Gipuzkoa.
4. Una vez obtenidas las muestras arqueológicas, se procedió a la toma de muestras actuales (plantas y caracoles), que generarían la base de datos de estroncio biodisponible, para lo que fue necesario realizar trabajo de campo y acercarse a las inmediaciones de los yacimientos.
5. Tomadas todas las muestras, se realizó una estancia de 3 meses en la University of Cape Town (South Africa), donde se recibió instrucción isotópica (tanto de isótopos estables de carbono y nitrógeno, como de estroncio) y se prepararon y analizaron todas las muestras previamente seleccionadas.
6. Obtenidos los datos y de vuelta a la Universidad del País Vasco, el siguiente paso consistió en el procesamiento de los resultados, así como su comparación con otros previamente publicados, completando de este modo la información adquirida mediante esta investigación y así poder proceder a su discusión.
7. Tras el procesamiento de los resultados y su tratamiento estadístico, la mayoría de ellos se han publicado en diversas revistas de impacto, tanto nacional, como internacional. También han sido presentados en varios congresos nacionales e internacionales.

8. El último paso llevado a cabo a lo largo del último año de desarrollo de esta Tesis Doctoral ha consistido en la redacción de la misma. Esta Tesis Doctoral mantiene la estructura tradicional, si bien gran parte del trabajo parte de información modificada o complementada de la ya publicada en diversas revistas.

Gracias a esta Tesis Doctoral poseemos nuevos datos que nos ayudan a comprender algunos de los aspectos sociales de los individuos analizados, principalmente en la variación de la explotación de los recursos de la Prehistoria Reciente y, relacionado con ello, los movimientos territoriales y el carácter alóctono/autóctono de muchos de los individuos analizados. Dicha información resulta especialmente interesante si tenemos en cuenta el aún escaso número de análisis isotópicos realizados en el norte de la Península Ibérica para cronologías prehistóricas, comparado con la de otras zonas geográficas.





## 4. Methodology

### 4.1. Carbon and nitrogen isotopes analyses

This chapter is focused on the methodology used for isotopic analyses of carbon and nitrogen. Sampling, sample physicochemical preparation and mass spectrometry analyses are explained.

#### 4.1.1. Sample selection

Carbon (C) and nitrogen (N) stable isotope analyses are carried out in bone collagen, but before the collagen extraction, we have to decide which bone type will be sampled. Although it is possible to extract collagen from dentine, it has not been the preferred substrate for sampling in the present work, because the dentine does not



Figure 4.1: Example of Iruaxpe I costal remain.

give mean values of the last life years of the individual. Additionally, the collagen contained in the bone fraction has proved to be one of the most stable molecules (Grupe, 2001). Even so, whether analyzing dentine or bone, it is compulsory to remove the possible diagenetic contamination through a chemical pretreatment (Garvie-Lok et al., 2004). Regarding bone, even if each type is useful for the mentioned collagen extraction, ones or others will be taken depending on the type of the information wants to be obtained. The most used ones are usually costal remains (Fig. 4.1), because they do not provide much anthropological information comparing with other bone remains, and, therefore, it is usually easier to achieve the sampling permission on those. It has to be taken into consideration that the sample will be destroyed, not been possible to carry out other studies after isotopic analyses. Other useful options are the long bone diaphysis, because they usually have well preserved bone collagen. When possible, it is recommended to take the samples of the same bone type for all the individuals that will compose a data group, in order to be consistent and comparable, as each type of bone has different remodelling patterns and timing (Campillo and Subirà, 2004).

Additionally, most of the times it is difficult to find complete skeletal remains and, even more with an anatomic connection. In the case of collective or secondary burials, for example, it is often taken the most abundant remain that determines the MNI, or the bone that can be used for various analyses (dental calculus, DNA,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , etc.), such as mandibles. In any case, it will be preferable not to sample relevant or

complete bones, neither bone with palaeopathological interest for possible future researches. Furthermore, in the geographic area this study is focusing on, the bone remains usually appear altered and/or much damaged because of the acidity of the soil. Moreover, the variety of archaeological remains depends on the type of the site. In this sense, it is usual to find faunal remains in habitation sites without human bones and, in contrast, burial sites with few or no faunal remains, even more so in megalithic chambered tombs.

On the other hand, in the archaeological sites in which the bone remains seem to be damaged, it is possible to analyse, firstly, some faunal bones, to check how the collagen preservation at the site is. Once those are analysed, it can be checked if their bone collagen quantity and quality standards are accepted (see 4.1.4. *Quality Standards*), if so, it can be assumed that the human samples will have probably similar conservation, although exceptions are possible. Taking into account the limitations mentioned above, and based on the interest of isotopes analyses, the preferred bone samples for our study, both for humans and faunal remains, are the following, from more to less interesting: (1) rib; (2) mandible; (3) vertebra; (4) identifiable diaphysis fragment of long bones (e.g., tibia, humerus or femur) (5) identifiable diaphysis fragment of non-long bones (e.g., ulna) (6) neurocranium bone; (7) any other bone fragment.

#### 4.1.2. Human and faunal bone samples preparation

All the sample preparation processes carried out after sampling were done at the dedicated facilities of the Department of Archaeology of the University of Cape Town (South Africa). In all the process gloves, mask and lab coat have been used.



Figure 4.2: Bone remain from Iruaxpe I before and after sampling

The first step after selecting the bone is to sample it, cutting a little fragment (Fig. 4.2) by the use of a Dremmel-tool. This process has been carried out from December of 2015 to February of 2016 in the Arkeologi Museoa (Bilbo, in the case of remains from Bizkaia), in Gordailua (Irun, for the remains from Gipuzkoa) and in the Lydia Zapata Laboratory of the University of Basque Country (Gasteiz, for the remains from Araba). After that, it comes the phase of the mentioned three months stay in the University of Cape Town (Cape Town, South Africa) (Fig. 4.3).



Figure 4.3: Carbon and nitrogen samples preparation laboratory in the University of Cape Town (South Africa).

The cleaning process of the samples was done on a surface covered with aluminium paper, cleaned for each sample, using Ethanol and Kimtech Science Precision Clean Wipes (Kimberly-Clark Professional) and wearing gloves, mask and lab coat. Then, the surface of the selected samples was cleaned with a Dremmel-tool fitted with a diamond-polishing head that was cleaned with Ethanol and Clean Wipes, in order to remove possible contaminations, such as marker and varnish usually used to reference the pieces of each archaeological site. Both the Dremmel-tool and the surface in which the sampling was being carried out were cleaned between each sampling. Continuing with the process, it is preferable to remove the spongy part of the bone, because it is likely to content sediment and consolidants, if used, from the cortical one (Chisholm et al., 1983; Semal and Orban, 1995). The fragment obtained after this cleaning process had to be of ca. 300-500 mg. and it was then placed inside test tubes previously labelled with a reference number of the laboratory (Fig. 4.4), in this case, Sample of the University of Cape Town (S-UCT).

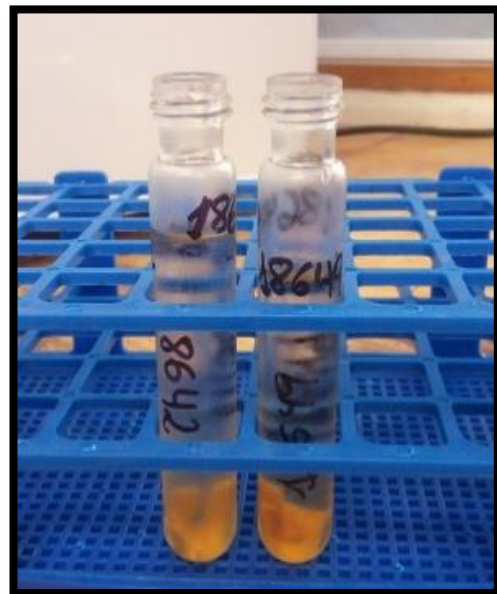
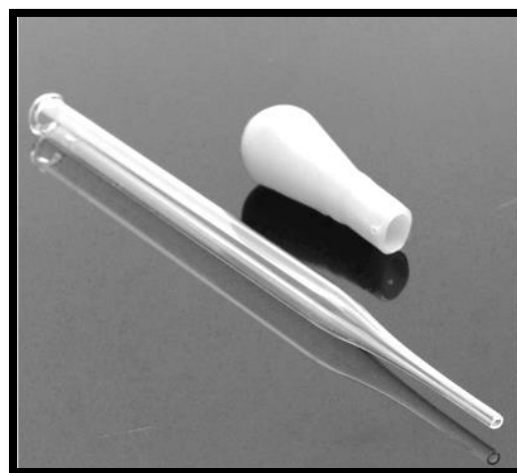


Figure 4.4: Bone samples in HCl during demineralization.

Collagen extraction started then, following the Longin method (Longin, 1971) with modifications proposed by some researchers (Collins and Galley, 1998) and an additional step of ultrafiltration as explained in Brown et al. (1988). It was basically a method that transformed the protein fixed in the mineral matrix of the calcified biogenic tissue into gelatine. In this process, other contaminant agents and humic substances were removed. Although there are varieties in the method of collagen extraction, most of them are based on the same principles and are accepted by scientists and researchers (Sealy et al., 2014). Therefore, this agreed method is based on the removal of mineral fraction using an acid (in this case HCl, Hydrochloric acid), the collagen gelatinization and lyophilisation, resulting on a solid product that can be analysed. Additionally, the substances related to humidity are removed during the ultrafiltration process and therefore it is not necessary to treat the samples with NaOH (Sodium hydroxide), although it is utilised in order to clean the ultrafilters, and it is a method used by some researchers (Ambrose, 1990; DeNiro and Epstein, 1981).

The detailed method we used is the following one. A 0.5 M (Molarity) HCl solution at 4-5°C was added to the test tube and then placed in the fridge, where they stayed in order to achieve the optimal conditions (low pH and temperature) to minimize the damage to the protein matrix (Collins and Galley, 1998). Thanks to the use of this acid the mineral fraction of the bone sample and other soluble substances were removed. The samples were placed in the fridge using a test tube rack and covered with aluminium paper in order to protect their content and permit that the produced CO<sub>2</sub> during demineralization could be released. Then, they were checked every day to assess how the process of demineralization was going. For that, it was necessary to take the samples from the fridge approximately 30 minutes before checking. Once the samples were cooled down, to check them, we had to take one crystal disposable pipet (Fig. 4.5) for each sample. The process was simple, it was just necessary to introduce the crystal pipette in the tube and touch the sample, in order to check the surface, the sponginess of the



**Figure 4.5: Disposable crystal pipettes used to check the demineralization.**

whole sample and if it floated or not. The sample was considered demineralized when the entire surface becomes spongy, without coarse or stiff areas. Usually, the acid of the tube was changed every 4-5 days, with the aim of not *run down* the acidity and, therefore, its effect on the samples. The change of the acid should be done pouring it into a clean beaker or extracting it with a sterilized pipette if the sample was not well conserved. The aim to use a clean beaker with each sample was related to the possibility that a part of the sample could be accidentally thrown from the test tube. If this happened, using one beaker for one sample it would be possible to recover it.

Additionally, it was important to pay special attention the day after changing the acid, because the process usually advanced a lot in that phase.

The time of demineralization varied depending on each sample characteristics (condition, preservation, quantity, etc.). In this case, the needed time varied from 1 day to 3 weeks. Some of the analysed samples were in very bad conditions, and, because of



**Figure 4.6: Human bone samples placed in a Heater Block a 70° during 48 hours uncovered and covered.**

that, they had special treatment.

First of all, when the bone was much damaged, during the demineralization they crumbled and, when the acid had to be changed, we used the previously mentioned pipette to extract the acid after centrifuging the sample (1 minute at 2500 rpm), in order to separate the bone or organic remains from the acid. Another problem was the presence of consolidant in the samples. In contact with acid or water, the

consolidant appeared like semi-transparent remains pasted to the samples. The technique used to remove it was to take the sample out the test tube, put it in a clean beaker and took off all the consolidant remains with a previously sterilized laboratory tweezers. That step was crucial because the consolidant could affect the results.

Once the sample was demineralized, the 0.5 M HCl acid was poured, and then the sample was rinsed three times with double distilled water (MilliQ), to refill one last time and closed it with the cap and placed it with the water in the fridge at 4-5°C. When 24 samples were demineralized, the next step was to take them to cool down outside the fridge (with the aim to avoid their blowing out due to the contrast of the temperature). At that stage we had to check if the pH of the samples was 3, if it was higher we added few drops of HCl 0.5 M with a sterilized pipette until arriving at a pH of 2-3. If the pH was lower, we added MilliQ water until the desired level was achieved. To check the acidity we used pH-Fix test strips (Macherey-Nagel), placing the strip into the tube for a few seconds. Once the pH was confirmed, and after closing the tubes with caps, the 24 samples were placed in a Heater Block (Fig. 4.6) (FMH instruments) at 70°C for 48 hours. It was compulsory to maintain the control of the temperature and time while the samples were in the Heater Block to avoid sample damage; moreover, not to fall the temperature, all samples had to be covered using several pieces of aluminium paper as shown in Figure 4.7. Additionally, it was essential to leave some air in the tubes when placing them in the Heater Block, because if there was none, it could explode as a result of the heat expansion effect on the solution.

During the process of gelatinization in the heater block (Salazar-García, 2011), the triple helix structure of the collagen solubilized, realising the proteins in solution. That would ensure that only denatured and partially hydrolysed collagen was made soluble (Chisholm et al., 1983). In this regard, the maintenance of a low pH level prevented that non-soluble contaminants could dissolve in the acid and, as a consequence, it would maintain in the residues (Chisholm, 1989). The gelatinization of mammalian collagen occurs at 58°C, taking this into account, it was important to know that if the temperatures are too high, the peptic chains tend to be degraded and the proteins denatured (Brown et al., 1988); on contrary, if the temperature is too low the solubility will be incomplete.



**Figure 4.7: Thermo Scientific Heraeus Megafuge 16 used during the ultrafiltration process of the samples.**

After 48 hours of gelatinization, and before filtering, it was necessary to start with the next step, consisting of preparing and cleaning the ultrafilters (Amicon Ultra, Millipore, membrane NMWL of 30 kDa). First, we had to fill the top part of each filter with NaOH 0.5 M and centrifuge the 24 filters during 20 minutes at 2500 rpm (Thermo Scientific Heraeus Megafuge 16 centrifuge) (Fig. 4.7). After the 20 minutes, both the up and the down side of the filter had to be emptied, to add then bidistilled MilliQ water to the upper side and put the filter in the centrifuge again for 20 minutes at 2500 rpm. This clean process with distilled water had to be done three times. Only the upper part of the filter was emptied, except the last time, when both the upper and lower part were emptied.

Returning to the samples in the Heater Block, once the previously mentioned 48 hours finished, the filtering step started. The samples were taken from the Heater Block carefully and placed in test tube racks with two extra regular test tubes assigned to each sample and with the corresponding S-UCT sample code appropriately labelled with a permanent marker in each. These regular test tubes were used to filter the gelatinized solution using 9 ml Eeze-filter Separators (Elkay Laboratory Products) with a net of 5µm (Fig. 4.8). This filtering aimed to remove the possible non-soluble remains.



**Figure 4.8: Eeze-filters and Amicon Ultra ultrafilter (30kDa).**

First of all, the gelatinized sample of the test tube with screw tops was poured into a regular test tube. In this step, when possible, the solid remains were left behind to avoid blocking the Eeze-filter; then in this regular tube, we had to introduce carefully the disposable Eeze-filter.

The process consisted of pushing the filter slowly, with the aim of not passing the solid material  $>5\mu\text{m}$  through the filter and being therefore able to discard it. We had to take into consideration that the capacity of filters was less than that of the tubes; therefore, it was not possible to filter the whole sample at one time, being necessary to do it in two phases. The solutions that passed the filter were placed in a new previously labelled tube. Logically, one Eeze-filter was used for each sample to avoid cross-contamination. Once the whole solution was filtered, the solid remains that had not passed through the filter were discarded. Next step was ultrafiltration. The labelled ultrafilters were placed in a tube rack associated to each tube with the solution previously obtained from Eeze-filtration, as shown in Figure 4.9.



Figure 4.9: Sample solutions for  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analysis after Eeze-filtering and before ultrafiltration.

The step of ultrafiltration is used in order to obtain well preserved collagen and to avoid the degradation of its primary structure, which can be related to the preferential loss of some amino acids. Consequently, the isotopic composition of mass collagen could be altered (Grupe, 2001). The ultrafiltration allowed focusing on the bigger and better conserved polypeptides, while little peptides or soluble humic substances with low molecular weight were removed (Brown et al., 1988). Although the difference of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  between ultrafiltration and non-ultrafiltration has been demonstrated not be so

significant, it has been demonstrated that thanks to this step the C:N ratios improve (Bronk-Ramsey et al., 2004); in addition, it is still recommended for older samples (e.g., Sealy et al., 2014). This step was completed in about 5 hours, being, therefore, the longest continuous labor phase carried out in collagen extraction.

After cleaning the ultrafilters, a part of the solution of each regular tube was rinsed into the upper part of the ultrafilters. After that, the ultrafilters were placed in the centrifuge at 2500 rpm (Thermo Scientific Heraeus Megafuge 16 centrifuge). The time varied depending on the quality of the collagen, usually about 7-9 minutes, but if it was thought that the samples had little collagen we would let them less time (even 4 minutes). It was essential to set an adequate time, because the aim was to reduce the liquid that did not pass through the filter between the line of 500 $\mu$ L and the upper part of the filter. In any case, the sample should not go below the mentioned minimum of the ultrafilters, taking into account the speed of the samples, with centrifuge phases of between 1 and 10 minutes. This process of rinsing the solution in the upper part of the ultrafilter was repeated until the solution in the regular tubes was finished. The solution that remained in the lower side of the ultrafilter was rinsed in another tube. This solution corresponded to the fraction <30 kDa and was kept in the fridge in order to a better preservation if needed. Then, the solution with the >30 kDa collagen molecules was extracted into new test tubes trying not to take any large residues that had been attached at the bottom of the filter. Therefore, this liquid was placed in new test tubes with the number of each sample labelled. Additionally, bidistilled water was added in the upper part of the ultrafilter until the previously mentioned 500  $\mu$ L line, and this solution was extracted and added into the test tube too.

Once the ultrafiltration process had finished, these tubes with the >30 kDa collagen portion were individually covered with parafilm in a rack and placed in a freezer at ca. -20°C overnight. It was preferred to place the rack slightly inclined in the freezer, in order for the samples to freeze along the tube and facilitate their removal. When the solution was completely frozen, the tubes were placed in a beaker to facilitate their quick transport to the lyophiliser, in order to avoid possible defrosting.



**Figure 4.10: Lyophilizer (ScanVac Freeze Dryers CoolSafe).**



**Figure 4.11: Extracted bone collagen during lyophilisation process.**



After making little holes in the parafilm of each sample to allow the extraction of gas, they stayed inside the lyophiliser (ScanVac Freeze Dryers CoolSafe) for 48 hours at – 55°C (Fig. 4.10). The aim of the lyophilisation process was to remove all the water, transforming the ice into a gas, which was extracted. When the 48 hours passed, the extracted dry collagen was retrieved, showing a white-yellow colour as shown in Figure 4.11.

Once the collagen was obtained, we had to place it into sterilized eppendorfs, as soon as possible, which had to be previously labelled with the number of the sample. In this process, it was necessary to weigh first of all each eppendorf in a precision balance (GRFR) and tare it. This process was done in order to calculate the percentage of collagen extracted from each bone sample. Then, using sterilized little palettes and clamps, collagen was passed to the mentioned weighed eppendorfs with the corresponding sample number. The tools and the surface of work had to be cleaned with Ethanol and Clean Wipes after each sample in order to avoid cross-contamination. Ethanol was prepared because it evaporated quickly and therefore could not affect the collagen, while MilliQ water could affect the dry storage.

The eppendorfs were then carried to a clean area (Fig. 4.12) in which ca. 0.5 mg was weighed into tin capsules, using an electronic Sartorius MSE6.6S-000-DF Micro Balance, wearing disposable gloves, laboratory coat and face mask. The surface and the tools used during this process were cleaned, as in previous steps, after each use to avoid possible contaminations.



**Figure 4.12:** Microbalance used in the weight process of collagen into tin capsules.

### 4.1.3. Analyses

All samples were analysed in duplicate, with a standard deviation ( $1\sigma$ )  $<0.1\%$ . Repeated analysis of internal and international standards determined an analytical error better than  $0.1\%$  ( $1\sigma$ ) for  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ . A Delta plus XP continuous-flow isotope ratio mass spectrometer (Thermo Fisher Scientific, USA) was used after samples being combusted in a Flash EA 1112 elemental analyser that was interfaced with it (Thermo-Finnigan, USA) (Fig. 4.13).

The mass spectrometer consists in different parts (Fig. 4.14): the entry of the samples, the ionization cavity, accelerator system, mass analyser, and ions detector (Boutton, 1991; Faure and Mensing, 2005). The samples can be analysed in different ways taking into account the ion type sources regardless of their condition, although in our case it is in solid. In this case, they are volatilized during the analysis when contact with an incandescent filament with high temperature. Consequently, the atoms ionized in the resultant gas, due to the bombardment that they suffer from the electrons source. These ions are accelerated in the way out of the source thanks to a high voltage field and focalized in an ion beam, which direction is perpendicular to the pass of the ions beam in movement (Hoffmann and Stroobant, 2007).



Figure 4.13: Delta plus XP continuous-flow isotope ratio mass spectrometer (Thermo Fisher Scientific, USA), interfaced with a Flash EA 1112 elemental analyser (Thermo-Finnigan, USA).

In their way through the magnetic field, the ions alter their course with a different curvature, depending on their relation mass/charge ( $m/z$ ). Subsequently, the lighter isotopes divert more than the heavier ones. Then, the ion beams once separated pass through the analyser and arrive with a positive charge to a multiple collector in this case, in which the ions have impacted. These impacts are registered as differentiated

electric current, depending on the arriving point of the ions and their mass, which are immediately converted in digital signals that can be read. These signals consist of pikes and valley sequences, forming the mass spectrometer of the analysed element (Faure and Mensing, 2005). Due to possible contaminations of the principle ions by the minor ones, regular checks have to be done, and, if necessary, adjust the results (Fry, 2006).

Thanks to these analyses, we are able to determine the proportion of stable isotopes in a sample concerning the known proportion of stable isotopes in a specific material. The obtained data is compared with the standard values, as mentioned before (2.3.1. *Isotopic principles*) using the delta notation ( $\delta$ ) and expressed in parts per thousand (‰).

The delta values are related to the measure difference in relation to an international standard. In the case of stable nitrogen isotope ratios, they were expressed relative to the AIR scale (atmospheric N<sub>2</sub>), with a constant natural abundance of 0.3663‰. On the contrary, the carbon isotope ratios were expressed relative to the VPDB scale (Vienna PeeDee Belemnite), with a  $\delta^{13}\text{C}$  content of 0.011237‰ (Létolle, 1980; Sweeney et al., 1976).

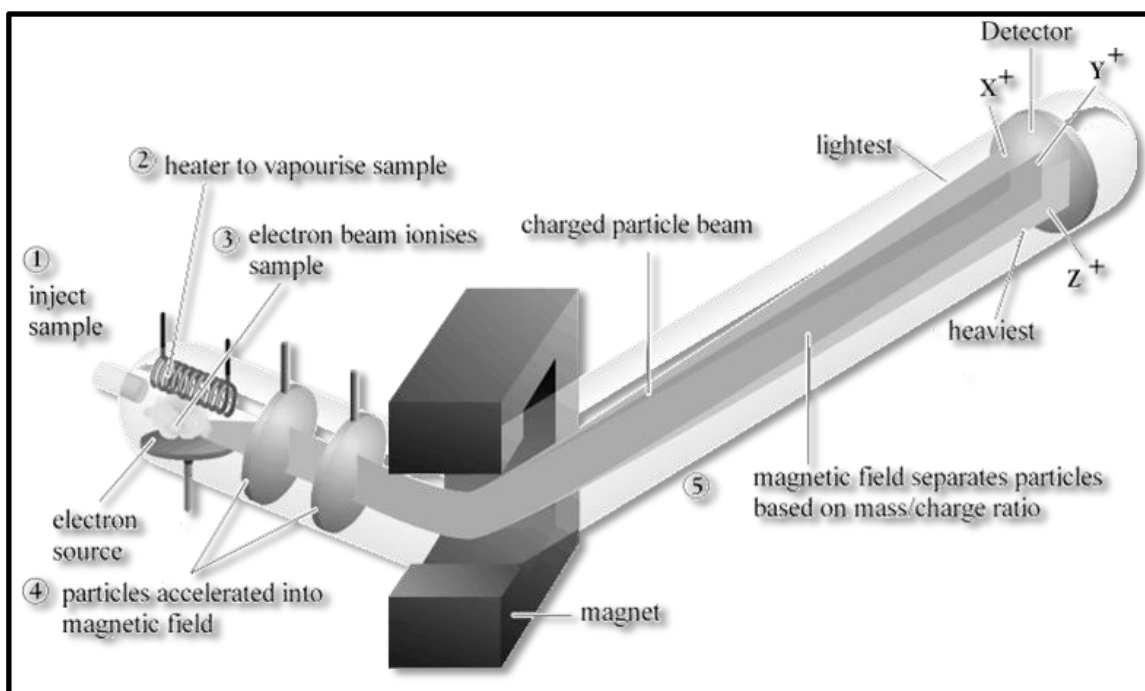


Figure 4.14: Mass Spectrometer parts for the stable isotope analyses (modified from Ian Hunt-Department of Chemistry- University of Calgary web page).

#### 4.1.4. Quality standards

There are several indicators to assure that the material is effectively collagen and to check its quality: the collagen yield, the percentage of molecular weights of carbon (%C) and nitrogen (%N) and the ratio C:N elemental ratio (Van Klinken, 1999), all of them shown with the results (see Appendix 1).

The collagen yield (%) is expressed as weight percentage or as a weight ratio (mg/g). Fresh bone contains ca. 22 %, decreasing through the time. This decrease process depends mainly on the temperature and humidity, which, in the case of Iberian Peninsula, it is moderate. Because of that natural decrease, it is considered as acceptable a collagen yield of about 0.5-1 % (Van Klinken, 1999), considering that lower values are related to the samples integrity destruction; additionally, it is recommendable to check other indicators when the value is below 2 % (Ambrose, 1990).

A proper percentage of carbon molecular weight (% C) is settled around 30 % (35 % in fresh collagen), while higher values are related to additional organic carbon and lower values to inorganic substances. In the case of nitrogen, the value of intact fresh collagen range between 11 and 16 % and it is considered as a suitable archaeological value >10 %. However, it has been demonstrated that, in some cases of degraded collagen, it is possible to have acceptable >13 % of carbon and >5 % of nitrogen, if their proportion is correct and the rest of the quality standards too (Richards et al., 2000).

Finally, the mentioned proportion between the two isotope results is obtained through the elemental ratio C:N, which represents the integrity of the sample, normally between 2.9 and 3.6 (DeNiro, 1985). Once again as shown in previous quality parameters, there are different opinions about the range that has to be taken into account. Some laboratories maintain that the mentioned range is too wide, and use another one among 3.1 and 3.5 (Ambrose, 1993; Van Klinken, 1999). Others extend it even more, using values between 2.8 and 4 (Harbeck and Grupe, 2009). In this point we have to mention the existence of another C:N ratio, calculated by weight that usually vary the elemental ratio; even so this system will not be used in the present Doctoral Thesis.

Focusing on this work, they will be taken as correct parameters collagen percentages above 0.5%, only in the cases that the rest of the parameters were correct, because there is less collagen quantity after ultrafiltration (Harbeck and Grupe, 2009), meaning, nitrogen values >10 %, carbon values >30 % and C:N ratio between 2.9 and 3.6.

## 4.2. Strontium isotope analyses

Even if not used in the present work, and previous to the explanation of the methodology, we have to remark the presence of another technique to analyse the strontium isotopes: the utilisation of laser instead of solution; it has been used, for example, in Greece (Richards et al., 2008). Referring to our work, the treatment of the samples for strontium isotope analyses vary depending on its type. In this sense we have to make a distinction among modern and archaeological samples, as well as among the different sampling material (snails, plants, teeth).

### 4.2.1. Sample selection and preparation

#### Modern samples

With the aim to determine the bioavailable strontium of the immediate area around each archaeological site modern plants and snails were sampled. Contrary to the sampling of the archaeological remains (explained below), the sampling of modern snails and plants requires more time (the details about selection of the samples and different geological zones will be explained in the section 5.1. *Bioavailable strontium*).

The preparation of the samples for snails and plants was not the same. First of all, each sample had to be assigned with the numeration of the laboratory, in this case, S-UCT. For plants, both leaves and branches were used in order to reach the required minimum weight. Once the sample was taken, the first step was to cut it in little pieces that were placed in ceramic crucibles (Fig. 4.15). The scissors, gloves and working surface had to be cleaned with Ethanol after each sampling, in order to avoid possible contaminations.

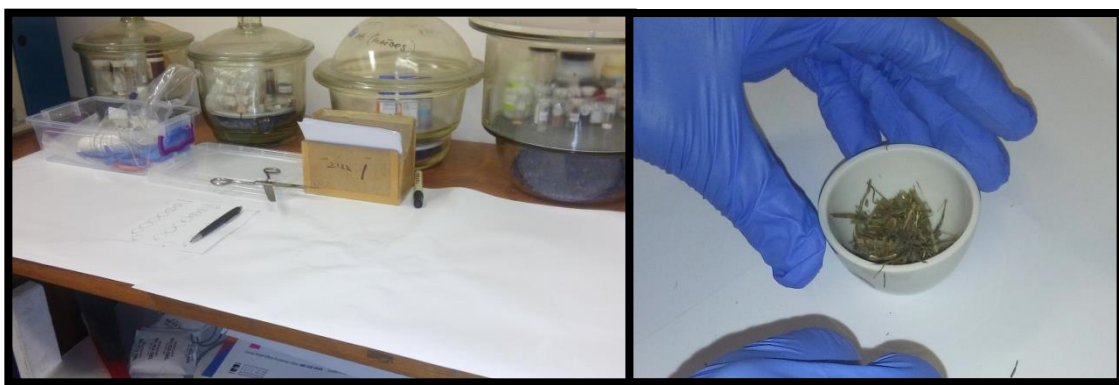


Figure 4.15: Plants preparation space before strontium isotopes analyses.  
Department of Geology in the University of Cape Town.

On the other hand, the number of each sample (S-UCT) had to be written in the ceramic crucibles, which were placed on an oven. Introducing the samples in the correct order is compulsory, because in the oven the written S-UCT numbers could be deleted due to the heat. Therefore, noting the location of each sample, we will be able to write the sample number after the oven time in each ceramic bowl again. As mentioned before, 20 samples were introduced at the same time in the oven (Amalgams, Eurotherm) at 300°C, rising to 400°C after an hour, to 500°C after another hour, and finally arriving up to 650°C overnight (ca. 12 hours). The day after, the ceramic crucibles had to be taken out from the oven, the number of the samples had to be rewritten, and they were placed into a desiccator (Fig. 4.16). Then on a clean surface, and with a little palette, which was cleaned with Ethanol after each use, the ashes were mashed. The obtained powder was placed in hermetic crystal tubes previously labelled with the corresponding order number and the S-UCT number. These tubes were kept in a labelled transparent bag until proceeding to the next step.

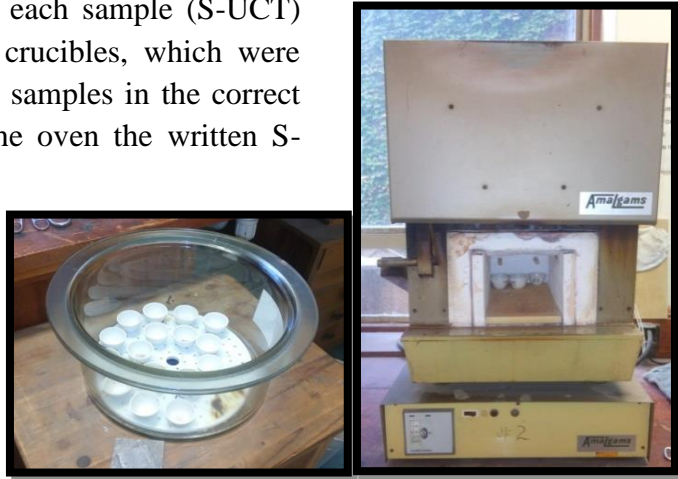


Figure 4.16: Desiccator and oven, used for the ashed process of the plants.

In the case of snails (Fig. 4.17), the process was quite different. First of all, possible organic remains had to be removed; for that, the snail shells were mashed, and all the mentioned organic remains were taken off, as well as other materials (soil, rest of grass, etc.). Additionally, the shell fragments of each snail were put in a previously sterilized beaker with MilliQ water to ultrasonicate it for 10 minutes (Fisherbrand FB15046). Then the water of each beaker was



Figure 4.17: Analysed snail samples from Pico Ramos.

taking off using a disposable crystal pipette and, on the other hand, the snail fragments were taken using sterilized clamps. The cleaned remains of each shell had to be put in little hermetic bags in which we had to write previously the corresponding number of the sample. The samples were then ready to their transport to the clean lab together with the plant samples.

### **Archaeological samples**

All the archaeological remains of human enamel were sampled in the Laboratory Lydia Zapata of the University of Basque Country (Vitoria-Gasteiz) using a precision balance (AFA 120LC Analytical Balance). It has to be taken into consideration that sometimes the human tooth show poor state of preservation, not allowing the proper identification of the molars. Additionally, in some cases, we have found the dental corona damaged by post depositional agents. Because of that, the sampling process was carried with all the safeties as possible, using a Dremmel coupled with a diamond drill. Both the work surface and the Dremmel drill were cleaned using Clean Wipes among the samplings in order to avoid possible contaminations; additionally, during the mentioned sampling process in a lab fume hood, disposable gloves, face mask and laboratory coat were used. Approximately 20-30 mg per sample were taken and placed on sterilized eppendorfs previously identified with the original reference of the archaeological site for each sample.

These eppendorfs were then carried to the University of Cape Town (Cape Town, South Africa) in February of 2016, where they were cleaned and analysed. For that purpose, it was firstly necessary to remove all the possible contaminant agents from the enamel, such as dentine or sediment remains, using again a Dremmel-tool coupled with diamond drills. In this process, it was compulsory to wear safety glasses, gloves, and laboratory coat. Also, the cleaning process had to be done in a lab fume hood, which work surface was previously covered by aluminum foil. This last aspect was especially useful when working with such little samples, which can be easily lost on the working space. The mentioned diamond drills were used only to process human enamel, and had to be cleaned with an ultrasonic bath in MilliQ water for 10 minutes after each sampling. Once the enamel samples were cleaned, the next step was to put them in a sterilized beaker, which had to be identified with the sample number (S-UCT), and then put them in a ultrasonic bath with MilliQ water for 20 minutes. Finally, the samples were taken with sterilized little clamps and placed in new previously identified eppendorfs. As for plants and snails, these eppendorfs were carried to the clean lab to be weighed. In this case, ca. 20 mg of each tooth enamel sample was taken and put into 7 ml Teflon beakers.

### Clean lab

The digestion process was done in the Department of Geological Sciences at the University of Cape Town (Cape Town, South Africa). This lab was always locked with a code and, after entering through the first door, there was a little hall and corridor. In this hall, it was compulsory to let all the possible contaminant objects, including footwear. To go inside, we have to put specific shoes, safety glasses,

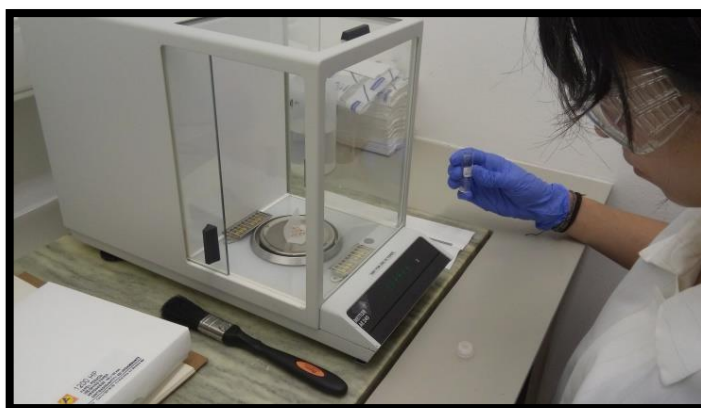


Figure 4.18: Weigh room in the clean lab of the Department of Geology (University of Cape Town).

gloves and coats, which were not allowed to be brought from outside the lab or carried out from it. This step was especially important to avoid the presence of possible contamination agents inside the lab. Then, we had to pass through a corridor and cross a zone in which possible external agents of the shoes were removed. After that, there is another door, from this point onwards all the ventilation system is being controlled too. The laboratory itself is composed by a serial of lab fume hoods with specific non-contaminant products and containers, several hot plates and a cleaning area for the used containers and beakers. Additionally, there is a special room for weighing the samples, our first step in the lab, in which we will use a precision balance (Mettler AE 240) (Fig. 4.18).

Once the modern samples had been prepared (ashed and cleaned for plants and snails respectively) we had to weigh them. Each sample number had to be identified in the 7 ml Teflon beakers that are going to be used. Then the samples were weighed in the mentioned special room and put into the Teflon beakers to their further digestion process. In the case of plants, no more than 50 mg of ashed plant material per sample was digested in 2 ml of 4:1 mixture of 48% HF (Hydrofluoric acid): 65% HNO<sub>3</sub> (Nitric acid) in a closed Teflon beaker placed overnight on a hotplate set at 140°C. Following, there were two stages of dry down and re-dissolving in 1 ml 65% HNO<sub>3</sub>. Then, 2 ml 2 M HNO<sub>3</sub> was added and allowed to settle overnight. Finally, 1.5 ml of the subsequent liquid was pipetted out and centrifuged at 4000 rpm for 20 minutes, and the resultant clear supernate was ready for strontium separation chemistry by columns. In the case of snails and enamel samples were dissolved in 2 ml 65% HNO<sub>3</sub> in a closed Teflon beaker, and placed on a hotplate at 140 °C for an hour. It was dried down and redissolved in 1.5 ml 2 M HNO<sub>3</sub> for strontium separation chemistry.



#### 4.2.2. Digestion

Strontium separation chemistry for all samples was done following a modified version method of Pin et al. (1994) described by Deniel and Pin (2001), which is explained below. The separated strontium fraction for each sample was dried down, dissolved in 2 ml 0.2% HNO<sub>3</sub> and diluted to 200 ppb Sr concentrations for isotope analysis by columns. In all the batches Blank and Nm95 (for snails and enamel) and ALR33G (for plants) standards were analysed, in order to prove the quality of analyses. Every time during this process, it was followed and schematic protocol sheet, which is shown below (Fig. 4.19):

Phase of the process	Chemical product to add	Quantity of the product	
1. Condition <i>Place a waste beaker beneath each column</i>	2x1ml 2M HNO <sub>3</sub>	1	
		1	
2. Load	1.45ml of sample	0.75	0.7
3. Wash	6x0.5ml 2M HNO <sub>3</sub>	0.5	0.5
		0.5	0.5
		0.5	0.5
<i>Place a clean, labelled, 7ml beaker beneath each column for Sr collection</i>			
4. Collect Sr	6x0.5ml MQ water	0.5	0.5
		0.5	0.5
		0.5	0.5

*Columns cleaning process*

5 columns of 6.2M HCl	1	2	3	4	5
1 column of MQ H <sub>2</sub> O	1				
1 ml of 7M HNO <sub>3</sub>	0.1	0.1	0.8		
3 columns of MQ H <sub>2</sub> O	0.1	0.1	0.8	1	1

Figure 4.19: Loading samples for strontium isotopes in the clean lab.

As shown in the outline, the first step consisted of the conditioning of the columns, for which we had to place a waste beaker beneath each column and pour 1 ml 2 M HNO<sub>3</sub> two times per column using disposable pipettes. After the conditioning it was time to load the sample, for which one disposable pipette per sample was taken and loaded, putting in the columns 1.45 ml of each sample and trying not to take the *solid* remains that could appear in the bottom of the eppendorf. The 1.45 ml was poured into the column in two times, a first one of 0.75 ml and a second one of 0.7 ml. The next step consisted of the washing, using 3 ml of 2 M HNO<sub>3</sub>, poured in 6 times of 0.5 ml each one. Once the washing had been done, the waste beakers were emptied into a bigger waste beaker and, then, clean labelled 7 ml beaker were placed beneath each column for Sr collection (Fig. 4.20).



Figure 4.20: Column digestion zone in the clean lab.

### 4.2.3. Analyses

As mentioned, the separated strontium fraction for each sample was dried down, dissolved in 2 ml 0.2% HNO<sub>3</sub> and diluted to 200 ppb Sr concentrations for isotope analysis using a Nu Instruments NuPlasma HR MC-ICP-MS (Fig. 4.21). Magnetic sector field inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) combines an argon (Ar) ICP source with a double focusing analyser to perform isotope ratio measurement. Samples, in solution form, reach the plasma as aerosol after passing through a nebulizer and a spray chamber.



Figure 4.21: Loading samples and placing them in the hot plate at 140°C before the cooling.

At the high temperature attained in the plasma source most elements, including those with higher ionization potentials, can be almost completely atomized and ionized. A portion of those generated ions are accelerated and extracted through a succession of cones and lenses to the mass spectrometer. Additionally, it is possible to reduce or remove the interferences caused by the mass overlap, thanks to the higher resolution of

the Magnetic sector field ICP-MS. The double focusing geometry, which includes a magnetic and an electrostatic sector, makes possible to eliminate the energy spread and to separate the ion beams, depending on the mass to charge ratios of them (cameca.com products; Nu Instruments). The model used for the analyses (Plasma 3) is a third generation Multi Collector ICP Mass Spectrometer (MC-ICP-MS) (Fig. 4.22). It retains the variable dispersion zoom lens enabling the simultaneous measurement of the different elements isotopes.

Analyses were referenced to bracketing analyses of NIST (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA) SRM987, using an  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  reference value of 0.710255. All strontium isotope data were corrected for isobaric rubidium interference at mass 87 using the measured signal for  $^{85}\text{Rb}$  and the natural  $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb}$  ratio. Instrumental mass fractionation was corrected using the measured  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  ratio and the exponential law, and a true  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  value of 0.1194.

Results for repeated analyses of an in-house carbonate standard were processed and measured with the batches of unknown samples in this study ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.70894;  $2\sigma$  0.00004;  $n=33$ ) are in agreement with long-term results for this in-house standard ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.70892;  $2\sigma$  0.00005;  $n=125$ ) (Sarasketa-Gartzia et al. 2017).



Figure 4.22: NuPlasma HR MC-ICP-MS. Department of Geology, University of Cape Town.

#### 4.2.4. Quality standards and concentrations

For the analyses of strontium isotope ratios ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), contrary to what has been seen for carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ), there are not specific quality indicators. However, there are usually some parameters used to check the quality of the data. Firstly, the  $^{88}\text{Sr}$

voltage was monitored during analyses, while the data is included in the results tables (for an example, see Figure 4.23), for which it is considered that the value should be >1, being related to the minimum amount of strontium necessary to continue the analyses. Another parameter is the ratio  $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , taking as acceptable a range of 0.055-0.057 according to Copeland et al. (2008). Additionally, blanks, as well as Nm95 (for snails and enamel) and ALR33G (for plants) standards were analysed in all the batches, as mentioned before.

Finally, one of the most used techniques in the case of archaeological remains, to assess potential diagenesis, is the analyses of Sr concentrations. The quantity of strontium in the enamel is usually among 25 and 600 ppm (parts per million), although the concentration could be higher depending on the local environmental concentrations, dietary patterns and the mineralization of the tissues (Iyengar et al., 1978; Steadman et al., 1958). This method, contrary to the previous ones, has to be done before the chemical digestion of the sample by columns and it aims to detect possible diagenetic contaminant strontium (e.g., Copeland et al., 2008). For concentration analyses, first of all, it is necessary to take 0.2 ml from the solution obtained in the last step of the enamel sample preparation. That 0.2 ml were dried down and then taken up to 12ml adding 5%  $\text{HNO}_3$  (containing 10 ppb of Rh used as internal standard) in Falcon tubes of 14ml. All samples were then diluted further to make sure the Sr signal would be within acceptable range for ICP-MS analyses. 5%  $\text{HNO}_3$  was used to do all dilutions as well as the standards (calibration standards). The concentration analyses were carried out in the Department of Geology in the University of Cape Town using ThermoFisher XSeries 2.

S-UCT	Site	Concentration	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Voltage	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18258	Santimamiñe	116.6	0.056499	7.37	0.710635
18259	Santimamiñe	127.5	0.056534	7.84	0.710377
18260	Santimamiñe	48.67	0.056646	7.94	0.710999
18261	Santimamiñe	53.03	0.056573	7.19	0.709064
18262	Santimamiñe	67.77	0.056566	5.81	0.711042
18263	Santimamiñe	71.57	0.056524	7.38	0.709462
18264	Santimamiñe	101.4	0.056517	8.28	0.711458

Figure 4.23: Example of obtained results of Santimamiñe with concentrations,  $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , Voltage and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .



## 5. Materials and results

This section will explain, firstly, the bioavailable strontium of the archaeological sites analysed in the present work. For this purpose the regional geology, the selected modern materials and the obtained results will be described. Secondly, it will present the information about each analysed archaeological site, the selected materials, results, as well as a brief discussion of them.

### **5.1. Bioavailable strontium**

The strontium isotopic values present in the rocks go through the trophic chain from the lithosphere to plants and animals, and, finally, to the body tissues of humans, without measurable isotopic fractionation. However, this incorporation is not so straightforward. Effects such as weathering, hydrological cycles, biopurification and diagenesis will also affect the ultimate bioavailable Sr ratio in a specific location, and it should be in this way considered when designing the geological sampling strategy and discussing the interpretation (Bentley, 2006; Slovak and Paytan, 2012). That is why it is necessary to define the bioavailable strontium signature of the immediate surroundings of the site, in order to determine the strontium isotopic ratios incorporated into living organisms from each area (Price et al., 2002). We should also keep in mind for interpretations that, regardless of geological characteristics, coastal areas usually present marine-influenced bioavailable strontium values due to the sea spray effect (Bentley, 2006; Hartman and Richards, 2014).

#### **5.1.1. Regional geology**

Even if the geology is an aspect that will be detailed with the analyses of each archaeological site, in this section we have to contextualise in a general way the geology of the studied area (Fig. 5.1). The entire zone in which this thesis is focused on is included in the Basque-Cantabrian Basin, which has been subjected to a long evolution process (García-Ibaibarriaga, 2015). Its beginnings date back to the Upper Permian, while the last processes occur during the Miocene. Through approximately 250 Ma there were variations in several aspects, such as tectonics, sedimentology, palaeoclimate and palaeogeography (Robles, 2014).

Geographically, the Basque-Cantabrian Basin is composed by the West of Navarre, the Basque Country, the North part of Burgos and Palencia, and great part of Cantabria. The most characteristic aspect of the Basin is its large power (among 12 and 18 km depth) of the materials from the Mesozoic, especially Cretaceous (Barnolas and Pujalte, 2004; Brinkmann and Lögters, 1968). The Basin is in turn composed by three areas: the Basque Arch, the Navarre-Cantabrian plow and the Peri-Asturian plow, in which we are not going to focus on in the present work.

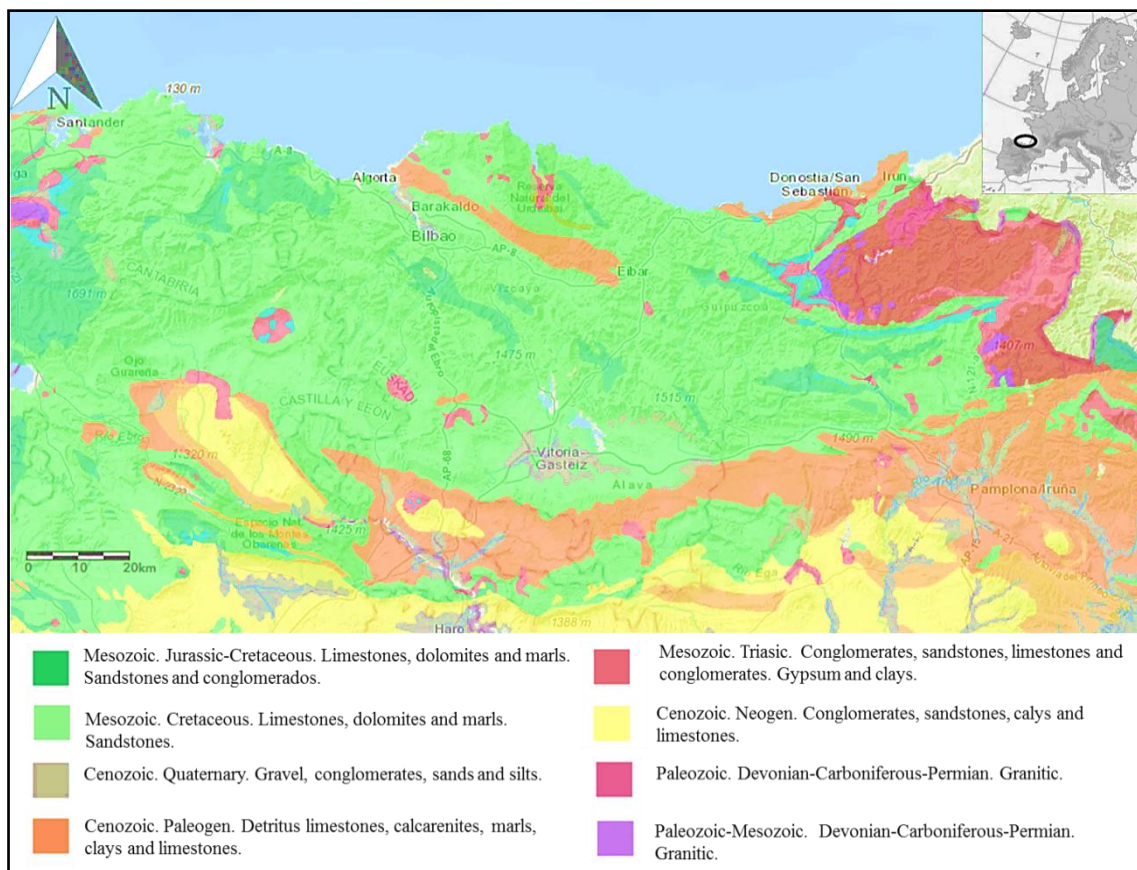


Figure 5.1: Geological map of the studied area. Modified from *Mapa de Edades de España 1/1.000.000* (igme.maps.arcgis).

The archaeological sites from Gipuzkoa and Bizkaia are, therefore, in the Basque Arch, which is characterised by the following aspects: (1) the existence of a magmatic Cretaceous, with local manifestations during Lower Albian (Fernández-Mendiola and García-Mondéjar, 2003) and relevant development during the interval between the Upper Albian-Santonian (Castañares et al., 2001); (2) signals of metamorphism in Mesozoic materials; (3) successions of Jurassic, Cretaceous and Paleogene periods (Barnolas and Pujalte, 2004). These three factors explain why the Basque Arch is the area with the most tectonic subsidence and the largest Mesozoic extension of the Basque-Cantabrian Basin. About the orography, this north area is characterised by an important relief, marked by a Cretaceous mountain range with NW (North-West)-SE (South-East) orientation. The altitude is increasing towards the interior, placing the highest peaks in the same watershed of water (the highest summit is Aitxuri, in the Aizkorri massif, with 1551 meters above sea level [m.a.s.l.]) (García-Ibaibarriaga, 2015). The characteristics that define this relief have been modelled by various factors, including lithology. The rocks of carbonated nature are the main predominating in the bedrock, more or less argillaceous, which enhances the development of karst systems of relevance, with more than 5000 karstic cavities catalogued (Dorado et al., 2013).



On the other hand, the archaeological sites of Fuente Hoz and Kurtzebide (Araba) are located in the Navarre-Cantabrian plow, which is limited by the fault of Bilbo-Altsasu in the NNE (North-Northeast) and the thrust fault integrated in the Cantabrian Mountain Range/Tesla Mountains and its continuity WNW (West-Northwest) through the faults of Carrales and Rumaceo. In general, it corresponds to an area of high level of subsidence, which was almost always compensated by the sedimentation and, in contrast to the Basque Arch, never had depth marine conditions. The Araba's relief is summarised in a series of mountain chains, oriented in the way of the parallels and separated by corridors or large buckets of high altitude. The influence of those chains in the puvliometric dissymmetries, in the brake to the Atlantic or Mediterranean influences, is remarkable. There is a lithological and stratigraphic sequence from North to South, but it is not gradual. In the northern part of the province, the different periods of the Mesozoic occur at the Tertiary outcrops on the edge of the basin of Treviño. But further South the Cretaceous reappears in the Cantabrian range, to make way for the continental Tertiary of the Depression of the Ebro (Ramírez del Pozo, 1973). Its structure shows a contrast between a string of folds to the North and a large Depression, of the Ebro, to the South.

In summary, the analysed archaeological sites are located in the Cantabrian region, in the west part of the Pyrenees, more concretely, in three of the provinces that form the Basque Country: Bizkaia (Pico Ramos and Santimamiñe), Gipuzkoa (Iruaxpe I, Urtao II, Marizulo and Karea) and Araba (Fuente Hoz and Kurtzebide); being the sites of Bizkaia and Gipuzkoa in the Atlantic slope and the two from Araba in the Mediterranean slope.

### 5.1.2. Selected modern materials

In order to obtain information about the bioavailable strontium, firstly, we observed the geological maps of the site locations whose remains were analysed. In the present work, the study of the mentioned areas has been carried out using the geological maps of the Basque Country, available in the EVE web page (*Ente Vasco de la Energía*-Basque Energy Entity), specifically, the parts corresponding to the provinces of Bizkaia, Araba and Gipuzkoa. Therefore, the second step consisted in arriving to the previously selected areas, taking into account the geology of the site, using a GPS if necessary, with the aim of sampling as close to the archaeological site as possible. Additionally, anthropic structures like roads or quarries were avoided, as well as areas close to crops



Figure 5.2: Modern materials sampling.

and farming fields of any sort. The sampling was carried out in each point of the studied sites, taking shells of snails and herbs, and pieces of shrubs and trees (Fig. 5.2).

Both plants and snails were sampled, in order to average the immediate local  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  bioavailable strontium, using two different types of material to avoid potential discrepancies (Evans et al., 2009; Maurer et al., 2012). In all the sites the intention was to take different plant sample categories (herbaceous, bushy and arboreal), paying special attention to the leaves instead of trunks or branches, unfortunately, this phase was carried out in winter and, as a consequence, it was not always possible to take only leaves. After this relative easy part of the sampling process, the next step consisted in finding snail shells, especially difficult because of the season. In any case, five samples of snail shells from each site were found.

Each sample was introduced in its respective bag and was labelled differently, by writing on it the code given to the geographical point and the type of material. Additionally, all the information was transcribed in an excel document in which details of each material were noted. The mentioned bags, in which samples were introduced, were not tightly closed in order to avoid the excessive accumulation of moisture inside, produced by the plant transpiration. Once all the samples were collected, they were placed in a cool dry environment, out of direct sunlight to not cause their deterioration.

### 5.1.3. Results

All the samples showed the expected control values ( $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and Sr [V]), although it gets our attention the fact that plants provide more large range bioavailable values than snails. The results show a heterogenic bioavailable strontium map (Fig. 5.3), as shown in Table 5.1 and Fig. 5.4 in which the studied materials and the results appear.

Sample (S-UCT)	Site	Material	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (V)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18088	Pico Ramos	<i>Quercus robur</i>	0.056548	8.67	0.707778
18089	Pico Ramos	<i>Smilax aspera</i>	0.056560	8.06	0.707619
18090	Pico Ramos	<i>Rosaceae</i>	0.056564	8.14	0.707744
18091	Pico Ramos	<i>Trifolium</i>	0.056566	8.94	0.708229
18092	Pico Ramos	<i>Poaceae</i>	0.056545	8.05	0.708124
18093	Santimamiñe	<i>Quercus ilex</i>	0.056540	7.31	0.709137

18094	Santimamiñe	<i>Hedera helix</i>	0.056565	8.83	0.708833
18095	Santimamiñe	<i>Smilax aspera</i>	0.056586	7.37	0.708901
18096	Santimamiñe	<i>Fragaria</i>	0.056545	8.20	0.708968
18097	Santimamiñe	<i>Poaceae</i>	0.056534	7.52	0.708629
18103	Karea	<i>Smilax aspera</i>	0.056574	7.91	0.708609
18104	Karea	<i>Hedera helix</i>	0.056545	7.79	0.708796
18105	Karea	<i>Cyatheaales</i>	0.056542	7.08	0.708956
18106	Karea	<i>Rosaceae</i>	0.056308	5.56	0.709630
18107	Karea	<i>Poaceae</i>	0.056546	6.15	0.709657
18073	Marizulo	<i>Poaceae</i>	0.056410	7.53	0.709075
18074	Marizulo	<i>Hedera helix</i>	0.056555	7.19	0.710688
18075	Marizulo	<i>Quercus robur</i>	0.056554	7.04	0.710476
18076	Marizulo	<i>Smilax aspera</i>	0.056564	8.01	0.708448
18077	Marizulo	<i>Fragaria</i>	0.056641	7.10	0.709910
18078	Fuente Hoz	<i>Quercus ilex</i>	0.056536	7.62	0.708004
18079	Fuente Hoz	<i>Pinaceae</i>	0.056539	7.84	0.707784

18080	Fuente Hoz	<i>Rosaceae</i>	0.056569	8.08	0.708260
18081	Fuente Hoz	<i>Thymus</i>	0.056505	8.21	0.708163
18082	Fuente Hoz	<i>Poaceae</i>	0.056537	8.85	0.708014
18083	Kurtzebide	<i>Quercus ilex</i>	0.056571	9.66	0.707745
18084	Kurtzebide	<i>Pinaceae</i>	0.056556	7.45	0.707611
18085	Kurtzebide	<i>Rosaceae</i>	0.056554	8.17	0.707685
18086	Kurtzebide	<i>Juniperus</i>	0.056563	7.36	0.707728
18087	Kurtzebide	<i>Poaceae</i>	0.056474	8.54	0.707873
18108	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Corylus avellana</i>	0.056526	8.03	0.709309
18109	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Pinaceae</i>	0.056574	9.17	0.708731
18110	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Smilax aspera</i>	0.056578	8.65	0.708618
18111	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Rubus</i>	0.056545	5.28	0.709504
18112	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Poaceae</i>	0.056578	8.61	0.708691
18189	Pico Ramos	<i>Helix aspersa</i>	0.056552	7.22	0.707467
18190	Pico Ramos	<i>Helix aspersa</i>	0.056552	9.11	0.707461
18191	Pico Ramos	<i>Helix aspersa</i>	0.056587	6.84	0.707450

18192	Pico Ramos	<i>Helix aspersa</i>	0.056564	9.06	0.707526
18193	Pico Ramos	<i>Helix aspersa</i>	0.056567	9.00	0.707506
18194	Santimamiñe	<i>Helix aspersa</i>	0.056562	7.05	0.708741
18195	Santimamiñe	<i>Helix aspersa</i>	0.056643	8.04	0.708578
18196	Santimamiñe	<i>Helix aspersa</i>	0.056537	10.13	0.708543
18197	Santimamiñe	<i>Helix aspersa</i>	0.056518	8.72	0.708332
18198	Santimamiñe	<i>Helix aspersa</i>	0.056575	8.25	0.708516
18204	Karea	<i>Helix aspersa</i>	0.056602	8.79	0.708452
18205	Karea	<i>Helix aspersa</i>	0.056563	7.37	0.708281
18206	Karea	<i>Helix aspersa</i>	0.056648	6.74	0.708542
18207	Karea	<i>Helix aspersa</i>	0.056552	6.03	0.708520
18208	Karea	<i>Helix aspersa</i>	0.056567	7.11	0.708737
18174	Marizulo	<i>Helix aspersa</i>	0.056577	8.77	0.708580
18175	Marizulo	<i>Helix aspersa</i>	0.056585	8.73	0.708506
18176	Marizulo	<i>Helix aspersa</i>	0.056647	9.45	0.708878
18177	Marizulo	<i>Helix aspersa</i>	0.056630	9.54	0.708296

18178	Marizulo	<i>Helix aspersa</i>	0.056566	9.00	0.708249
18179	Fuente Hoz	<i>Helix aspersa</i>	0.056605	7.94	0.707610
18180	Fuente Hoz	<i>Helix aspersa</i>	0.056586	8.85	0.707626
18181	Fuente Hoz	<i>Helix aspersa</i>	0.056582	10.08	0.707637
18182	Fuente Hoz	<i>Helix aspersa</i>	0.056546	9.38	0.707677
18183	Fuente Hoz	<i>Helix aspersa</i>	0.056548	9.74	0.707544
18184	Kurtzebide	<i>Helix aspersa</i>	0.056546	8.15	0.707551
18185	Kurtzebide	<i>Helix aspersa</i>	0.056552	7.80	0.707515
18186	Kurtzebide	<i>Helix aspersa</i>	0.056511	7.69	0.707505
18187	Kurtzebide	<i>Helix aspersa</i>	0.056578	6.61	0.707490
18188	Kurtzebide	<i>Helix aspersa</i>	0.056575	9.43	0.707535
18209	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Helix aspersa</i>	0.056508	9.16	0.707526
18210	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Helix aspersa</i>	0.056488	9.02	0.707921
18211	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Helix aspersa</i>	0.056551	7.85	0.707488
18212	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Helix aspersa</i>	0.056540	9.09	0.707760
18213	Iruaxpe I- Urtao II	<i>Helix aspersa</i>	0.056559	9.67	0.707756

**Table 5.1: Results of strontium bioavailable values obtained from the analyses of modern plant and snail samples of all the archaeological sites studied in the present Thesis.**

Taking into account the results shown in the Table 5.1, we can set the following bioavailable values for each archaeological site:

- Pico Ramos: The modern plant samples (n=5) gave a mean of  $0.707899 \pm 0.000263$  ( $1\sigma$ ) and snail shell samples (n=5) of  $0.707482 \pm 0.000032$  ( $1\sigma$ ). Therefore, the bioavailable local value taking both plant and snail samples (n=10) is  $0.707690 \pm 0.000282$  ( $1\sigma$ ).

- Santimamiñe: The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  results of the modern plant and snail shell samples (n=10) to calculate the bioavailable value at the site of Santimamiñe lie within the range of  $0.708718 \pm 0.000243$  ( $1\sigma$ );  $0.708894 \pm 0.000186$  ( $1\sigma$ ) for plants and  $0.708542 \pm 0.000147$  ( $1\sigma$ ) for snails.

- Karea: The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  result of the bioavailable local value is  $0.708818 \pm 0.000474$  ( $1\sigma$ ); while it has a mean of  $0.709130 \pm 0.000485$  ( $1\sigma$ ) for plants and  $0.708506 \pm 0.000164$  for snails ( $1\sigma$ ).

- Marizulo: The analyses of bioavailable strontium in the surroundings of the site show plants mean value of  $0.709719 \pm 0.000946$  ( $1\sigma$ ) and snails mean value of  $0.708502 \pm 0.000252$  ( $1\sigma$ ). Therefore, the bioavailable local value would be  $0.709111 \pm 0.000915$  ( $1\sigma$ ).

- Fuente Hoz: The bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values of modern plants (n=5) give a mean of  $0.708045 \pm 0.000181$  ( $1\sigma$ ), and those of snail shells (n=5) of  $0.707619 \pm 0.000049$  ( $1\sigma$ ); overall the bioavailable Sr value is of  $0.707812 \pm 0.000264$  ( $1\sigma$ ).

- Kurtzebide: The overall  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  bioavailable values are of  $0.707624 \pm 0.000124$  ( $1\sigma$ ), mean of  $0.707728 \pm 0.000096$  ( $1\sigma$ ) for plants, and  $0.707519 \pm 0.000024$  ( $1\sigma$ ) for snails.

- Iruaxpe I and Urtao II: Modern plants samples (n=5) give a mean value of  $0.708971 \pm 0.000406$  ( $1\sigma$ ) and snail shell samples of  $0.707690 \pm 0.000181$  ( $1\sigma$ ). Therefore, the bioavailable local value would be  $0.708330 \pm 0.000737$  ( $1\sigma$ ).

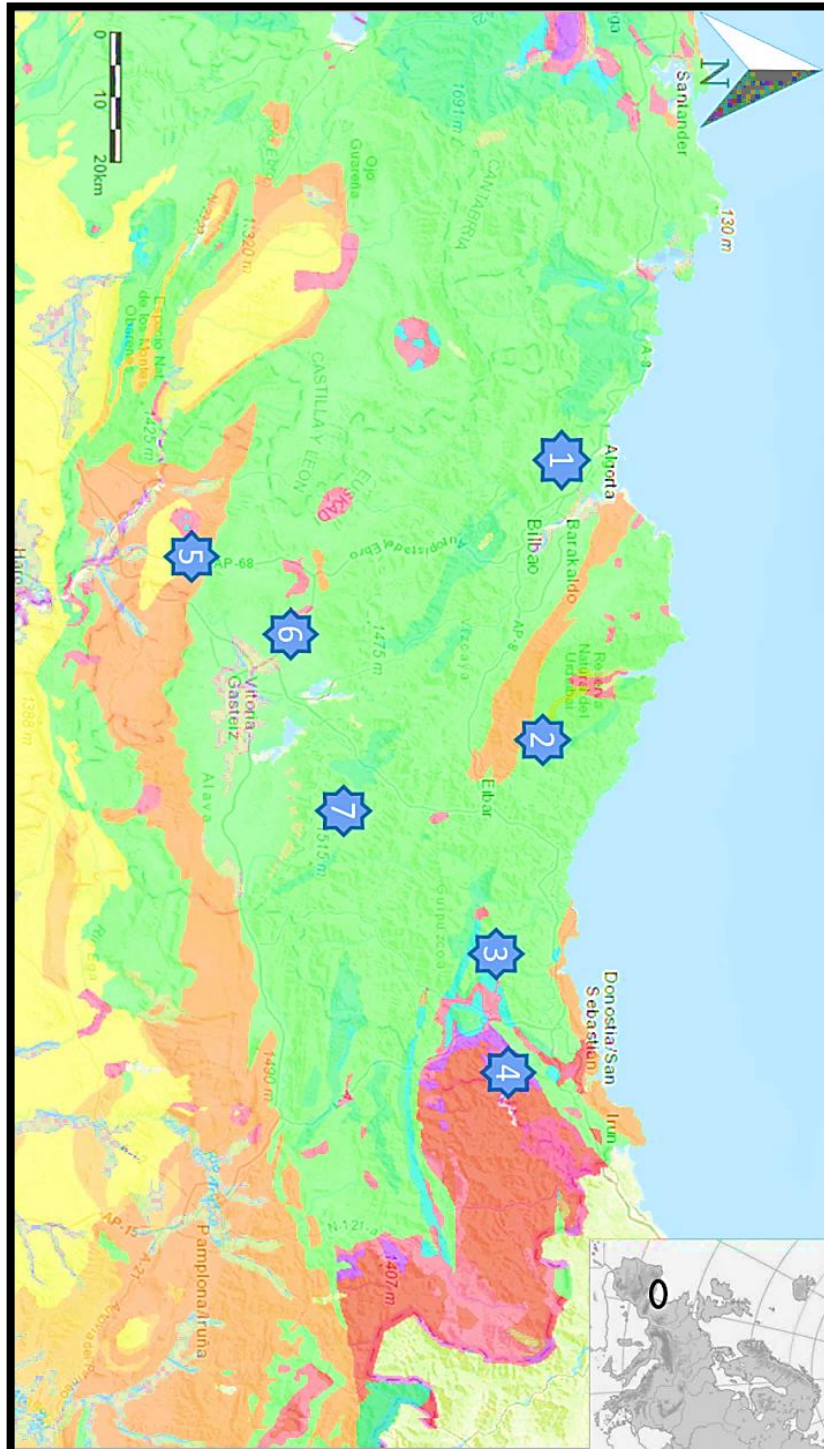


Figure 5.3: Geological map with the location of the analysed archaeological sites: 1-Pico Ramos 2- Santimamiñe 3-Karea 4-Marizulo 5- Fuente Hoz 6-Kurtzebide 7-Iruaxpe I-Urtao II.



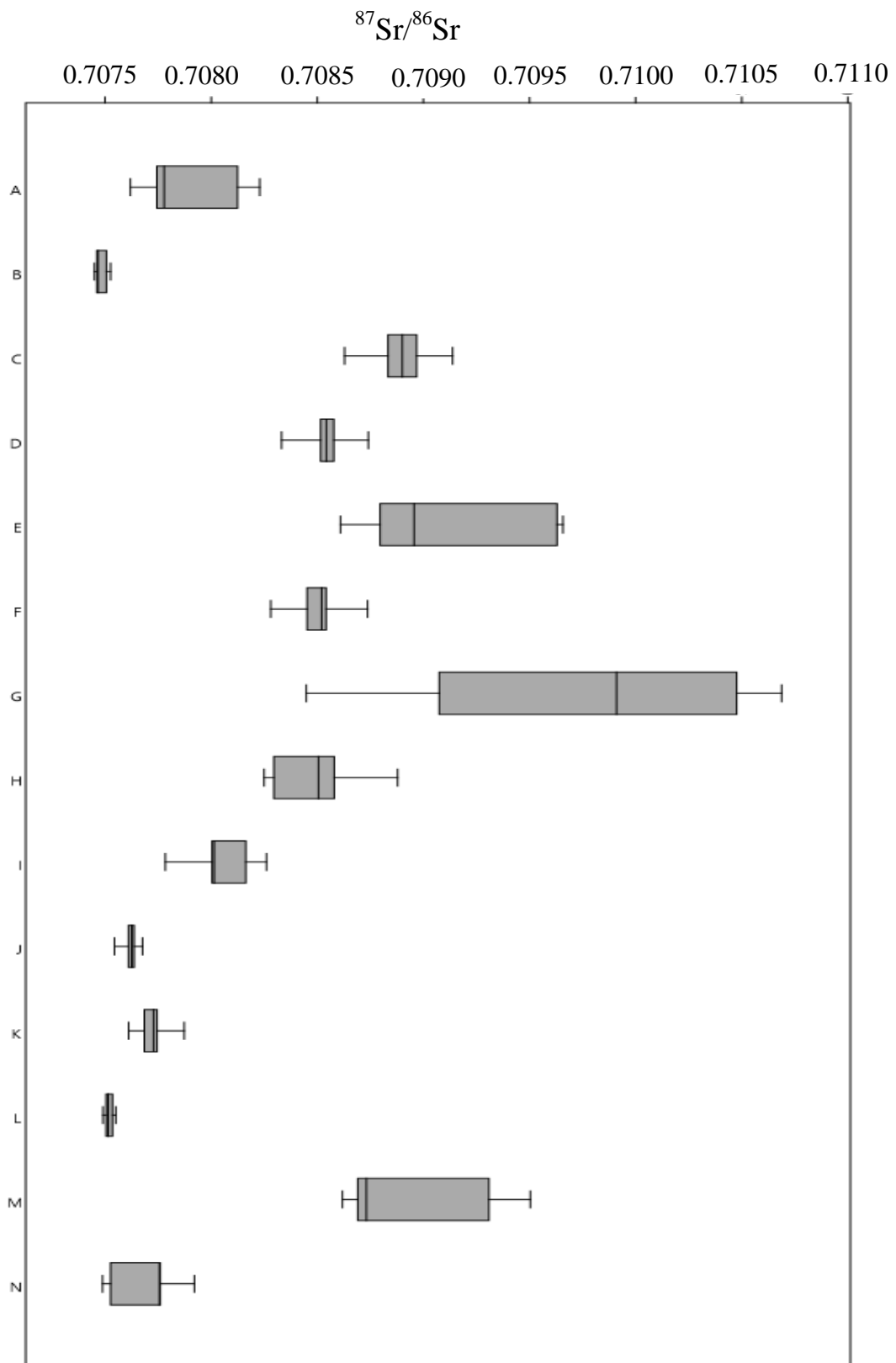


Figure 5.4: Graphic with the bioavailable values of different sites. A: Pico Ramos plants. B: Pico Ramos snails. C: Santimamiñe plants. D: Santimamiñe snails. E: Karea plants. F: Karea snails. G: Marizulo plants. H: Marizulo snails. I: Fuente Hoz plants. J: Fuente Hoz snails. K: Kurtzebide plants. L: Kurtzebide snails. M: Iruaxpe I-Urtao II plants. N: Iruaxpe I-Urtao II snails.

## 5.2. Pico Ramos

In this section the information about the archaeological site itself and, then, the selected materials and their results, followed by a little summary with a brief discussion of the obtained data, will be explained.

### 5.2.1. Site information

The entrance to Pico Ramos burial cave faces Northeast (Fig. 5.5), at an altitude of 190 m.a.s.l., on the Pico Ramos-Janeo ridge on the left bank of the Barbadun River (Bizkaia). Today, the site is above a salt-marsh area, on a steep slope near the town of San Julián de Muskiz. The intertidal line of the modern coast is 3000 m from the site.



Figure 5.5: Pico Ramos cave under excavation (1992) (Zapata et al. 2007).

The cave is part of the Lower Cretaceous (Albian-Aptian) limestone geological formation of the region. The average altitude of the mentioned region is moderate, although there are considerable differences between the riverside plains and the mountains. Nowadays, the landscape is degraded by human action, in this sense, in the surroundings of the cave appear shrubby formations of Atlantic brooms (*Genista*) and brackens (*Pteridium*) and tor-grass formations of *Brachypodium pinnatum* and meadows with some isolated trees, particularly evergreen holm oaks (*Quercus ilex*). Not long ago, the cave was close to a wide range of biotopes, offering hunting resources as well as the possibility of fishing (in the river, estuary and sea) and to gather seafood (Zapata, 2017).

The cave was found in 1989 by some members of *Harribaltzaga Kultur Elkartea* group, although it is thought that it is the same cave previously cited by Nolte (1984) with the name of Janeo. In this site anthropological and faunal remains were found, as a consequence of the discovery of Reizu following the indications of Basabe. When the cave was explored in 1989, the sediment seemed to have been disturbed, uncovering a collective burial with prehistoric human remains (Level 3) and pottery (Zapata, 1995a). Due to these alterations, the necessary permission was obtained for a rescue excavation, which began in 1990. The excavation continued in two consecutive field seasons: the first three levels in 1991 and the rest of the sequence in 1992.

A total of 13 stratigraphic units have been identified at Pico Ramos, of which only the top four are of archaeological interest and, therefore, will be developed below. The definition of different layers is not easy in all the areas of the cave. In general, the stratigraphic distinction based on observed sedimentological criteria is more difficult in the higher levels (1, 2, and 3) than among the following ones, clearly differentiated by the type of sediment and coarse fractions that compose them. Toward the outside of the cavity (bands 2, 3 and 4) levels are blurred and converge in reddish clay similar to those defined at Level 2 (outside). Inside (bands 7 and 8), perhaps more mixed by modern removals, the visual distinction of the upper levels is also difficult. A stratigraphically clearer zone is that which corresponds to the left half of the bands 5 (Fig. 5.6) and 6. The first four levels are going to be explained below following the description of Zapata (1995a):

- Level 1: It is composed by a brown very loose sandy soil. It has small size pebbles (<10 cm) of limestone and concretion. It covers only the surface of the cave and its thickness varies between 2 and 23 cm, although the usual thickness is about 7 cm. It is scrambled with both contemporary material and archaeological and anthropological remains, which were redeposited as a consequence of postpositional alterations.

- Level 2: Archaeologically it is defined by a layer of medium and large size stones. Sedimentologically corresponds to two different areas:

- Outside: It is located in the outdoor area of the cave, as well as in the band 5. It is reddish clay that in the band 5 has a thickness of between 22 and 39 cm. Outside its boundaries are completely blurred and, in fact, all the sediment of the outdoor area of the cave has very similar appearance to this one. It includes large blocks of limestone in squares B5 and C5.
- Inside: It appears in the bands 6, 7 and 8 with sandy light brown sediment. It is not huge difference comparing with Level 1 and 3, except for medium-sized stone blocks that characterize this stratigraphic unit.

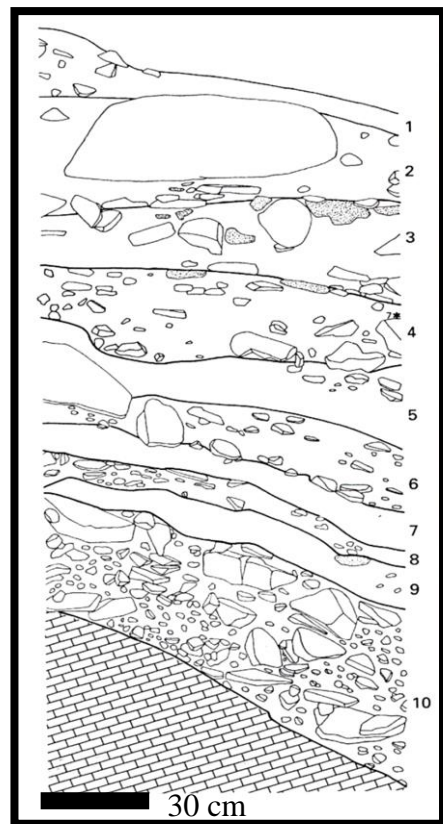


Figure 5.6: Stratigraphic levels in the B5 column of Pico Ramos.

- Level 3: It is defined by the existence of human bone packages. The sediment that surrounds them is similar to those mentioned above (inside parts of Levels 1 and 2), composed by a matrix of clay, but a little more compact. There are abundant limestones of medium size, as well as concretions in squares B4 and B5. This is currently the only humid area of the cave, which suffers from leaks and filtrations after heavy rains. The anthropological remains extend from the inside to band 4, where they become increasingly scarce, possibly due to the fact that conservation conditions are worse in the outdoor area. Taking into account the location of the remains, it is possible that the covered area of the original cave was bigger than the modern one. Referring to the thickness of the level, it is very irregular. Its highest point is reached in the B band, while in the C it becomes thinner. The researchers thought that this was due to a voluntary accumulation of human remains on the left side of the cave and, perhaps, the use of the right side as a burial space taking advantage of a big slab flat that marks the base of the level. Level 3 includes much material culture made from flint, bone, pottery, lignite, molluscs, copper and polished stone, as well as faunal remains.

- Level 4: It is dark brown clay-like compact sediment with abundant marine mollusc remains, both whole and fragmented, although the material recovered in the shell midden is very scarce. The sedimentological analyses have been able to register a differed sedimentation episode in the upper area of the level. During the process of excavation of the biggest area of the cave (squares B5 and C5) the passage of the sepulchral Level 3 to 4 shell midden was immediate, meaning that human bones were directly over molluscs. In the column where the samples were collected the change was observed so clearly, since the highest concentration of shellfish started about 10 cm below, the dividing line of Levels 3 and 4.

Focusing on the analyses carried out in Pico Ramos previous to this work, we have to underline the radiocarbon dating. The results are provided in Table 5.2 and Figure 5.7, in which data from Levels 3 and 4 can be observed. As mentioned before, when summarizing the stratigraphy, Level 3 dated among 4473-5627 years. Taking into account all three results, we would be talking of a Chalcolithic chronology, while Level 4 is related to a Neolithic shell midden.

Level	Dating reference	Sampling material	C <sup>14</sup> BP	C <sup>14</sup> calBP
3	I-16797	Human bone	4100±110	4626±153
3	I-16501	Human bone	4210±110	4730±141
3	I-16798	Human bone	4790±110	5500±127
4	Ua-3051	Charcoal	5860±65	6670±83

Table 5.2: Radiocarbon dates from Pico Ramos (Zapata, 1995a).

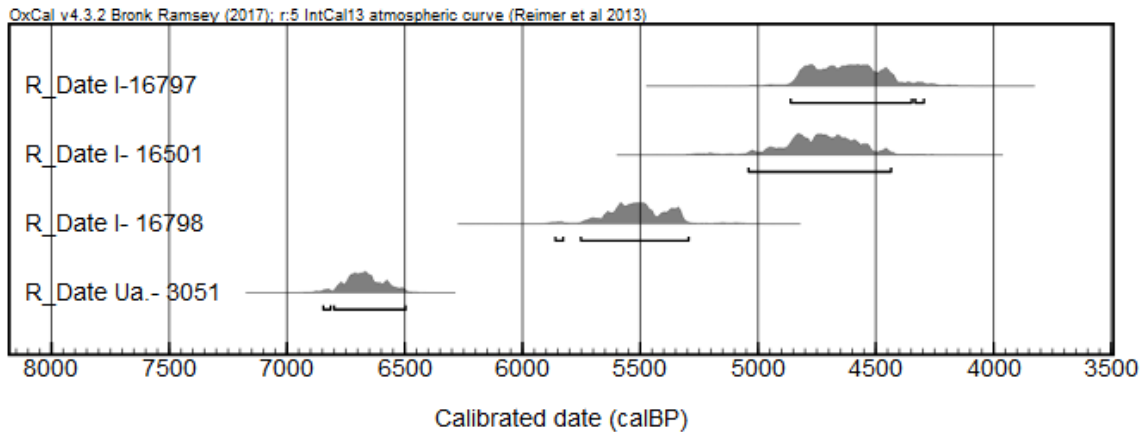


Figure 5.7: Radiocarbon dates from Pico Ramos. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with  $2\sigma$  (95.4 % probability).

Focusing on the appeared materials, the most abundant remain type is the anthropological one. Unfortunately, their preservation at the site was very deficient, with a high grade of fragmentation. Therefore, there were almost no whole bones recovered; additionally, the epiphyses (particularly the proximal, which is very fragile bone tissue) have not been preserved. The skulls were also in poor state, totally fragmented and compressed between stones, making it impossible to do any type of morphological studies of them. Due to its structure, the best preserved parts by far were the teeth and, therefore, the demographic study of the whole sample has been done based on this material. The mentioned bad preservation of the remains could be because of different reasons: (1) it seems that the authors of the burials have altered the area themselves; (2) on the other hand, big stones fell into the deposit, broking the remains; (3) post depositional agents could alter the remains too, such as the presence of animals, changes in the temperature or humidity, etc.

There have been 11410 human skeletal remains recovered, most of them fragmented. There were also 2775 dental pieces, including mandibles with pieces *in situ*, much better conserved because of their structure. Related to the fragmentation and the bad preservation of the human remains, there were only few anatomic connexions. After making a scatter of fragments of skulls, a significant concentration and an apparent minor presence of remains on the right side of the cave was observed, confirmed after by statistics (SPSS/PC+V4.0.1). It is difficult to affirm that each cluster of fragments corresponds, in fact, to a skull, but it constitutes an abnormal concentration of large fragments.

The study of the demographic profile of Pico Ramos was carried out taking into consideration the previously mentioned 2775 dental pieces recovered during the excavations (Baraybar and de la Rúa, 1995). The MNI (n=104) was calculated based on the number of lower left canine teeth and the radius of a neonate. Like in other caves

and megalithic tombs, it seems that it is a collective deposit made cumulatively. The distribution by biological sex, despite having been able to identify only a very small sample, points to a distribution of 50 % of females and 50 % of males. With respect to the ages, it has been only possible to determine among individuals younger or older than 21 years. The used technique for this purpose has been to analyse, on one hand, the calcification of enamel and tooth eruption and, on the other hand, the degree of wear in the already erupted canines with formed root. Thanks to this information it has been possible to determine that less than a third of the sample (31 %) survived to this age. Moreover, some pathologies have been identified in the human remains, such as enthesopathies, degenerative problems and fractures, as well as lineal hypoplasia of the teeth enamel in several individuals related to stress phases around 3.5-4 years.

Additionally to the anthropological study, trace elements and DNA analyses have been done. Although knowing the inconveniences of trace elements analysis (check 2.3.2. *Previous works of carbon, nitrogen and strontium isotopes*), the authors suggest a varied diet: perhaps a slight consumption of marine resources, but a more important role of estuarine resources; however, the main input would be related to terrestrial animal proteins, together with a possible complement of vegetables (Baraybar and de la Rúa, 1995). Regarding the mitochondrial DNA analyses, left canines of 24 individuals of Level 3 were analysed. The mitochondrial diversity found suggest that this population was not an isolated group and that it formed part of relatively big reproductive units, although this idea does not mean that there was not some kind of limits when interacting with other human groups (Almagro, 2015).

Referring to archaeological faunal remains, few pieces have been recovered in the Levels 3 and 4, which are of our interest taking into account their location next to human remains. Of a total of 327 remains, 94 % are of terrestrial vertebrates; the presence of birds is very scarce (e.g., *Pinguinus impennis* and *Passeriforme*) and almost inexistent in the case of fishes with reliable chronology (*Gadus morhua* and *Raya*). Some fragments of *Bos taurus*, *Ovis aries/Capra hircus* and *Sus domesticus* have been found in the limit between Levels 3 and 4. The rest of the remains from Level 4 are wild species, such as *Cervus elaphus* and *Vulpes vulpes*. The study of the malacofauna remains shows both ornamental elements and human consumption wastes, related to the Level 4. The most common species in the site were *Patella ulyssiponensis*, *Patella intermedia*, *Patella vulgata*, *Monodonta lineata*, *Tapes decussatus*, *Ostrea edulis* and *Solen marginatus*. This taxa show a relevant exploitation of the intertidal area, with the recovering of the typical species predominant during the Mesolithic (Zapata, 2002a).

Analyses of pollen and plant macro remains have also been carried out at the same Levels (4, shell midden and 3, funerary context). The pollen data obtained at both layers show little differences and reflect an open plant landscape, wet and temperate, in which arboreal species, like mixed oak wood, developed. Evidences of anthropization in the landscape can be observed too, taking into account the Arboreal Pollen below 30 %, the predominance of *Corylus*, the dynamics of *Plantago* and the presence of *Asphodelus*

and Cerealia at Level 3. There is also a high presence of Ranunculaceae in the samples from Level 3 (Iriarte-Chiapusso, 1994). Wood charcoal indicates that during the occupation of Level 4, it was mostly (92.8 %) deciduous type oak (*Quercus* subg *Quercus*) which was burnt. Fragments of *Quercus ilex/Quercus coccifera*, *Corylus*, *Arbutus unedo* and *Rosaceae* have likewise been identified. Some of this fuel would have been associated with the consumption of molluscs which is characteristic of the shell midden. At Level 3 deciduous oak is also the most common wood type (81 %) and the rest is distributed over a greater diversity of taxa, many of them shrub-type: *Juniperus*, *Arbutus unedo*, *Pomoidea*, *Leguminosae*, *Euonymus europaeus*, *Rhamnus/Phillyrea* and *Sambucus*. Data on plant gathering and farming activities are limited, only at Level 4 pericarp fragments of hazelnut have been retrieved and one *Hordeum caryopsis* has been identified and dated at Level 3 (Zapata, 1995a).

### 5.2.2. Selected materials

As mentioned previously, human bone remains from the Level 3 of Pico Ramos are highly fragmented and taphonomically affected, resulting in an absence of whole long bones and epiphyses. Because of the difficulties inherent to the bad preservation of the assemblage, only 22 analyses were carried out on human bones (Table 5.3). Only bone remains (i.e. mandibles) for which second molars were associated were selected for analyses so all isotopes (carbon, nitrogen, strontium) could be linked to same individuals. Therefore, the study has mainly focused on mandibles ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) and teeth from those mandibles (Sr). Although the chosen material comes from different sublayers, all the remains belong to a single series forming a Chalcolithic funerary assemblage.

Additionally, five samples were taken from faunal remains, all of them from the same sublayers as the human remains selected: *Cervus elaphus* (long bone fragment), *Bos taurus* (short bone fragment), *Sus scrofa* (phalange), *Canis familiaris* (costal remain) and *Ovis aries/Capra hircus* (costal remain), to acquire more information about the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotopic background values at the time for the region.

Bone sample (S-UCT)	Specie	Corresponding enamel sample (S-UCT)	Archaeological reference	Sex/age
18429	Human	18236	PRA. 5140	>21 years
18430	Human	18237	PRA. 5141	>21 years
18431	Human	18238	PRA. 5156	>21 years
18432	Human	18239	PRA. 5160	>21 years
18433	Human	18240	PRA. 5169	>21 years
18434	Human	18241	PRA. 5164	>21 years

18435	Human	18242	PRA. 5176	>21 years
18436	Human	18234	PRA. 5267	>21 years
18437	Human	18235	PRA. 5272	>21 years
18438	Human	18244	PRA. 5276	>21 years
18439	Human	18245	PRA. 5273	>21 years
18440	Human	18246	PRA. 5290	>21 years
18441	Human	18247	PRA. 5292	>21 years
18442	Human	18248	PRA. 5294	>21 years
18443	Human	18249	PRA. 5299	>21 years
18444	Human	18251	PRA. 5301	>21 years
18445	Human	18250	PRA. 5300	>21 years
18446	Human	18252	PRA. 5303	>21 years
18447	Human	18253	PRA. 5370	>21 years
18448	Human	18254	PRA. 7929	>21 years
18449	Human	18255	PRA. 7949	>21 years
18450	Human	18257	PRA.B4.C9.858	>21 years
18451	<i>Canis familiaris</i>	-	PRA.B7.2147	-
18452	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i>	-	PRA.B7.2695	-
18453	<i>Sus scrofa</i>	-	PRA.6837	-
18454	<i>Cervus elaphus</i>	-	PRA.12210	-
18455	<i>Bos taurus</i>	-	PRA.12215	-

Table 5.3: Pico Ramos samples summary.



### 5.2.3. Carbon and nitrogen results

It was possible to analyse the >30kDa collagen fraction from all analysed samples (22 human and 5 faunal remains), and sufficient collagen was obtained to analyse each sample in duplicate (Table 5.4, Fig. 5.8). Unfortunately, one sample (S-UCT 18431) did not meet the quality standards described above, and is, therefore, omitted from the discussion of the results. In the case of sample S-UCT 18429, although the percentage of collagen is less than expected, we will take it into account for further discussion because the rest of the indicators are correct and we use ultrafiltration. The rest met the published quality controls: %C >30, %N >10 and C:N elemental ratio between 2.9 and 3.6 (Ambrose, 1993; Van Klinken, 1999).

Bone sample (S-UCT)	Specie	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ )‰	%C ( $\bar{x}$ )	%N ( $\bar{x}$ )	C:N ( $\bar{x}$ )	% Coll
18429	Human	-20.6	9.4	38.5	12.4	3.6	0.3
18430	Human	-20.5	8.2	42.1	14.6	3.4	5.5
<i>18431</i>	<i>Human</i>	<i>-23.3</i>	<i>8.7</i>	<i>12.4</i>	<i>2.2</i>	<i>6.7</i>	<i>0.2</i>
18432	Human	-20.2	9.3	42.8	15	3.3	5
18433	Human	-21	8.4	42.3	14.8	3.3	4.6
18434	Human	-20.5	9	42.3	14.8	3.3	2.9
18435	Human	-20.8	8.5	41.6	14.5	3.3	2.5
18436	Human	-20.7	8.6	41	14.2	3.4	1.5
18437	Human	-19.9	8.8	42.6	14.6	3.4	1.4
18438	Human	-20.5	9	37.2	12.7	3.4	0.7
18439	Human	-20.7	9.3	36.3	11.8	3.6	0.6
18440	Human	-20.8	8.6	49.9	17.6	3.3	1.5
18441	Human	-20.2	9.6	35.9	12.4	3.4	2.1
18442	Human	-20.1	9.8	38.6	13.2	3.4	2.8
18443	Human	-20.5	9.2	40.6	13.1	3.6	0.2
18444	Human	-20.2	9.3	40.7	14.2	3.3	3.2

18445	Human	-20	8.7	39.9	13.6	3.4	1.4
18446	Human	-20.4	8.7	31.5	10.6	3.5	0.6
18447	Human	-20.3	9.3	42.3	14.6	3.4	1.6
18448	Human	-20	9.4	40.5	14.1	3.4	9.4
18449	Human	-20.4	9	42.3	14.8	3.3	2.5
18450	Human	-20.4	9.4	40.1	13.7	3.4	1.7
18451	<i>Canis familiaris</i>	-16.3	9.6	44.5	16.1	3.2	10.2
18452	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i>	-20.3	3.5	41.9	15.1	3.3	5.3
18453	<i>Sus scrofa</i>	-21.1	4.9	43	15.3	3.3	3.1
18454	<i>Cervus elaphus</i>	-20.6	3.3	33.3	11.2	3.5	0.6
18455	<i>Bos taurus</i>	-21.9	4.8	34.5	11.9	3.4	0.8

**Table 5.4: Carbon and nitrogen isotopes results of Pico Ramos.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ average values and collagen quality parameters (%C, %N and C:N) of the two measures analysed per sample. The sample in italics does not meet quality standards. [To check original data of Run A and B see Appendix 1].**

The herbivore baseline for Pico Ramos is obtained from the ovicaprid, red deer and bovid results:  $\delta^{13}\text{C}$ :  $-20.9 \pm 0.8$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $-21.9$  ‰, max:  $-20.3$  ‰) and  $\delta^{15}\text{N}$ :  $3.8 \pm 0.8$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min: 3.3 ‰, max: 4.8 ‰). Additionally, two more specimens were sampled, one carnivorous, a dog with  $\delta^{13}\text{C}$  values of  $-16.3$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  of 9.6 ‰, and one omnivorous, a wild boar with considerably lower  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-21$  ‰) and  $\delta^{15}\text{N}$  (4.9 ‰) values than the dog specimen.

All the human remains are clustered coherently in the pattern that can be expected for individuals with a diet based on the consumption of  $\text{C}_3$  type terrestrial protein, as can be seen in Figure 9. Taken all together, the mean values are  $\delta^{13}\text{C}$   $-20.4 \pm 0.3$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $-21$  ‰, max:  $-19.9$  ‰) and  $\delta^{15}\text{N}$   $9 \pm 0.4$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min: 8.2 ‰, max: 9.8 ‰).

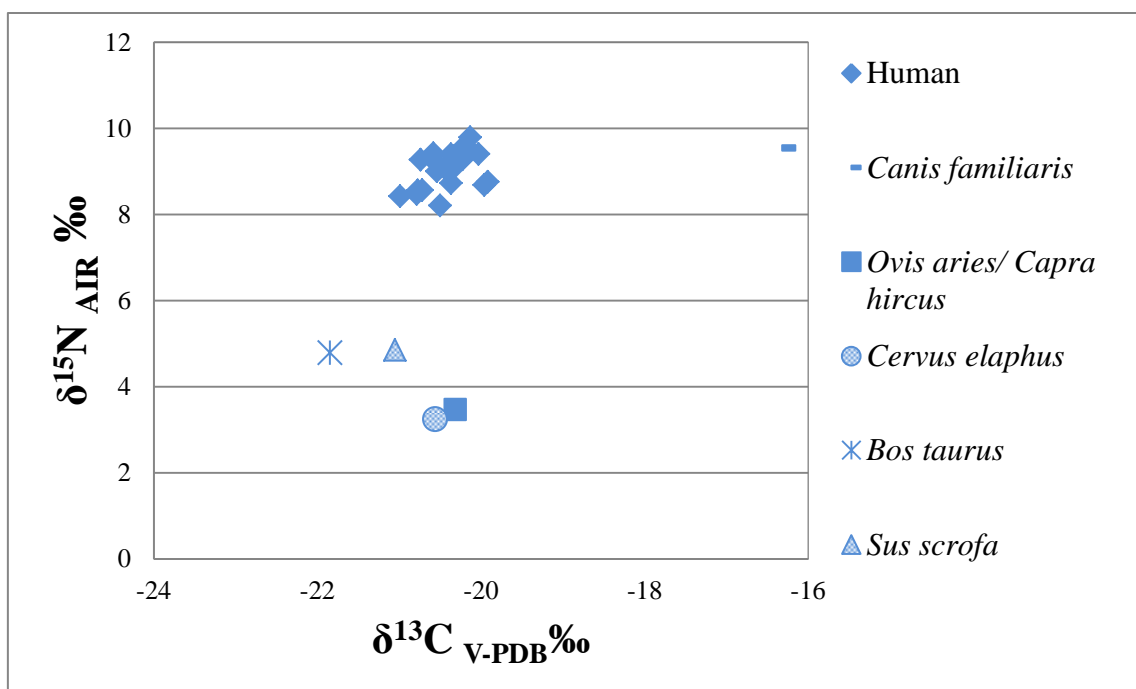


Figure 5.8: Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Pico Ramos.

#### 5.2.4. Strontium results

Pico Ramos is located in a mountainous area with a Lower Cretaceous substrate (Albian-Aptian). The modern plant samples ( $n=5$ ) gave a mean of  $0.707889 \pm 0.000263$  and snail shell samples ( $n=5$ ) of  $0.707482 \pm 0.000032$ . So, the bioavailable local value would be  $0.707690 \pm 0.000282$  ( $1\sigma$ ). Table 5.5 shows that of all the individuals analysed ( $n=24$ ), with a mean value of  $0.709328 \pm 0.001233$  ( $1\sigma$ ), most of them fall outside the bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios. Among them four values (S-UCT 18242, 18246, 18248, 18254) stand out particularly (Fig. 5.9), as their mean of  $0.711787 \pm 0.000618$  ( $1\sigma$ ) is indicative of the allochthonous character of these individuals. It is possible to determine the local range using the mentioned mean value of the human results, meaning fewer individuals with non-local values, although this method will not be used for further discussion.

S-UCT	Specie	Sr Concentration (ppm)*	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (V)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18088	<i>Quercus robur</i>	-	0.056548	8.67	0.707778
18089	<i>Smilax aspera</i>	-	0.056560	8.06	0.707619
18090	<i>Rosaceae</i>	-	0.056564	8.14	0.707744
18091	<i>Trifolium</i>	-	0.056566	8.94	0.708229
18092	<i>Poaceae</i>	-	0.056545	8.05	0.708124
18189	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056552	7.22	0.707467
18190	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056552	9.11	0.707461

18191	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056587	6.84	0.707450
18192	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056564	9.06	0.707526
18193	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056567	9.00	0.707506
18234	Human (M2)	132.5	0.056546	5.78	0.709135
18235	Human (M2)	109.3	0.056680	7.88	0.709106
18236	Human (M2)	98.6	0.056559	7.85	0.709133
18237	Human (M2)	136.8	0.056654	6.91	0.708837
18238	Human (M2)	133.5	0.056576	7.86	0.708532
18239	Human (M2)	191.3	0.056569	7.04	0.708157
18240	Human (M2)	73.3	0.056558	6.59	0.709402
18241	Human (M2)	88.6	0.056541	8.21	0.709958
18242	Human (M2)	43	0.056704	8.56	0.711542
18243	Human (M2)	159.1	0.056481	7.37	0.708900
18244	Human (M2)	153.4	0.056547	6.99	0.708821
18245	Human (M2)	191.1	0.056555	8.05	0.707995
18246	Human (M2)	171.6	0.056553	6.93	0.711466
18247	Human (M2)	204.9	0.056551	7.24	0.708222
18248	Human (M2)	153.4	0.056552	7.54	0.711429
18249	Human (M2)	67.6	0.056541	4.20	0.708475
18250	Human (M2)	86.36	0.056611	8.23	0.708328
18251	Human (M2)	200.4	0.056548	7.62	0.708342
18252	Human (M2)	146.5	0.056563	6.17	0.708786
18253	Human (M2)	116.2	0.056622	10.23	0.709356
18254	Human (M2)	93.7	0.056566	6.16	0.712712
18255	Human (M2)	129.1	0.056561	6.63	0.708661
18256	Human (M2)	166.2	0.056512	6.89	0.709486
18257	Human (M2)	136.3	0.056547	8.07	0.708994

**Table 5.5: Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Pico Ramos. \*Concentrations have been carried out only in archaeological samples in order to check the possible diagenesis.**

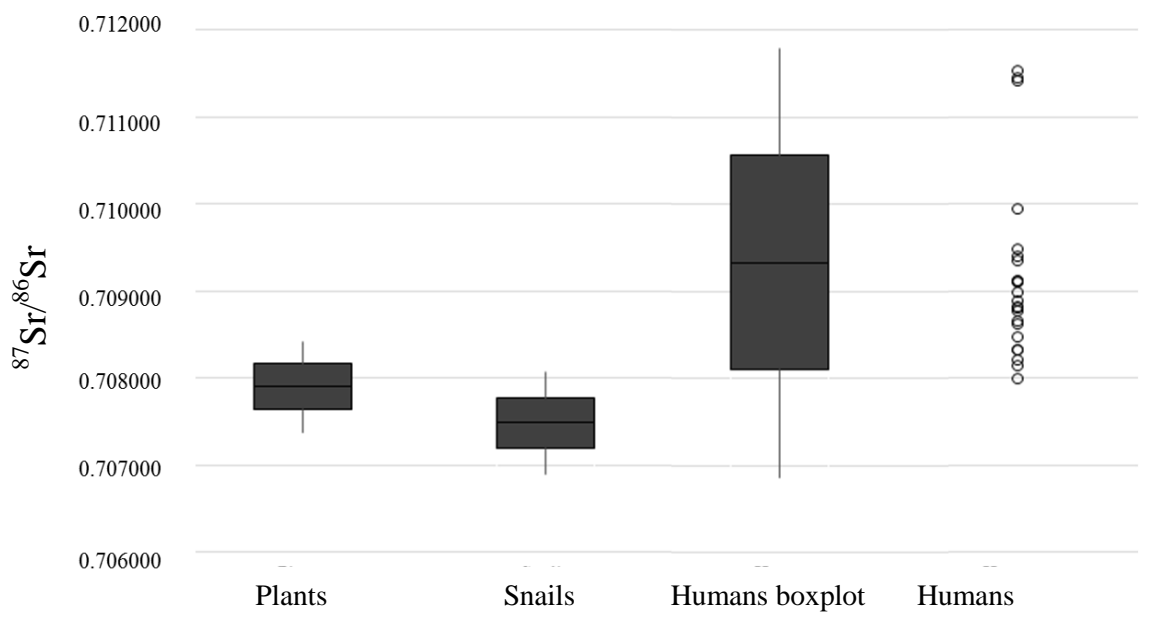


Figure 5.9: Plot of the strontium values of Pico Ramos archaeological site. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range.

### 5.2.5. Summary

Zooarchaeological studies suggest that at the onset of the Holocene the exploitation of estuarine and marine resources was important, as there is evidence of the presence of shell middens amongst burials in the region (Arias et al., 2007), including the Level 4 of Pico Ramos. However the results here studied for the Chalcolithic individuals are indicative of a diet based mainly on the consumption of C<sub>3</sub> terrestrial resources (both plants and animals that consumed them) as can be observed by the trophic level occupied by humans in comparison with animals, both herbivores and omnivores (about 6 ‰ higher). There is no isotopic evidence for marine protein consumption; however, and bearing in mind the location of the site (near to both coastal and estuarine ecosystems), this apparent non-aquatic dietary pattern should be further studied.

Besides the carbon and nitrogen isotope ratio results, the <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr results carried out on individuals from Pico Ramos are also noteworthy, because of the large proportion of the individuals analysed that report non-local values. Compared to the bioavailable strontium baseline of the immediate surroundings of the site, as well as to the mostly Cretaceous and Cenozoic geological in the surrounding area, the non-autochthonous <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr values from Pico Ramos that are higher than 0.710 can be maybe associated to Triassic deposits bioavailable strontium values (Villalba-Mouco pers. com.).

### 5.3. Santimamiñe

In this section we will explain the information about the archaeological site itself and, then, the selected materials and their results, followed by a little summary with a brief discussion of the obtained data.

#### 5.3.1. Site information

The cave of Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia) is in the Urdaibai valley, on the South side of Ereñozar Mountain. It lays on an Albian-Aptian limestone formation, at 137 m.a.s.l. The cave, which faces to the South-Southeast, has a large entrance hall reached by direct sunlight (Fig. 5.10). It is located within a landscape possessing a wide range of ecosystems, such as valleys, steep rocky areas, rivers and estuaries. Even the coast, with its numerous biotic and abiotic resources, is easily reachable at 6000 m from the site. The site is on a crag at low altitude, close to the Olalde spring, and with access to a variety of faunal resources, such as *Capreolus capreolus*, *Cervus elaphus* and *Sus scrofa*, but especially *Capra pyrenaica*.

The discovery of the cave was reported by J.M. Barandiaran in 1916, when rock art was found. The *Comisión de Monumentos de Vizcaya* took over, and the cave was finally visited by H. Breuil in 1917. In 1918, J.M. Barandiaran identified prehistoric remains in the cave, as E. Eguren had done previously, and began an excavation that took place in two stages. The first phase (1918-1926) was under the supervision of T. Aranzadi, J.M.

Barandiaran and E. Eguren (Aranzadi et al., 1931), while only J.M. Barandiaran was in charge of the second phase (1960-1962) with the sole aim of restoring and studying a section that was in danger of collapsing. More recently J.C. López-Quintana has carried out a new series of excavations (López-Quintana and Guenaga, 2014). During the first excavation, a depth of over three metres was reached in the cave entrance, and a stratigraphic sequence covering from the Aurignacian to the Roman Age was identified.

Although the sequence consists of ten archaeological levels (Fig. 5.11) and a basal level, which correspondence among the layers in each campaign is shown in the Figure 5.12, they will be explained only those levels that are related to our work:

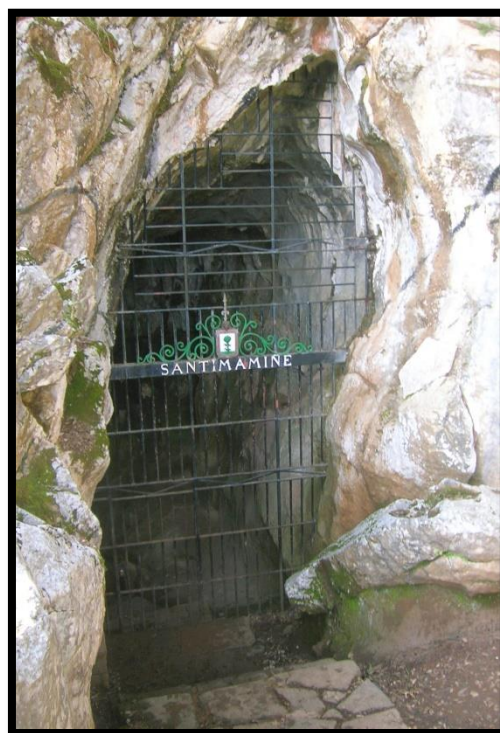


Figure 5.10: The actual entrance to Santimamiñe cave.

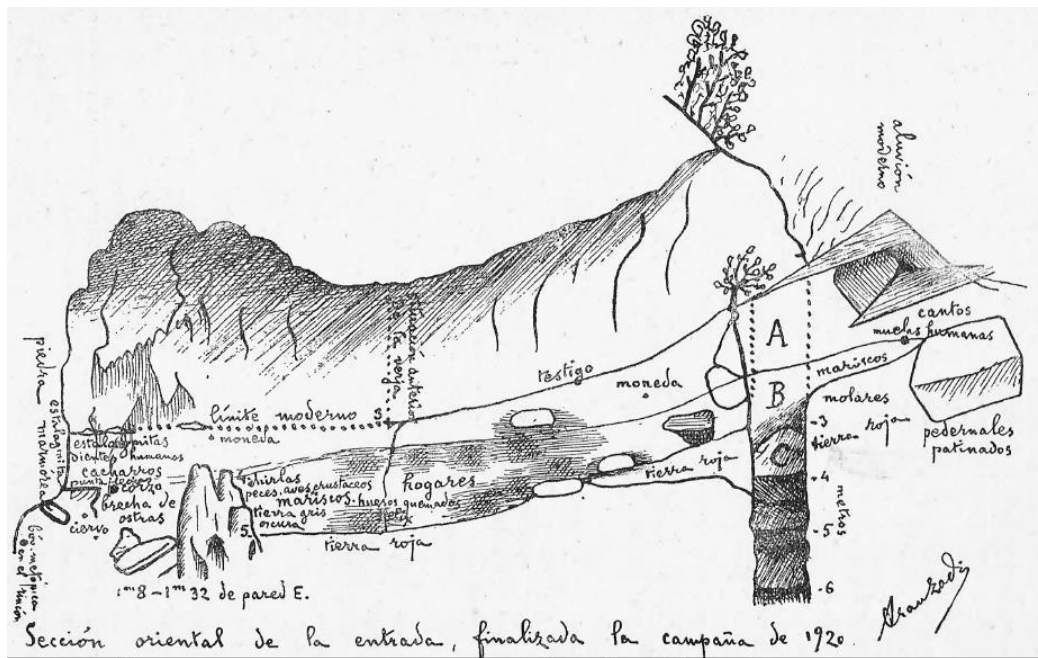


Figure 5.11: Stratigraphic profile of the eastern entrance section of Santimamiñe cave, 1920 original picture (Aranzadi et al., 1931).

- Level II: Together with Level I, it is part of stratum A from old records. It is formed by sedimentological reddish sands, with an average depth in the vestibule of 1.5-2 m as a result of rainwater carried from the outside. In the review of 1976, Barandiaran subdivides Level II into two layers. The IIa (20 cm) constituted of loose sediment with several fireplaces, attributed to the Bronze Age. The IIb (28 cm) with hard clay sediment on the SE side of the vestibule and loose with limestone boulders in the remaining zone. It belongs to the Chalcolithic and includes several fireplaces and two copper objects.
- Level III: average thickness of 55 cm, it is part of the same shell-midden that Level IV, within the upper section of the stratum B. It was defined by its excavators as a level of no sediment, but almost exclusively of seafood, mainly oysters and clams (Aranzadi et al., 1931). In the recapitulation of 1976, it was described within a matrix of clay reddish at the beginning of the vestibule, with abundant fireplace and human bones scattered by all the shell-midden.
- Level IV: it has a depth average of ca. 50-60 cm, occupying the lower part of B stratum, within a shell-midden basically composed of oysters, which are 76 % of the total of molluscs. This level without ceramic is attributed to the Mesolithic (Barandiaran, 1962).

Referring to the analyses carried out in the site, there are several radiocarbon dates available. The results are shown in the Table 5.6 and Figure 5.13. It can be observed the diachronism, characteristic of the site, while the human remains selected come from the Levels II, III and IV as mentioned.

2004-2006 level	2004-2006 industrial complex	1961 level (15/16 bands)	1962 level (15/16 bands)
T1			
Lsm	Chalcolithic-Bronze Age	<b>II level</b> (B-F layers)	<b>III level</b> (I-V layers)
Slm	Neolithic	<b>III level</b> (G-H layers)	
T2			Stalagmite layer
[H-Sln]	Mesolithic	<b>IV level</b> (I layer)	
T3			
V-Arcp			
Arcp	Azilian	<b>V level</b> (J layer)	<b>V level</b> (VI upper layer)
T4			
SlnC	Upper Magdalenian	<b>VI level</b> (K-M layer)	<b>VIII level</b> (VI lower layer)
V-Almp			<b>Sterile</b> (VII layer)
Almp	Upper-Middle Magdalenian	<b>VII level</b> (N layer) <b>VIII level</b> (Ñ-Q layer)	
T5			
Balm	Sterile		
Csn-Camr	Lower-Middle Magdalenian	<b>IX level</b> (S layer)	<b>IX level</b> (VIII layer)
Lsr-Ap	Flood complex- Sterile		<b>X level base</b>
Arp-Sa			
Lrg			
Avp-Sj			
Arg-o	Palaeontological level		
Arp	Sterile		
Arb-o	Palaeontological level		
Lsm-Sa	Sterile		
<b>STALAGMITE BASE FLOOR</b>			

Figure 5.12: Correspondence among layers of Santimamiñe from different campaigns (modified from López-Quintana and Guenaga, 2011).



Level	Dating reference	Sampling material	C <sup>14</sup> BP	C <sup>14</sup> calBP
II (15I square)	Beta-307668	Tooth	1740±30	1653±42
II (7J square)	Beta-307664	Tooth	3370±30	3624±40
II (Lsm limit)	Beta-240896	Bone	3710±40	4062±62
III (16G square)	Beta-307666	Tooth	3130±30	3362±25
III (11N square)	Beta-307667	Tooth	3370±30	3624±40
III (limit Slm)	Beta-240897	Charcoal	5010±40	5773±83
III (limit Slm)	Beta-240898	Charcoal	5450±50	6254±39
IV (H-Sln)	Beta-307665	Tooth	6130±40	7050±81
IV (H-Sln)	Beta-240899	Charcoal	7580±50	8391±28
V (Arcp)	Beta-240900	Bone	10100±60	11689±207
V (Arcp)	Beta-240901	Bone	10060±60	11608±183
VI/VIII (Slnc)	Beta-240902	Bone	12790±70	15263±269
VII/VIII (Almp)	Beta-240903	Bone	12250±70	14333±276
IX (Csn-Camr)	Beta-240904	Bone	14670±80	17993±377
IX (Csn-Camr)	Beta-240905	Bone	14650±80	17974±381

Table 5.6: Radiocarbon dates from Santimamiñe (López Quintana and Guenaga, 2011; López-Quintana et al., 2015).

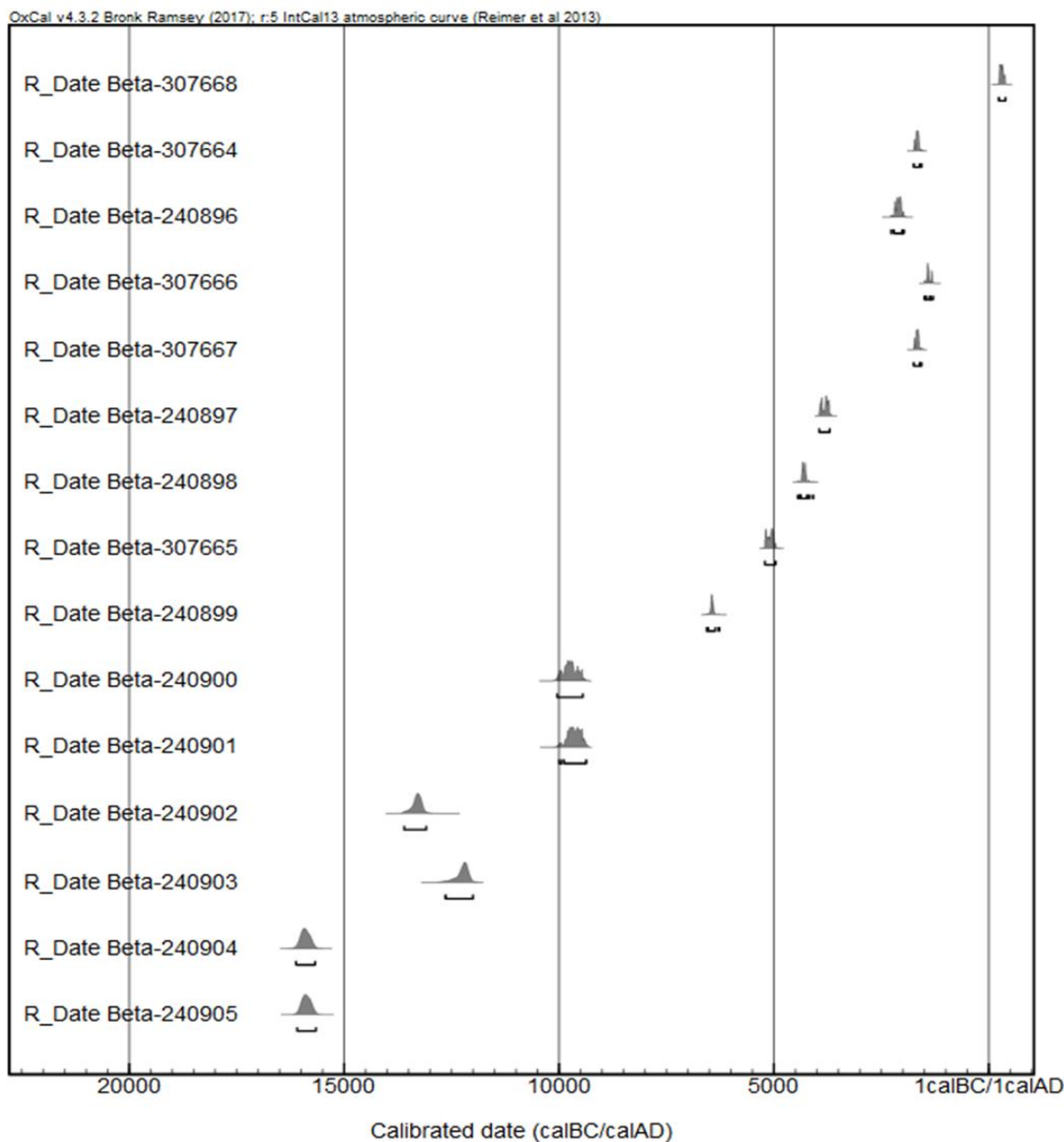


Figure 5.13: Radiocarbon dates from Santimamiñe. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with  $2\sigma$  (95.4% probability).

The human and faunal remains studied here are from the first excavations, and come from Levels II (Chalcolithic-Bronze Age), III (Late Neolithic) and IV (Mesolithic). Although a total of 248 human remains have been studied from the old anthropological collections (161, 50 and 18 remains for each level respectively), according to the team of excavators and archaeologists, all the human remains come from levels with pottery, which implies that the remains found in the oldest levels had filtered down into them. The only exceptions would be the mandibles found inside the Mesolithic shell-midden (Aranzadi et al., 1931), directly dated to the Mesolithic (López-Quintana et al., 2015). The anthropological study carried out at Santimamiñe determined a MNI of eight, taking into account the materials of both antique and recent campaigns: two infantiles

(one ca. 6 years old and another ca. 10 years old), four young adults (one female, younger than 25 years of age, and three males between 21-35 years old), and two mature adults established through anthropologic and genetic analysis (López-Quintana et al., 2015).

Two dental pieces from the recent excavations have been analysed for DNA, these belonged to a mandible, retaining eight mandibular teeth and were dated to  $4062 \pm 62$  calBP using  $C^{14}$ ; therefore, it is related to the end of the Chalcolithic period and the beginning of the Bronze Age. The results indicate that this individual harboured the mitochondrial lineage T<sub>2</sub>b. Additionally, the newest mtDNA analyses show an infantile U<sub>5</sub>b, four male young adults U<sub>5</sub>a<sub>2</sub>a, Ro, U<sub>3</sub>a, H (H<sub>1</sub>) and two male mature adults T<sub>2</sub>b and Ro. This study highlighted the genetic variability of the Santimamiñe human remains, all of them characteristic of Europe, as well as an absence of familiar relations from maternal lineage (López-Quintana et al., 2015; Palencia, 2015).

Faunal skeletal elements have also been found at the site in the same levels as human remains, mainly wild ungulates (*Cervus elaphus* and *Capra pyrenaica*) together with cattle (*Bos taurus*), ovicaprids (*Ovis aries/Capra hircus*) and swine (*Sus* sp.). It is remarkable that fishing activity appears before the Azilian, with the frequent presence of *Salmo trutta trutta*, pointing to an occupation of the settlement throughout the whole year. There are also some remains of *Merluccius merluccius* from the Neolithic onwards, while specimens are very scarce, it emphasizes the relative abundance of marine species (Roselló and Morales, 2011). It is noteworthy the exploitation of molluscs, especially during the Mesolithic, when *Ostrea edulis* and *Scrobicularia plana* were predominant, while during the Neolithic appears *Ruditapes decussatus* too (Gutiérrez, 2011). Additionally, during the Holocene it seems that the human presence is sporadic, with an economy based on the production of the three typical domesticated species: bovine, ovicaprine and porcine.

Due to the high number of lithic remains found in Santimamiñe along all the campaigns, it is impossible to carry out a thorough review of them (for more details consult Aranzadi and Barandiaran, 1935a). To summarize, it is a site that stands out for the multitude of lithic remains along its entire sequence, which turns it into a very rich deposit related to the material culture. Additionally, as mentioned by Aranzadi and Barandiaran (1935a), it is a fact of the greatest importance that many of the elements of the stone industry are perpetuated from the Aurignacian until the Eneolithic. Almost all instruments and weapons that make up this industry are flint, which were scattered throughout the site, and were manufactured in the same cave judging by the amount of chips that were found everywhere. There are retouched blades varied in shapes and sizes, scarce microlites, abundant scrapers, and numerous engravers, sheets and tips of low curved back, as well as blades carved in chisel or scraper and perforators.

Even if the presence of molluscs for edible reasons has been previously explained, it has to be mentioned that perforated and used shells were recorded too. The ornaments found in Magdalenian levels belong to different species, such as *Littorina littorea* or *Nucella*

*lapillus*. The case of used shells (*Ostrea edulis* and *Ruditapes decussatus*, among others) from Neolithic levels as tools is very novel, because they represent the first evidence of this tool type in the region (Gutiérrez et al., 2011).

The palynological study of the cave of Santimamiñe provides an overview of the evolution of the vegetal landscape from 20000 BP. The pollen and sedimentary hiatuses reduce the information to three episodes of the Late Glacial stadial. No results have been provided about climatic periods that define the GI-1. Holocene record (Neolithic-Chalcolithic) is characterised by an increase in indeterminable pollen, consequence of the quantity of micro charcoal remains. The first two samples of Level III are characterised by an increase in the arboreal pollen of *Betula* during the second half of the third millennium BC, which was replaced by *Corylus* and *Quercus robur* sp. afterwards. Referring to herbaceous pollen, the main taxon is *Gramineae*, together with *Filicopsida* (Iriarte-Chiapusso, 2011).

Although there is no relation with the aim of this work, it is necessary to mention the importance of the paintings found in the cave. As mentioned before, the Santimamiñe cave painting sanctuary was discovered in 1916 by a group of youths; one year later, H. Breuil confirmed the paintings and proposed a chronology dating to the Magdalenian period, and he even located new figures. The figures are spread over three areas inside the cave: the room leading to the paintings chamber, the sanctuary and the new paintings room. There are almost one hundred depictions in total, drawn with charcoal and/or engraved on the rock, attributed to the middle stages of the Magdalenian period, with an approximate dating of between 14500 and 12000 years. Santimamiñe's cave art consists of thirty-two bison, seven goats, six horses, one bear, one deer and several incomplete images (González-Sainz et al., 2003).

### 5.3.2. Selected materials

The human remains found in Santimamiñe were dispersed and incomplete, with hardly any anatomical connections (Aranzadi et al., 1931). This study aimed to examine the human remains (MNI=8) found, as explained before: two infantile, four young adults and two mature adults. The selected remains sampled for this study (Table 5.7) are from Level IV (molars associated to lower mandibles and cranial fragments), Level III (premolar from a complete skull and a lower mandible attributed to a young adult male individual) and Level II (molar associated to cranial fragments and a molar with alveolus from a young male adult).

The archaeozoological material of Santimamiñe consists of a variety of species from different levels that were sampled in order to determine the isotopic trophic level background from each time period studied. Sampled specimens include *Cervus elaphus* (Levels III and IV), *Ovis aries/Capra hircus* (Levels II, III), *Capra pyrenaica* (Levels II, III and IV) and *Sus scrofa* (Level IV).

Bone sample (S-UCT)	Specie	Corresponding enamel sample (S-UCT)	Archaeological reference	Sex/age
18458	Human (Level III)	18264	S.9N.III.11.1	Undetermined
18459	Human (Level IV)	18259	S.12N.IV.11.3	Young adult. Male
18460	Human (Level IIb)	18260	S.15G.700.11.2	Undetermined
18461	Human (Level IIa)	18261	S.15I.II.11.11	Young adult. Male
18462	Human (Level III)	18262	S.16G.720	Young adult. Male
18463	Human (Level IV)	18263	S.16H.721.11.3	Undetermined
18464	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i> (Level III)	-	S.3A.III.12.329	-
18465	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i> (Level III)	-	S.6G.IV.12.304	-
18466	<i>Capra Pyrenaica</i> (Level III)	-	S.7K.III.12.336	-
18467	<i>Capra Pyrenaica</i> (Level IV)	-	S.9I.IV.12.350	-
18468	<i>Cervus elaphus</i> (Level III)	-	S.11K.14.A65.1 2.3101	-
18469	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i> (Level II)	-	S.14.I-II-12	-
18470	<i>Sus scrofa</i> (Level IV)	-	S.IV.12.612	-
18471	<i>Cervus elaphus</i> (Level IV)	-	S.IV.A65.12.20 34	-

Table 5.7: Santimamiñe samples summary.

### 5.3.3. Carbon and nitrogen results

The yield of the >30kDa collagen fraction was enough for analysis in duplicate of all samples (Table 5.8). Almost all results met the published quality controls: %C >30, %N >10 and C:N elemental ratio between 2.9 and 3.6 (Ambrose, 1993; Van Klinken, 1999). The only exception was the individual S-UCT 18458 from Level III for which, although the elemental ratio was correct, the percentages of C and N were lower than expected; however, taking into account that the rest of the quality standards are acceptable (see 4.1.4 *Quality standards*), it will be taken into consideration for the discussion.

Bone sample (S-UCT)	Specie	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ )‰	%C ( $\bar{x}$ )	%N ( $\bar{x}$ )	C:N ( $\bar{x}$ )	% Coll
18458	Human (Level III)	-21.1	9.1	23.1	7.7	3.5	0.4
18459	Human (Level IV)	-18.6	7.9	42.5	15.4	3.2	3.3
18460	Human (Level IIb)	-20.7	9.2	38.5	13.5	3.3	5.1
18461	Human (Level IIa)	-17.8	11.1	41.8	14.6	3.3	3.4
18462	Human (Level III)	-21.3	8.6	41	14.4	3.3	2.1
18463	Human (Level IV)	-20.6	9.3	36.4	12.8	3.3	1
18464	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i> (Level III)	-20.6	3.3	38	12.9	3.4	0.5
18465	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i> (Level III)	-21.4	5.8	43.4	15.2	3.3	5.3
18466	<i>Capra Pyrenaica</i> (Level III)	-20.1	2.7	39.2	14	3.3	1
18467	<i>Capra Pyrenaica</i> (Level IV)	-20.1	2.6	40	14.3	3.3	1.6
18468	<i>Cervus elaphus</i> (Level III)	-21.6	2.3	41.5	15	3.2	3.5

18469	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i> (Level II)	-19.9	3.2	36.5	13	3.3	1.4
18470	<i>Sus scrofa</i> (Level IV)	-20.2	3.9	39	14	3.3	1.6
18471	<i>Cervus elaphus</i> (Level IV)	-21.1	2.7	41.2	14.4	3.3	0.8

**Table 5.8: Carbon and nitrogen isotopes results of Santimamiñe.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ mean values and collagen quality parameters (%C, %N and C:N) of the two measures analysed for each sample. [To check original data of Run A and B see Appendix 1].**

All the faunal remains analysed for Santimamiñe were herbivores, except for one *Sus scrofa* (omnivore). The animal isotope mean values are  $\delta^{13}\text{C}$   $-20.6 \pm 0.7$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min: -21.6 ‰, max: -19.9 ‰) and  $\delta^{15}\text{N}$   $3.3 \pm 1.1$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min: 2.3 ‰, max: 5.8 ‰), showing typical values of a C<sub>3</sub> type terrestrial ecosystem (DeNiro and Epstein, 1978; Schwarcz and Schoeninger, 1991). The human remains gave a mean of  $\delta^{13}\text{C}$  of  $-19.8 \pm 1.5$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min: -21.3 ‰, max: -17.8 ‰) and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $9.2 \pm 1.2$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min: 7.9 ‰, max: 11.1 ‰), data that matches with a consumption within the ecosystem described above according to the results of faunal analysis. Two individuals displayed significantly higher  $\delta^{13}\text{C}$  values (-17.8 ‰ and -18.6 ‰) than the average, while the  $\delta^{15}\text{N}$  values of these two individuals are more disparate (11.1 ‰ and 7.9 ‰ respectively).

The carbon isotope data from the first group are related to a diet based mainly on terrestrial C<sub>3</sub> resources (Fig. 5.14), while the nitrogen isotope values indicate that humans were on a higher trophic level than the fauna (6 ‰ greater than faunal remains). However, the latter two individuals differ. In one of them (S-UCT 18459, 7050 $\pm$ 81 calBP) the  $\delta^{15}\text{N}$  value is 7.9 ‰, which is only 4‰ above the mean herbivore value, while the  $\delta^{13}\text{C}$  value is of -18.6 ‰, and could suggest a slight differential consumption of protein compared to the remaining population. The second disparate value (S-UCT 18461, 4062 $\pm$ 62 calBP) consists of a  $\delta^{15}\text{N}$  value of 11.1 ‰ (10 ‰ higher than the herbivore baseline), and a high  $\delta^{13}\text{C}$  value (-17.8 ‰). Finally, it is necessary to point out the results of the two samples from Level IV (Mesolithic), with  $\delta^{13}\text{C}$  values of -18.6 ‰ and -20.6 ‰, while  $\delta^{15}\text{N}$  values are 7.9 ‰ and 9.3 ‰ respectively.

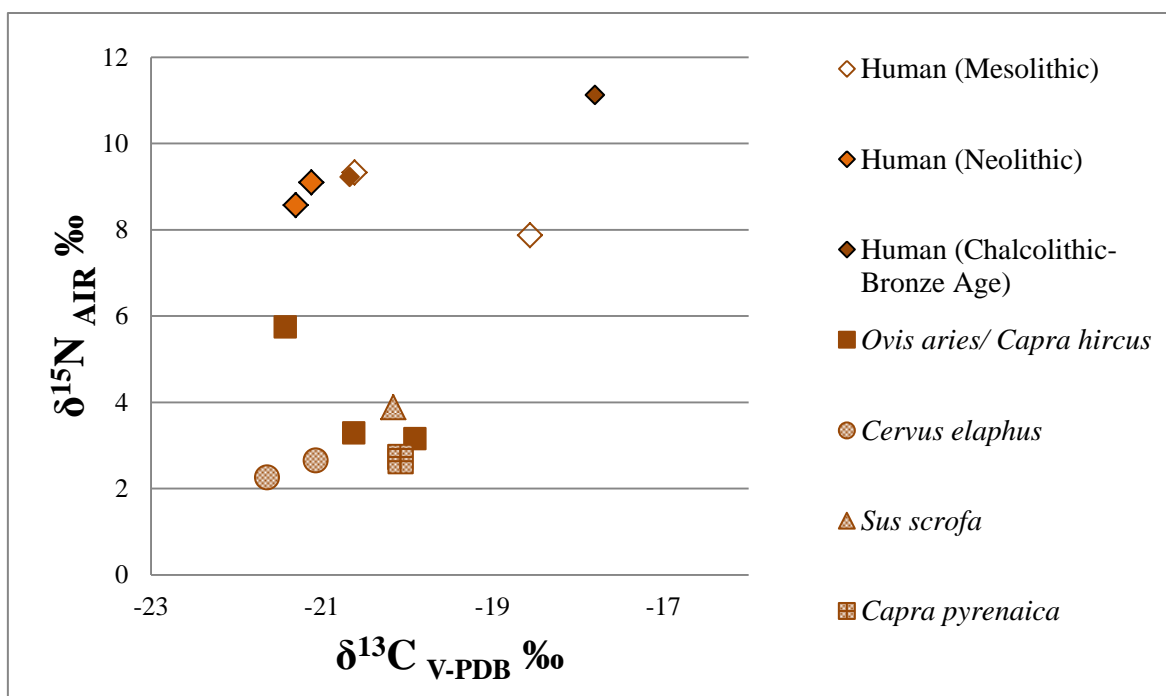


Figure 5.14: Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Santimamiñe.

### 5.3.4. Strontium results

The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  results of the modern plant and snail shell samples show bioavailable values of  $0.70872 \pm 0.00024$  ( $1\sigma$ ). The strontium isotope results of the enamel human remains ( $n=7$ ) differ considerably from the range established as local. The mean value of all the results is of  $0.71040 \pm 0.00095$  ( $1\sigma$ ); two of the samples (S-UCT 18262 and S-UCT 18264) are particularly noteworthy as the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values are above 0.71100 (Table 5.9, Fig. 5.15). As in the case of Pico Ramos, we can determine the local range with the value of the human results, meaning, once again, fewer individuals with non-local values, although this method will not be used for further discussion.

S-UCT	Specie	Sr Concentration (ppm)*	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr(V)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18093	<i>Quercus ilex</i>	-	0.056540	7.31	0.709137
18094	<i>Hedera helix</i>	-	0.056565	8.83	0.708833
18095	<i>Smilax aspera</i>	-	0.056586	7.37	0.708901
18096	<i>Fragaria</i>	-	0.056545	8.20	0.708968
18097	<i>Poaceae</i>	-	0.056534	7.52	0.708629
18194	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056562	7.05	0.708741
18195	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056643	8.04	0.708578
18196	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056537	10.13	0.708543



18197	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056518	8.72	0.708332
18198	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056575	8.25	0.708516
18259	Human (M2) (Level IV)	127.5	0.056534	7.84	0.710377
18260	Human (M2) (Level II)	48.67	0.056646	7.94	0.710999
18261	Human (M2) (Level II)	53.03	0.056573	7.19	0.709064
18262	Human (M2) (Level III)	67.77	0.056566	5.81	0.711042
18263	Human (M2) (Level IV)	71.57	0.056524	7.38	0.709462
18264	Human (M2) (Level III)	101.4	0.056517	8.28	0.711458

Table 5.9: Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Santimamiñe. \*Concentrations have been carried out only in archaeological samples in order to check the possible diagenesis.

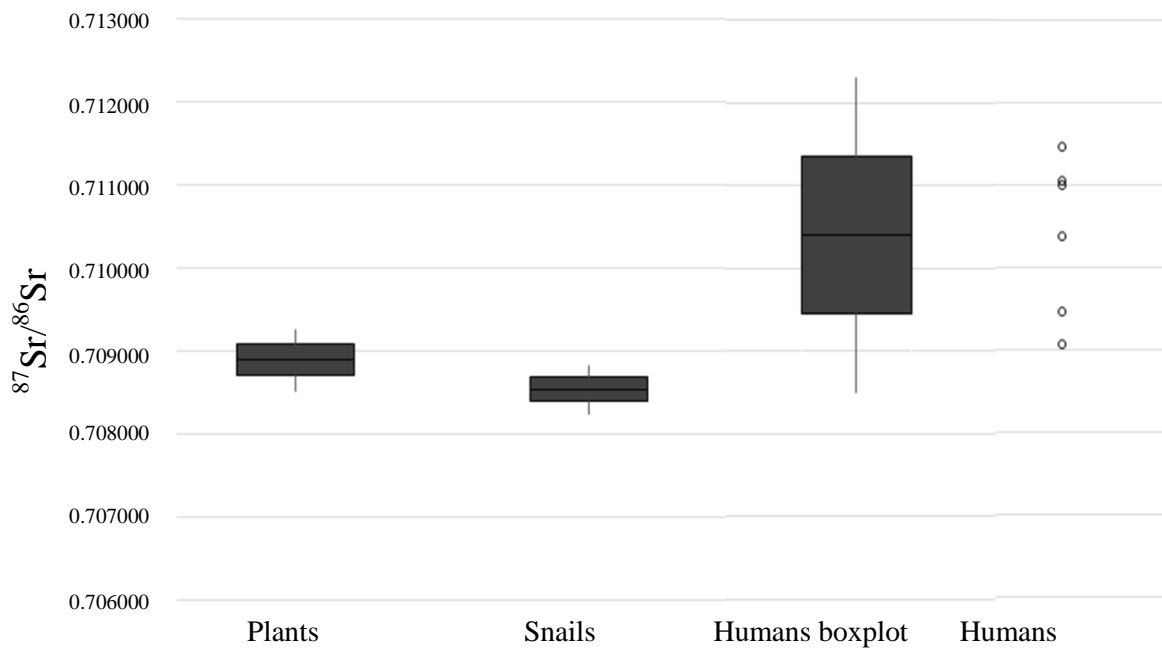


Figure 5.15: Plot of the strontium values of Santimamiñe archaeological site. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range.

### 5.3.5. Summary

Even if fish samples and large amounts of molluscs were recovered during the last excavations of post Neolithic chronologies (Gutiérrez et al., 2011), at the moment, stable isotope analyses clearly show that most of the analysed individuals' diet was based on C<sub>3</sub> terrestrial resources, while the nitrogen isotope values indicate that humans were on higher trophic level than the fauna ( $\delta^{15}\text{N}$  6 ‰ greater than faunal remains on average), including >5 ‰ higher than the *Sus scrofa* omnivore. The exception is a sample of *Ovis aries/Capra hircus* with an unusual nitrogen value ( $\delta^{15}\text{N}$  5.8 ‰), probably corresponding to an infantile. Only one human sample (S-UCT 18461), dating to the Bronze Age, shows potential marine protein consumption, although the high values could be also a consequence of C<sub>4</sub> plants consumption and manured resources. Regarding the Mesolithic individuals (S-UCT 18459 and S-UCT 18463), it is a period traditionally associated to high marine protein consumption elsewhere in the Atlantic European region; on contrary, in the case of the individuals of Santimamiñe they show no clear isotopic signature of marine protein consumption. Even so, there are large differences observed in  $\delta^{13}\text{C}$  on the two Mesolithic individuals sampled (ca. 2 ‰) that cannot be attributed to the introduction of marine protein consumption, as the individual with higher  $\delta^{13}\text{C}$  values has also lower  $\delta^{15}\text{N}$  values (ca. 1.5 ‰ lower). Perhaps this latter individual was consuming a higher proportion of plant foods and/or fluvial resources.

Referring to  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  results, compared to the bioavailable strontium baseline of the immediate surroundings of the site, the non-autochthonous  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values that are higher than 0.710 (S-UCT 18259, 18260, 18262, 18264) could be associated to Triassic deposits. The closest Triassic deposits, which show bioavailable Sr values (0.711-0.712) compatible to those from the non-local individuals of these two sites, are at the Pyrenees of Navarre.

## 5.4. Karea

In this section we will explain the information about the archaeological site itself and, then, the selected materials and their results, followed by a little summary with a brief discussion of the data.

### 5.4.1. Site information

The archaeological site of Karea is located in the northern part of the Kareaga Mountain in the Iturriotz neighbourhood (Aia, Gipuzkoa). The cave, at 545 m.a.s.l., is on a Jurassic substrate, specifically the Lias Dogger facie. The site is composed by the two contiguous caves of Karea-A and Karea-B.

In the present day the area is characterised by the presence of countless species of both fauna and flora, some of them of special interest for biodiversity. At the top of the mountains appear *Falco peregrinus*, *Gyps fulvus* and *Circus pygargus*. In beneath areas we find meadows and mixed forest consisting of *Ulmus*, *Acer*, *Tilia*, *Fraxinus* and *Corylus*. Many species of bats live in the numerous caves and chasms in the surroundings. Referring to the human actions in the zone, the agriculture area has been gradually decreasing, it seems that this tendency will continue, especially inland where the relief is more sheer (LKS, 2011).



Figure 5.16: Karea burial space (original picture taken by A. Aranburu).

In this context, Karea was discovered in 2007 by the Speleology group of *Antxieta Jakintza Taldea*, being the first archaeological intervention in 2008 by the mentioned *Antxieta Jakintza Taldea* group and M.J. Iriarte-Chiapusso, who made a sampling at 5 m from the entrance. In this exploration appeared three archaeological levels with fragmented pottery and faunal remains; the exploration was finished when at 0.25 m of depth appeared the bedrock of the cave.

At 20 m from the entrance of the cave the researchers located the access (a narrow chasm of approximately 5 m of depth) to a second cavity. This second cave, denominated Karea-B (Fig. 5.16), was wider than the previous one and, even if nowadays there is not direct connection between them, their location and the presence of landslides make the researchers and geologists consider that they were connected in the past. It is in this second cavity where human and faunal remains appeared, as well as pottery fragments. In 2009 a new sampling of 1 m<sup>2</sup> denominated Karea-B-1 was carried

out, showing 13 archaeological levels. A second sampling in the entrance of the cave, named Karea-B-2, was archaeologically sterile (Iriarte-Chiapusso, 2010). The excavations and the study of the site are still in process, and, in consequence, the information is scarce in some aspects. In the intervention carried out at Karea-B-1 the following 13 archaeological levels were found:

- 1-10 Levels: characterised by human and faunal bone remains, as well as some ceramic fragments.
- 10-13 Levels: remarkable the high concentration of charcoals.

Taking into account the scarcity of previous information, we have to take the obtained information with caution. In order to determine the chronology of the archaeological site it was analysed a human costal remain, which give a result of  $4686 \pm 96$  calBP as shown in Table 5.10 and Figure 5.17, and, therefore, it is determined as Chalcolithic individual.

Level	Dating reference	Sampling material	C <sup>14</sup> BP	C <sup>14</sup> calBP
Karea-B	OxA-33771	Bone	4125±35	4686±96

Table 5.10: Radiocarbon date from Karea (Aranburu et al., 2018).

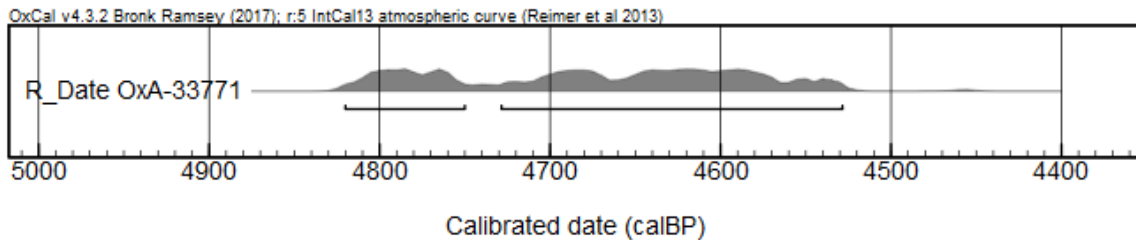


Figure 5.17: Radiocarbon date from Karea. The radiocarbon data was calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with  $2\sigma$  (95.4% probability).

In the first levels of Karea-A 70 human remains were identified, all of them probably belonging to an adult-young man of ca. 25-35 years. The remains correspond to the lower and upper limbs, vertebrae, cranial fragments, mandible and several teeth. To determine the sex of the buried individual, the characteristics of the mandible were taken into account, because there were no other diagnostic bones such as the pelvis. Taking into consideration the measurements of the limbs it was finally determined as a probably male. Referring to the age, the clavicles and the teeth wear were studied to conclude that it can be classified as an adult-young of ca. 25-35 years. Finally, the measure of the peroneus was used to determine a height of about 157-165 cm.

On the other hand, only two faunal taxa were found in the same levels of Karea-A: a bovid, identified by a mandible and an ovicaprid, determined by a femur, two humeri

and a metapodial (Aranburu et al., 2018). In Karea-A a total of 54 pottery manufactured fragments smaller than 4 cm were located, among them 52 have been identified as not uniform and two as possible bottom and edge. Referring to the baking and colour, there are two main groups: firstly, black coloured remains, indicative of a reductive backing and in which the plaster was smoothed, the mentioned bottom and edge have these characteristics; secondly, mixed composition, with reductive backing inside and oxidant outside. Additionally, two types of plasters were found, one composed by a black smooth plaster in the inside and with red coloration outside and, finally, a second one that have brown coloration outside, maybe corresponding to a slipware layer.

In the case of Karea-B, the ceramic fragments are less numerous than in Karea-A and correspond to two different recipients. The first one is determined by two remains, characterised by brown slipware layer and black coloration, representative of the previously mentioned reductive backing. It is remarkable that both pieces have an edge, which could be related to a firing pot. The second one is associated to two ceramic fragments, which show that the original container would be of large capacity. In relation to the plaster, a mixed composition can be seen: oxidant outside and reductive inside. In addition, in the outside it is remarkable the presence of plastic decoration and four furrows, or parallel stripes which surely would be carried out with the fingers, have been identified. On the inside, a thin layer of slipware with brown coloration is also detected.

Finally, they were recovered several anthracological remains, which increased until the Level 12. All the charcoals have been attributed to the same generous, *Quercus*, being not possible to specify. The presence of a unique genus, as well as the fact that they are a result of a punctual moment, does not allow giving details about ecology, because they were probably consequence of heating. Unfortunately, palynological studies have not been able to be carried out neither, due to the characteristics of the sediment of the site.

#### 5.4.2. Selected materials

For carbon and nitrogen isotope analyses a human rib sample of 500 mg was analysed, as well as a mandible fragment of the bovid. Additionally, approximately 25 mg of a M2 tooth was sampled from the human remains in order to analyse strontium isotopes (Table 5.11).

Bone sample (S-UCT)	Specie	Corresponding enamel sample (S-UCT)	Archaeological reference	Sex/age
18456	Human	18265	-	Young adult. Probably male.
18457	<i>Bos</i> sp.	-	-	-

Table 5.11: Karea samples summary.

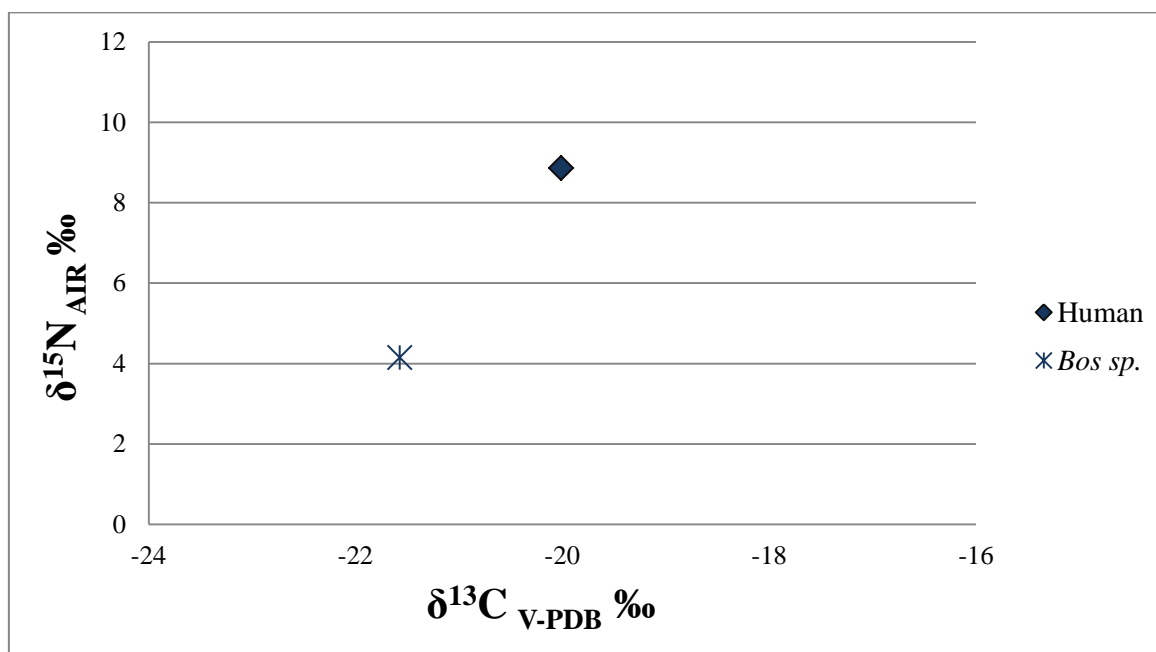
### 5.4.3. Carbon and nitrogen results

For the two samples, both the human and the faunal, there was enough collagen >30kDa fraction in order to analyse them twice (Table 5.12). All the results met the published quality control of %C >30, %N >10 and C:N elemental ratio between 2.9 and 3.6 (Ambrose, 1993; Van Klinken, 1999).

Bone sample (S-UCT) S- UCT	Specie	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ )‰	%C ( $\bar{x}$ )	%N ( $\bar{x}$ )	C:N	% Coll
18456	Human	-19.9	8.9	38.4	13.6	3.3	2
18457	<i>Bos</i> sp.	-21.6	4.1	35.3	12.5	3.3	2.7

**Table 5.12: Carbon and nitrogen isotopes results of Karea.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ mean values and collagen quality parameters (%C, %N and C:N) of the two measures analysed for each sample. [To check original data of Run A and B see Appendix 1].**

The unique faunal remain analysed give a  $\delta^{13}\text{C}$  value of -21.6 ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  of 4.1 ‰, which are usual for herbivorous samples of  $\text{C}_3$  terrestrial ecosystems (Van der Merwe and Vogel, 1978). Regarding the human sample, its values are the following:  $\delta^{13}\text{C}$  of -19.9 ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  of 8.9 ‰. This data, as well as those mentioned before for the bovid sample, are what can be expected for individual consuming mainly terrestrial  $\text{C}_3$  type resources (Fig. 5.18).



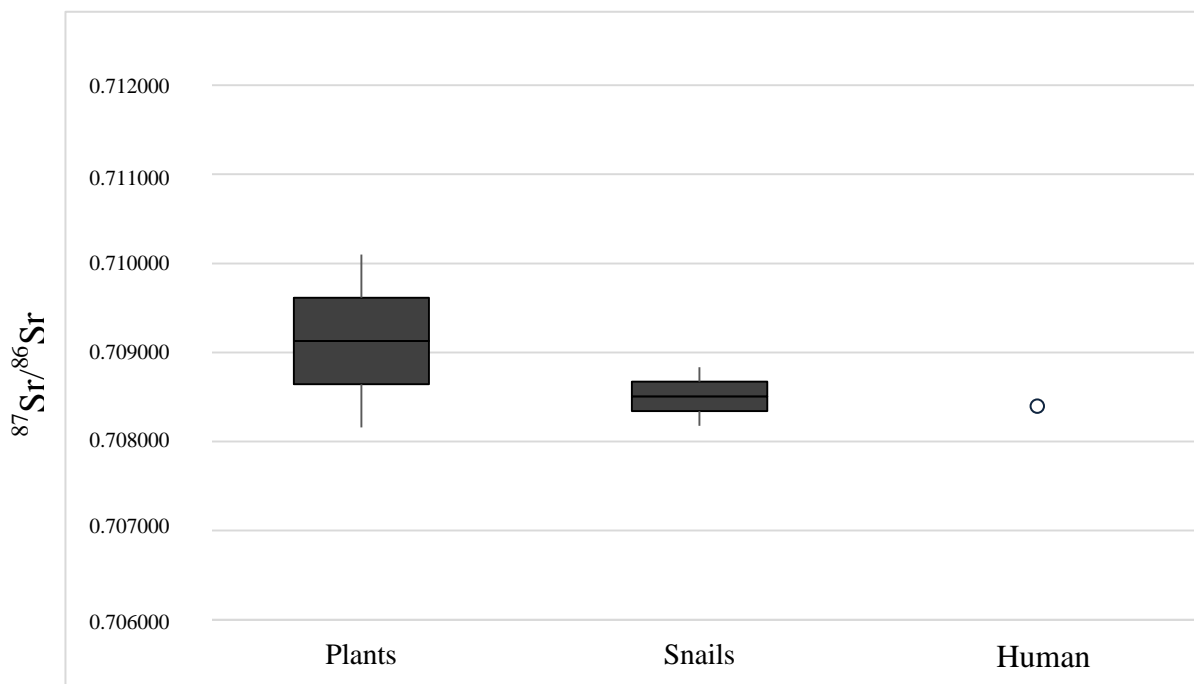
**Figure 5.18: Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Karea.**

#### 5.4.4. Strontium results

As mentioned before, Karea cave is located in a Jurassic substrate, the modern plants sampled (n=5) gave a mean of  $0.709130 \pm 0.000485$  ( $1\sigma$ ). On the other hand, the snail shells sampled (n=5) gave a mean of  $0.708506 \pm 0.000164$  ( $1\sigma$ ). So, the bioavailable local value is  $0.708818 \pm 0.000474$  ( $1\sigma$ ) as shown in the table below. Referring to the strontium results for the human enamel, it falls inside the bioavailable range for the immediate surrounding of the site (Table 5.13, Fig. 5.19).

S-UCT	Specie	Sr Concentration (ppm)*	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (V)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18103	<i>Smilax aspera</i>	-	0.056574	7.91	0.708609
18104	<i>Hedera helix</i>	-	0.056545	7.79	0.708796
18105	<i>Cyatheales</i>	-	0.056542	7.08	0.708956
18106	<i>Rosaceae</i>	-	0.056308	5.56	0.709630
18107	<i>Poaceae</i>	-	0.056546	6.15	0.709657
18204	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056602	8.79	0.708452
18205	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056563	7.37	0.708281
18206	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056648	6.74	0.708542
18207	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056552	6.03	0.708520
18208	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056567	7.11	0.708737
18265	Human (M2)	73.77	0.056587	7.17	0.708398

**Table 5.13:** Results of strontium values of the modern samples and archaeological sample of Karea. \*Concentrations have been carried out only in archaeological sample in order to check the possible diagenesis.



**Figure 5.19:** Plot of the strontium values of Karea archaeological site. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range.

#### 5.4.5. Summary

As shown in the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  results section, the analysed individual of Karea shows a typical Chalcolithic dietary pattern, consisted of the consumption of  $\text{C}_3$  type terrestrial resources. Isotopically there is no trace of marine resources, and possibly neither freshwater resources, despite the proximity to the river resources of rivers Irueta and Bero, both tributaries of the San Pedro River which flows into the Oria. This does not mean that they do not consume aquatic resources, but that they did not in sufficient quantities to be reflected in bone collagen. In the case of nitrogen values, although there is only one faunal sample analysed, it shows clearly the human one trophic step above the analysed faunal remain (4.8 ‰ higher), as well as comparing with other herbivores of the region.

On the other hand, the results of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , show that the individual had probably a low mobility pattern, because of the complete match between the molar value and the bioavailable range; although possible mobility through the same geological Jurassic environment that the site is possible.



## 5.5. Marizulo

In this section we will explain the information about the archaeological site itself and, then, the selected materials and the results, followed by a little summary with a brief discussion of the data.

### 5.5.1. Site information

Marizulo archaeological site is a small cave located in the neighbourhood of Goiburu in Urnieta (Gipuzkoa) at 295 m.a.s.l. Its entrance is opened in the southern slope of the Adarra Mountain, close to Besabi at about 10 km from the coast, in a Permian-Triassic geological stratum. It is a small cave, of about 5 m in depth, with several very narrow entrances, so it seems like a group of small galleries or caves connected to each other. The entrance to the main gallery, where the archaeological deposit was located, is oriented to the SE (South East) and measures 2.5 m wide and 3.5 m high.

Nowadays, the surroundings of the site are characterised by the presence of *Quercus robur* and *Castanea sativa*, together with *Corylus avellana*, *Betula*, *Ilex aquifolium*, *Fraxinus*, *Ulmus* and *Acer*. After Upper Dryas, it is known that the deciduous forest extended quickly; the thermophilic leafy species were present along with the pine and the birch (*Betula*), while the mentioned oak (*Quercus robur*) became relevant from the beginning (Pérez-Obiol et al., 2010). Extrapolating what happens in close areas, it can be deduced that before the introduction of livestock, this zone was configured by oaks below 700 m; additionally, the presence of transhumance and husbandry was and still is important in the region.

In 1961, M. Laborde explored the cave collecting on the surface of the ground some flint flakes. In the same year J.M. Merino made a sampling of 30 cm depth in which some archaeological material was found. The excavation, directed by J.M. Barandiaran, began in 1962 and lasted until 1967. Three reports were published about these works: in 1965, 1966 and 1967. Then, Marizulo has been the subject in some partial works, including the synthesis about the Prehistory of the Basque Country (e.g., Altuna, 1967; Apellaniz, 1973; Basabe, 1971). Thus, J.M. Basabe published information about the human remains; I. Barandiaran revised its stratigraphy, focusing particularly on the bone industry; J. Altuna made it on fauna and J.M. Apellaniz on levels with ceramic industries.

In the mentioned report of 1967 the three cultural phases were defined, beginning with the Mesolithic. During this period Levels III and IV were formed, and over them the Level II was deposited. It is in the latter where grave goods appear and seem similar to those found in other Neolithic sites of the Basque Country. Finally, Level I was attributed to the Eneolithic, when it was used as burial cave together with the deposit of grave goods (the information related to the stratigraphy (Fig. 5.20) and the materials found is modified from Cava, 1978).

- Level I: it only appears with 25 cm of thickness in bands 3, 5 and 7, and of 80 cm in bands 9 and 11. Under a first layer of recent humus appear two layers: one light and another darker. It contains shellfish, deer, roe deer and wild boar bones, human bones and teeth, as well as some modern objects. The elements of material culture were the following: ceramics, ornaments, bone industry and lithic industry.
- Level II: it only appears with among 25 cm (bands 3 and 5) and 50 cm (bands 9 and 11). It contains more seafood than Level I and, in addition to *Helix nemoralis* shells, human and animal bones, together with bone and lithic industry.
- Level III: it only appears with a thickness of among 20 cm (bands 5 and 7) to 50 cm (in bands 3 and 5). It contains some seafood, numerous *Helix nemoralis* and animal bones. As in the previous level, bone and lithic industries appeared.
- Level IV: of 30 cm (it only appears in the bands 5 and 7). As in the previous case, it contains animal bones, some seafood and several *Helix nemoralis* shells, together with bone industry, lithic industry and retouched flint materials.

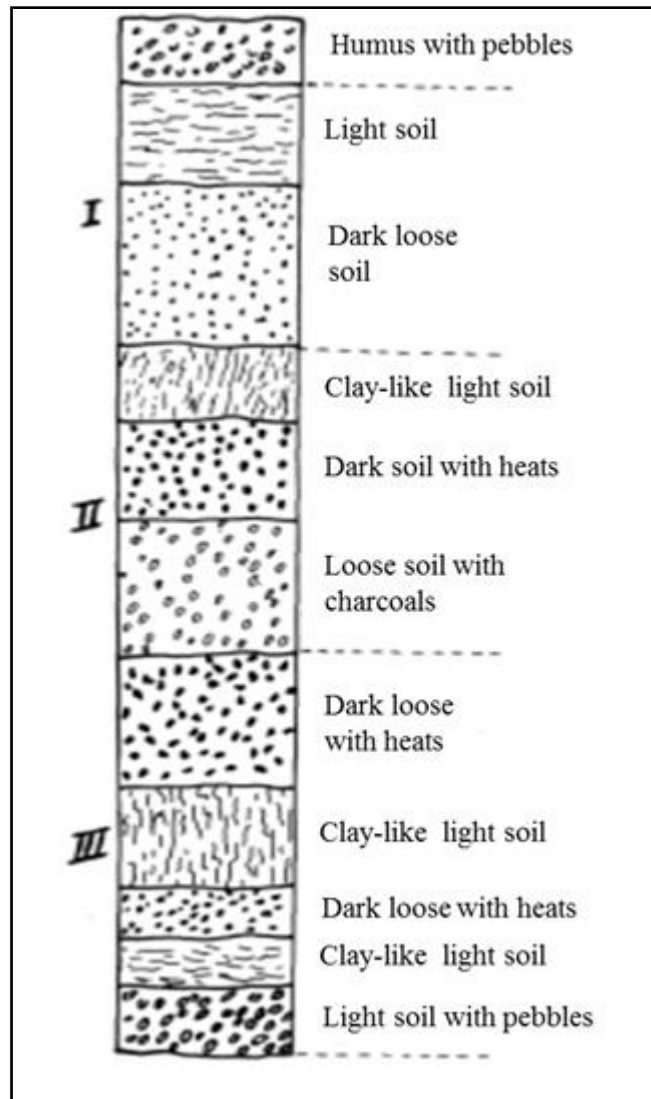


Figure 5.20: Stratigraphic section of 9A and 9B of Marizulo (modified from Cava, 1978).

The absence of pollen or micro mammal studies does not allow giving more information about the characteristics of the archaeological site or the environmental circumstances of the chronological period when the burial occurred. However, there is a direct dating of the burial shown in Table 5.14 (Fig. 5.21).

Level	Dating reference	Sampling material	C <sup>14</sup> BP	C <sup>14</sup> calBP
Level I (burial)	GrN-5992	Bone	5285±65	6079±90

Table 5.14: Radiocarbon date from Marizulo (Cava, 1978).

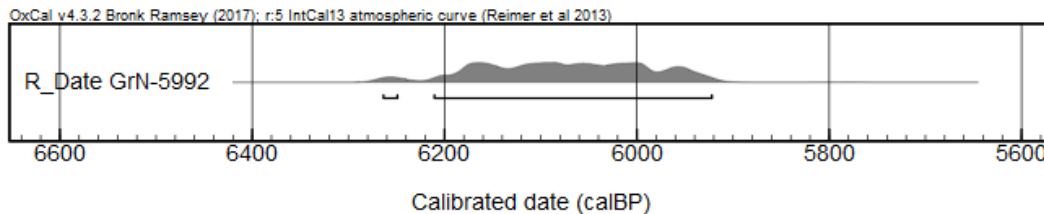


Figure 5.21: Radiocarbon date from Marizulo. The radiocarbon data was calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with 2 $\sigma$  (95.4 % probability).

Regarding the human remains even if the MNI is 5, we must make a distinction between them. We have, on the one hand, a MNI of 4, which were found in the most superficial layer of the deposit together with modern materials, altered and in very poor condition of preservation, in addition to the absence of radiocarbon dates for them. On the other hand, we find a Neolithic burial at the base of Level 1, correctly individualised and, in this case with direct dating of human remains. Such individualised remains belong to a subadult male of ca. 25 years (Basabe, 1971), associated with a dog and a lamb bones and surrounded by three big stones protecting him by way of burial (Fig. 5.22).

The materials of Marizulo are not especially abundant. However, there are enough remains to achieve relevant information about the site. Along with the previously mentioned remnants of a dog and a lamb, there are also a total of 977 classifiable bones. Some of them are very fragmented and burned, among which 869 were of wild animals and 108 of domesticated ones. Focusing on the wild ones, they are mainly consequence of human hunting (NR=792), such as *Cervus elaphus*, *Capreolus capreolus* and *Sus scrofa*. The remaining wild ones (NR=77) are of rodents, micro mammals or carnivores like *Meles meles*. The density of the wild herbivores decreased from the Mesolithic, which has to be interpreted as the consequence of the introduction of domestic animals (*Ovis aries/Capra hircus*). Finally, it is remarkable the presence of the mentioned *Canis familiaris*, which has not been interpreted as food, but as a human



Figure 5.22: Neolithic burial from Marizulo (modified from Laborde et al., 1967).

follow pet. The shells of molluscs, both terrestrial and marine, are very abundant, leaving aside Level I in which several shellfish shells and none of *Helix* appeared. It is remarkable that the first ones decrease from high to low levels (274 in Level II, 115 in the III and 141 in the IV), while the second increases considerably in the same way of the stratigraphy (79 in Level II, to 857 in the III and 306 in the IV).

Referring to the material culture, the appeared pottery was very fragmented, being impossible total reconstructions of the pots. It seems that they could be from a post Neolithic period (from Eneolithic to Final Bronze Age). The bone industry, taking into account the scarcity and roughness, points to the Mesolithic; the typology is not assorted and the most common are arrowheads of circular section. The lithic industry is represented by 77 remains: 26 from Level I, 26 from Level II, 13 from Level III and 7 from Level IV; the remaining 5 pieces have no label and therefore cannot be assigned to any level. Among all of them, we can highlight a total of 19 scrapers, 5 drills and 4 burins. The ornaments of Level I are typical of the Eneolithic, being in general more abundant those made from jet than from bone.

### 5.5.2. Selected Materials

A Neolithic burial at the base of Level I, individualised and dated, has been found in Marizulo. In this work we have focused only on this burial, sampling a human costal remain and the teeth M2 and M3 in order to establish a possible pattern of mobility throughout the life of the Neolithic individual.

Additionally, bone samples of the following species of fauna (n=7) were sampled: *Meles meles*, *Canis familiaris*, *Sus scrofa*, *Capreolus capreolus*, *Ovis Aries/Capra hircus*, *Rupicapra pyrenaica* and *Cervus elaphus* in order to be able to generate a comparative of feeding patterns among different species of carnivores, omnivores and herbivores, both domestic and wild (Table 5.15).

Bone sample (S-UCT)	Specie	Corresponding enamel sample (S-UCT)	Archaeological reference	Sex/Age
18633	Human	20258 and 18214	M.9B.30	Ca. 25 years. Male
18634	<i>Meles meles</i>	-	M.11B.15	-
18635	<i>Canis familiaris</i>	-	M.11D.80	-
18636	<i>Capreolus capreolus</i>	-	M.9B.55	-
18637	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i>	-	M.11C.55	-
18638	<i>Sus scrofa</i>	-	M.5B.70	-

18639	<i>Rupicapra</i>	-	M.11B.15	-
18640	<i>Cervus elaphus</i>	-	M.9B.60	-

Table 5.15: Marizulo samples summary.

### 5.5.3. Carbon and nitrogen results

The yield of the >30kDa collagen fraction was enough for analysis in duplicate of all samples (Table 5.16, Fig. 5.23). All results met the published quality controls: %C >30, %N >10 and C:N elemental ratio between 2.9 and 3.6 (Ambrose, 1993; Van Klinken, 1999).

Bone sample (S-UCT)	Specie	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ )‰	%C ( $\bar{x}$ )	%N ( $\bar{x}$ )	C:N ( $\bar{x}$ )	% Coll
18633	Human	-20.4	9	43.5	15.5	3.3	6.1
18634	<i>Meles meles</i>	-19.1	6.6	42.5	15.2	3.3	5.2
18635	<i>Canis familiaris</i>	-19.6	6.6	39.9	13.8	3.4	3.5
18636	<i>Capreolus capreolus</i>	-20.1	3.7	41.1	14.7	3.3	4.3
18637	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i>	-19.7	7.8	39.1	14.2	3.2	3.5
18638	<i>Sus scrofa</i>	-20.7	3.6	42	15.2	3.2	5.4
18639	<i>Rupicapra rupicapra</i>	-21.7	3.9	40.5	14.5	3.3	2.3
18640	<i>Cervus elaphus</i>	-20.2	9.6	42.1	15	3.3	5.1

Table 5.16: Carbon and nitrogen isotopes results of Marizulo.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ mean values and collagen quality parameters (%C, %N and C:N) of the two measures analysed for each sample. [To check original data of Run A and B see Appendix 1].

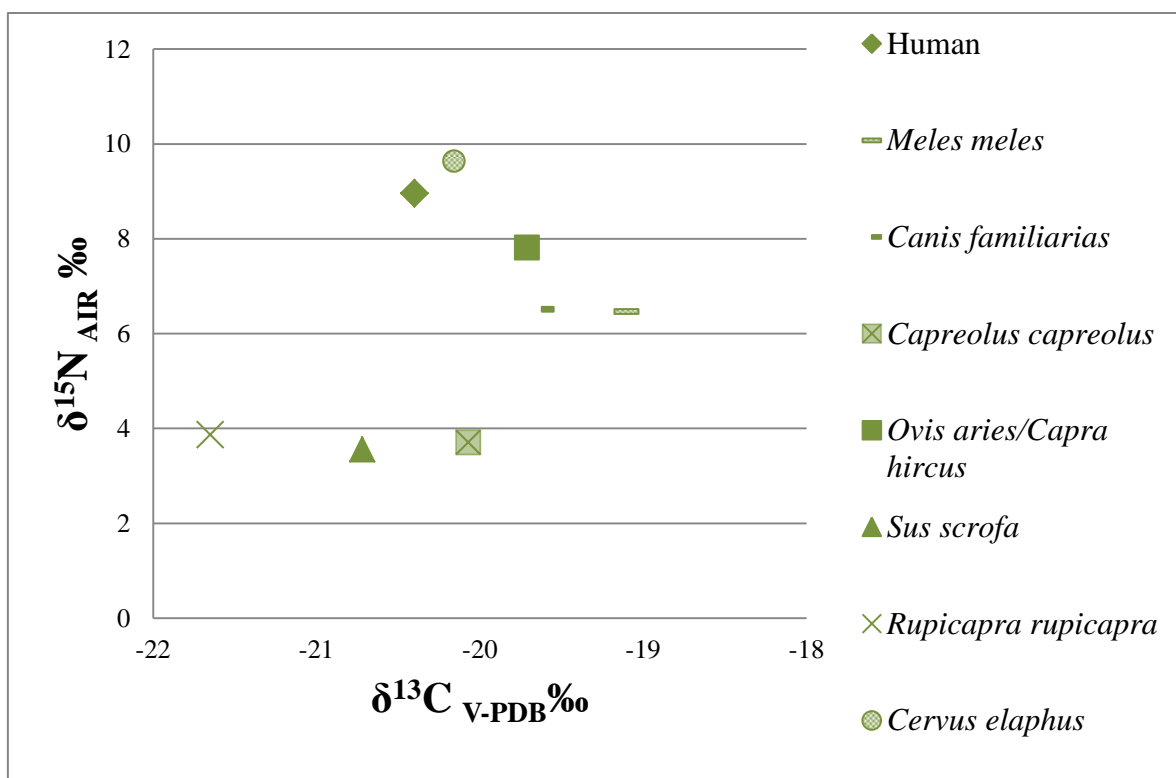


Figure 5.23: Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and faunal remains from Marizulo.

The herbivore results are obtained from the *Cervus elaphus*, *Ovis aries/Capra hircus*, *Capreolus capreolus* and *Rupicapra pyrenaica* samples, which have heterogenic both carbon and nitrogen values. The  $\delta^{13}\text{C}$  values are of  $-20.4 \pm 0.9$  ( $1\sigma$ ) ‰ (min:  $-21.7$  ‰, max:  $-19.7$  ‰). On the other hand, nitrogen differs more, with a mean value of  $\delta^{15}\text{N}$  of  $6.7 \pm 2.8$  ( $1\sigma$ ) ‰, with extreme values (a minimum of  $3.9$  ‰ in the case of *Capreolus capreolus* and a maximum of  $9.7$  ‰ in the case of *Cervus elaphus*). One omnivorous remain of *Sus scrofa* was also sampled, with  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-20.7$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $3.8$  ‰. Finally, two carnivorous samples were analysed (*Meles meles* and *Canis familiaris*) with a mean value of  $\delta^{13}\text{C}$   $-19.5 \pm 0.4$  and  $\delta^{15}\text{N}$   $6.6$  ‰. On the other hand, the analysed human give the expected results for an individual with a diet based on  $\text{C}_3$  type terrestrial proteins consumption ( $\delta^{13}\text{C}$   $-20.3$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$   $9$  ‰).

#### 5.5.4. Strontium results

The Marizulo cave is located in a mountainous area with a Palaeozoic-Mesozoic substrate (Permian-Triassic), as mentioned before. The modern plant samples ( $n=5$ ) gave a mean of  $0.709719 \pm 0.000945$  ( $1\sigma$ ) and snail shell samples ( $n=5$ ) of  $0.708502 \pm 0.000252$  ( $1\sigma$ ). So, the bioavailable local mean would be  $0.709111 \pm 0.000915$  ( $1\sigma$ ). Table 5.17 and Fig. 5.24 shows that the value of the sample corresponding to M3 (S-UCT 18214) falls inside the bioavailable range ( $0.708444$ ), but, on the contrary, the M2 sample value (S-UCT 20258) falls outside.

S-UCT	Specie	Sr Concentration (ppm)*	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (V)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18073	<i>Poaceae</i>	-	0.056410	7.53	0.709075
18074	<i>Hereda helix</i>	-	0.056555	7.19	0.710688
18075	<i>Quercus robur</i>	-	0.056554	7.04	0.710476
18076	<i>Smilax aspera</i>	-	0.056564	8.01	0.708448
18077	<i>Fragaria</i>	-	0.056641	7.10	0.709910
18174	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056577	8.77	0.708580
18175	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056585	8.73	0.708506
18176	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056647	9.45	0.708878
18177	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056630	9.54	0.708296
18178	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056566	9.00	0.708249
18214	Human (M3)	188.5	0.056524	8.01	0.708444
20258	Human (M2)	100.3	0.056527	3.16	0.711519

Table 5.17: Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Marizulo. \*Concentrations have been carried out only in archaeological samples in order to check the possible diagenesis.

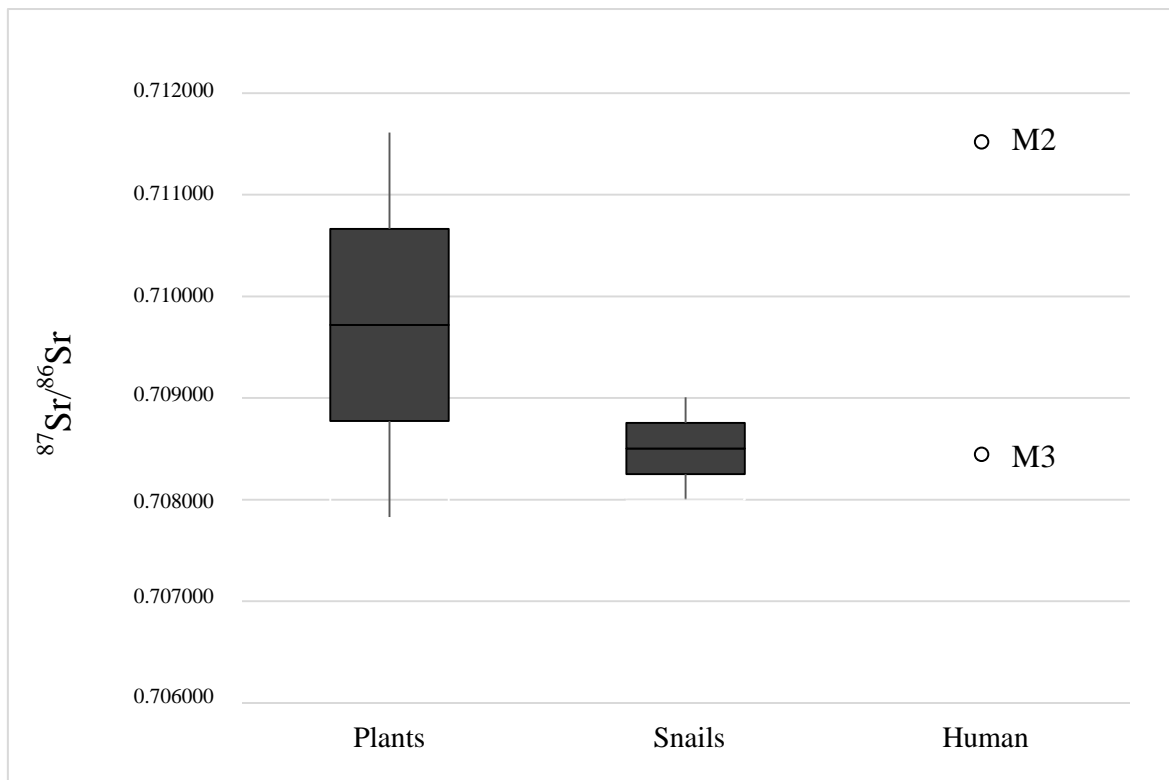


Figure 5.24: Plot of the strontium values of Marizulo archaeological site. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range.

### 5.5.5. Summary

Firstly, the carbon and nitrogen values are coherent with a typical consumption pattern of C<sub>3</sub> terrestrial resources. The  $\delta^{15}\text{N}$  data (9 ‰) is related directly to a higher trophic step than even other omnivorous and carnivorous. It is interesting the high nitrogen values of *Cervus elaphus*, which can be related probably to a breastfeeding, taking into account that the rest of the values do not suggest any type of contamination or alternative alimentation. The same case could be for the results of the *Ovis aries/Capra hircus* sample, with higher values than expected for an herbivorous, but coherent with the possibility of the mentioned breastfeeding.

Referring to strontium values it is remarkable the large values obtained when analysing the flora remains, compared to those obtained from snails, which give much more homogeneous bioavailable range, this tendency has been observed in other archaeological sites of this Doctoral Thesis too. On the other hand, it is remarkable the different values between the M2 and M3 which could be related to his mobility during the formation of its teeth.



## 5.6. Fuente Hoz

In this section we will explain the information about the archaeological site itself and, then, the selected materials and the results, followed by a little summary with a brief discussion of the obtained data.

### 5.6.1. Site information

Fuente Hoz is a small cave situated at 620 m.a.s.l. and less than 100 m away from Pobes village (Anuntzeta, Araba). Geologically, the cave opened in a Lower Miocene substrate of irregular sedimentation with conglomerates, composed of clays and sandstones. Referring to the geographical surroundings, it is remarkable the location itself, because it is considered strategically interesting. It locates in the basin formed by the Baias River, which rises on the southern slope of Gorbea Mountain and joins the River Ebro at Miranda de Ebro. In addition to several faunal taxa, nowadays the area is characterised by the grazing and crops, together with the main presence of pine, oaks and other conifers.

Fuente Hoz was discovered by Murga in 1979, when, after a demolition in a road, he observed an accumulation of archaeological remains. In 1980, some members of the *Instituto Alavés de Arqueología* sifted the sediment from the demolition that affected the site. The first materials obtained were mainly lithic industries (geometrics and microliths); together with a pottery fragment and some badly preserved faunal remains (Baldeón et al., 1983). At this moment, the researchers realised that it belonged to a small cave with approximately 2.5 m of archaeological power, with an unaltered baulk. Unfortunately, the extension of the original archaeological site remains unknown due to the mentioned demolition destroying a part of it; even so, the cave probably opened to N (North)-NW (North-West).

The information about the levels and the archaeological remains has been modified from Basabe and Bennassar (1983). The site has two archaeological levels (I and II), but covering the first archaeological level a thin clay-like layer appeared, followed by the levels explained below:

- Level I: a mixed soil of clay and sand, more dark than the previously mentioned thin layer. In this level appeared several pebbles, mainly of sandstone, some of limestone and few limonites. The thickness of the level is of about 50 cm. This level itself is divided into two layers taking into account the burial levels and the material culture:
  - o Ia: it is characterised by the high amount of lithic industry, a total of 327 remains, of which 68 are considered tools or instruments, have been recovered, being flint the main raw material, with some exceptions of few rock crystal and quartzite. Among the flint tools we can highlight the following: micro burins, bordée micro blades, blacked blades, retouched flakes, triangles, trapeziums and arrowheads. Additionally, there are two Neolithic burial levels (1<sup>st</sup> MNI=2; 2<sup>nd</sup> MNI=3) (Fig. 5.25).

- Ib: In this layer appeared a total of 312 lithic remains, of which 41 are considered tools and 9 micro burins. The main raw material is once again the flint, with the only exception of two pieces of quartzite, a fragment of crystal rock and one of hematite. Among the mentioned tools can be highlighted the following: dorsum blade, denticulates, dihedral burin, geometrics, Montbani blades and the total absence of scrapers and drills. Finally, there is a third Neolithic burial level (3<sup>rd</sup> MNI=1).

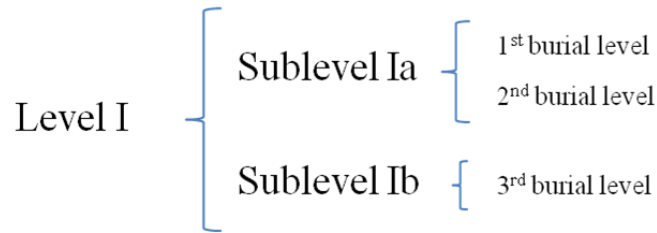


Figure 5.25: Organization of the burial levels in the general stratigraphy of Fuente Hoz.

Referring to ceramic, in the first level a total of 65 fragments appeared, mostly very small; it can only be possible to reconstruct partially an ovoid open pot. We have three pieces of retouched bones, two of them probably spatulas, and the remaining one is a punch. Finally, there is a single ornament, little limestone pendant.

- Level II: it yielded a flint assemblage and was attributed to the Early Neolithic.

There are three radiocarbon dates of the different layers as shown in Table 5.18 and Figure 5.26.

Level	Dating reference	Sampling material	C <sup>14</sup> BP	C <sup>14</sup> calBP
Ia: 2nd burial level	I-11588	Bone	5160±110	5933±155
Ib: 3rd burial level	I-11589	Bone	5240±110	6038±129
II	I-12084	Bone	6120±280	6974±304

Table 5.18: Radiocarbon dates from Fuente Hoz (Baldeón et al., 1983).

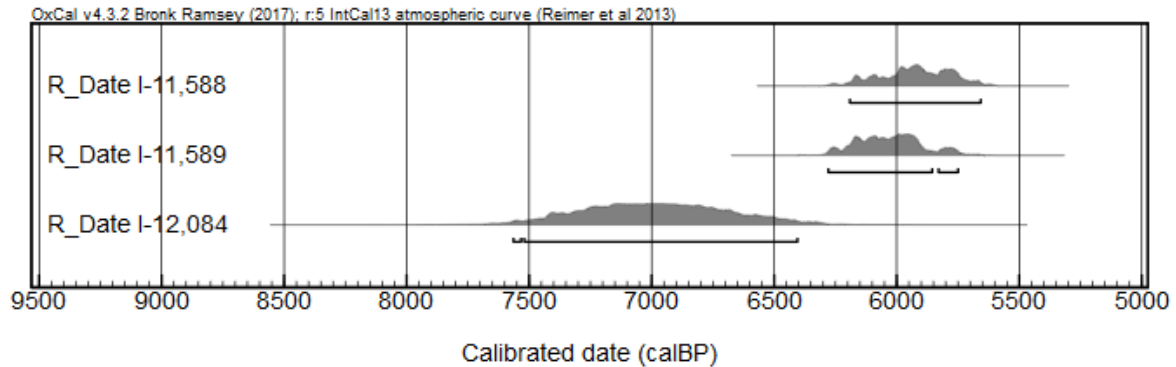


Figure 5.26: Radiocarbon dates from Fuente Hoz. The radiocarbon data was calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with  $2\sigma$  (95.4 % probability).

Focusing on the burial levels, the first recovered human remains were not in anatomical connexion and were very fragmented, lying in an artificial pave of limestones. These inhumations (called the 1<sup>st</sup> burial level) correspond, therefore, to the cave's last use by humans, being observed that the material culture appeared around the rocks pave, but never inside. The second burial level was assigned to a bone remain accumulation without anatomic connexion, mixed with material culture and faunal remains. In this level were found three quite complete cranial and several human bones dispersed, seemingly, as a consequence of voluntary removal. Finally, there is a third layer, corresponding to a unique individual in quite good preservation conditions. Related to this later inhumation, a plane limestone close to the head appeared and, in the other side, a smooth sandstone pebble with using wears.

The anthropological study was carrying out taking into account the problematic of the remains conditions, especially due to the voluntary removals and the demolition of the site, because the bones appeared fragmented and in some cases without anatomical connexion. Even so, a total of six cranial vaults, four mandibles, thirteen humerus, eleven radius and eleven femurs that can be highlighted were found. The obtained partial information of the mentioned bone remains suggested a possible MNI of 9 and a maximum of 14. Although no infantile remains appeared, there were two cranial fragments of a neonate.

Although the MNI is 9, for this study we took only 7 samples; the individuals assigned to Skulls 1, 4 and 6 were attributed to 20 year old individuals, Skull 2 to a 30 year old individual, and Skulls 3 and 5 to 40 year old individuals. About the sex, all of them seem to be males, although Skull 4 has some female characteristics. Finally, the remains show some pathology, although most of them are dental affections and perforations. Additionally, it is remarkable the presence of a trepanation in Skull 1 of 5x5.5 cm, after which the individual survived at least 10 months (Basabe and Benassar, 1983).

The faunal remains are very scarce, with only 47 determinable pieces organised as follows: *Ovis aries/Capra hircus* (NR=2), *Sus scrofa* (NR=3), *Cervus elaphus* (NR=30), *Capreolus capreolus* (NR=18), *Bos primigenius* (NR=3), *Equus caballus* (NR=1). They appeared burned faunal remains (together with lithic material altered by fire), but there were not heats, therefore, it was suggested the hypothesis of the ritual use of fire (Baldeón et al., 1983). We can point out the presence of sheep or goats in the oldest burial; however, the remains of wild fauna are predominant (Mariezkurrena, 1983).

### 5.6.2. Selected materials

To undertake carbon and nitrogen isotope ratio analysis we sampled human bones from Fuente Hoz (n=7), as well as faunal remains (two *Cervus elaphus*). For strontium isotope ratio analysis we sampled enamel from human M2 teeth (n=7).

In the case of Fuente Hoz, and even if there are no complete skeletal pieces due to explosions resulting from road works, the anthropological study provided more details and was more helpful for designing the sampling strategy (Basabe and Bennassar, 1983). For this study we have only sampled 7 skulls and mandibles in order to be able to correlate to the individual level the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values on bone to the Sr isotope values on teeth (Table 5.19).

Bone sample (S-UCT)	Specie	Corresponding enamel sample (S-UCT)	Archaeological reference	Sex/Age
18652	Human	18225	FH. Skull 1	20 years. Male
18653	Human	18219	FH.N1.Z38.A2.C3	40 years. Male
18654	Human	18224	FH.Z7.N1.L3	20 years. Possible female
18655	Human	18221	FH.N1.A2.C4	40 years. Male
18656	Human	18220	FH.Z2.N1.L2	40 years. Male
18657	Human	18223	FH.Z2.N1.Z50	20 years. Male
18658	Human	18222	FH.A2.N1.110.64	20 years. Male
18659	<i>Cervus elaphus</i>	-	FH.A2.N1.I8.228.L1.11	-
18660	<i>Cervus elaphus</i>	-	FH.Z2.I8.616.L1.11	-

Table 5.19: Fuente Hoz samples summary.

### 5.6.3. Carbon and nitrogen results

It was possible to analyse the >30kDa collagen fraction from all samples (n=7 humans, n=2 faunal remains), and sufficient collagen of good quality was obtained to analyse each sample in duplicate (Table 5.20, Fig. 5.27). The only exceptions are the faunal remains, for which in one case (S-UCT 18660) only one run achieved the quality collagen controls mentioned before (Ambrose 1993; Van Klinken 1999), while the second remain (S-UCT 18659), does not comply with the quality controls in either run and, therefore, is not taken into consideration for further discussion.

Bone sample (S-UCT)	Specie	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ )‰	%C ( $\bar{x}$ )	%N ( $\bar{x}$ )	C:N ( $\bar{x}$ )	% Coll
18652	Human	-19.9	8.5	36.4	12.3	3.5	1.67
18653	Human	-19.6	9.3	35.2	12.1	3.4	3.25
18654	Human	-19.5	9	41.2	14	3.4	1.35
18655	Human	-19.8	8.3	40.5	14.1	3.4	4.91
18656	Human	-20	9.4	30	10	3.5	2.20
18657	Human	-19.5	9.5	43.4	15.1	3.4	5.25
18658	Human	-19.6	9.3	39.8	14.2	3.3	6.01
18659	<i>Cervus elaphus</i>	-20.9	3.6	29.7	9.2	3.8	0.32
18660*	<i>Cervus elaphus</i>	-20.3	4.5	40.8	13.9	3.4	2.86

Table 5.20: Carbon and nitrogen isotopes results of Fuente Hoz.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ mean values and collagen quality parameters (%C, %N and C:N) of the two measures analysed for each sample. \*One run only. [To check original data of Run A and B see Appendix 1].

The faunal remain analysed is from the herbivore *Cervus elaphus* (values are  $\delta^{13}\text{C}$  -20.3 ‰; and  $\delta^{15}\text{N}$  4.5 ‰). These values portray a typical terrestrial  $\text{C}_3$  environment. Human sample results gave a  $\delta^{13}\text{C}$  mean of  $-19.7 \pm 0.2$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min: -20 ‰, max: -19.5 ‰) and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $9 \pm 0.5$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min: 8.3 ‰, max: 9.5 ‰). These values show a protein consumption based on  $\text{C}_3$  terrestrial resources and place humans at a higher trophic level than the herbivore (ca. 4-5 ‰ higher), although it has to be taken with caution bearing in mind that we have only one fauna sample.

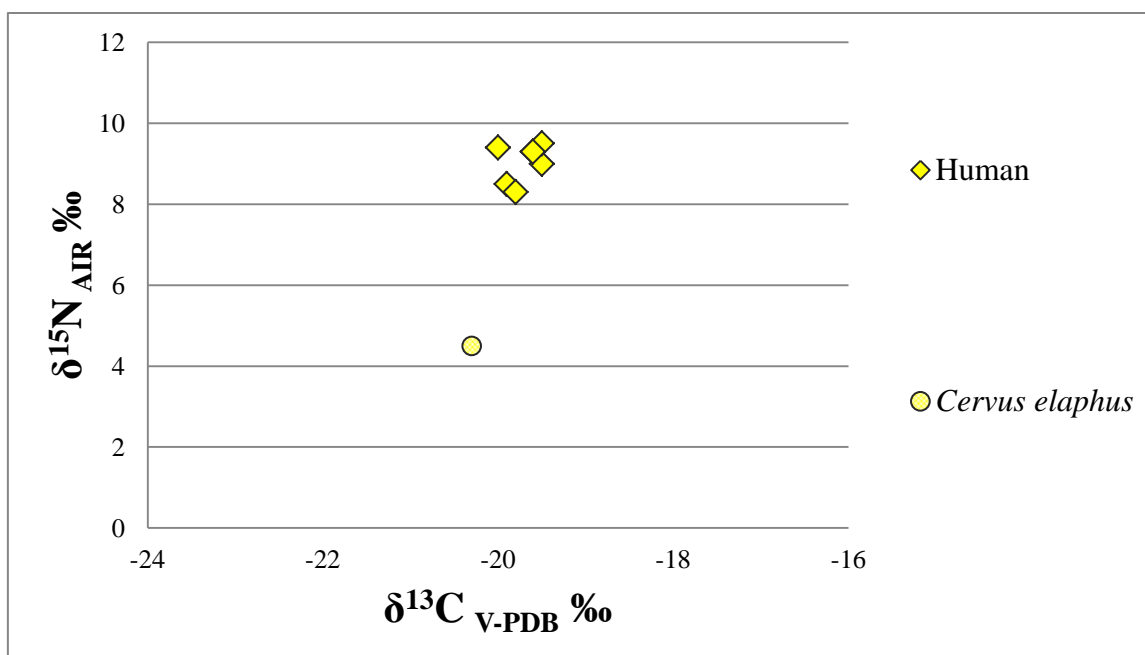


Figure 5.27: Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Fuente Hoz.

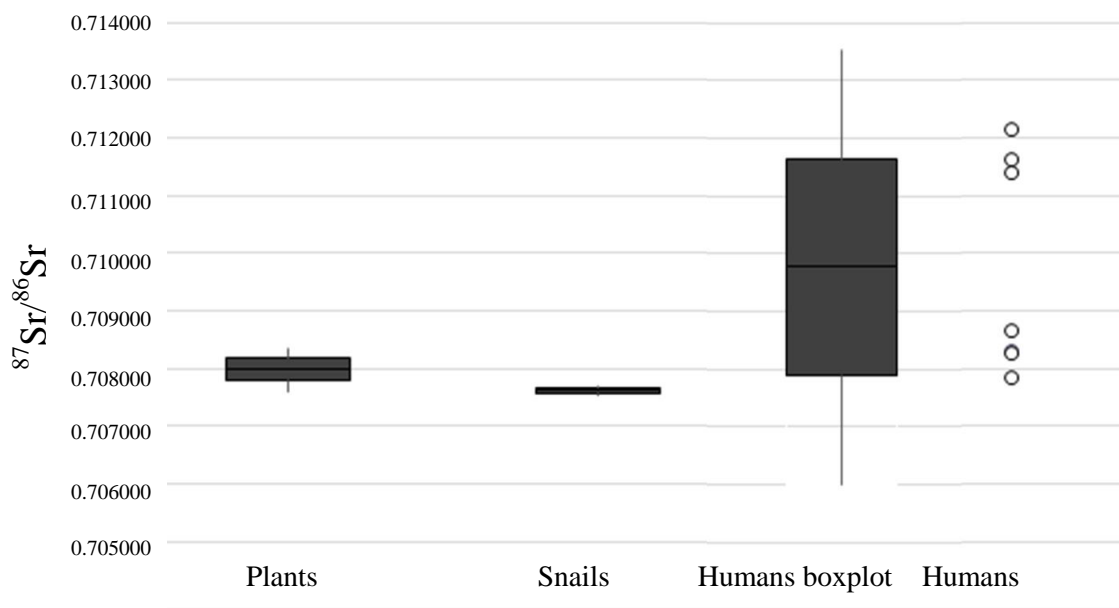
#### 5.6.4. Strontium results

Fuente Hoz is located in a zone with a Cenozoic substrate, concretely from the Lower Miocene. The bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values of modern plant samples ( $n=5$ ) give a mean of  $0.708045 \pm 0.000181$  ( $1\sigma$ ) (min: 0.707784, max: 0.708260), and those of snail shell samples ( $n=5$ ) give a mean of  $0.707619 \pm 0.000049$  ( $1\sigma$ ); overall the bioavailable Sr values are of  $0.707756 \pm 0.000218$  ( $1\sigma$ ). As we can see in Table 5.21 and Fig. 5.28, some of the analysed human individuals ( $n=7$ ) have values that fall outside the bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  range. Three of the human individuals (S-UCT 18219, 18221 and 18225) stand out particularly with values over 0.710. The mean value of all the results, that can be used to determine the local range too, is  $0.709767 \pm 0.001877$  ( $1\sigma$ ), although we will use the modern samples to set the bioavailable range.

S-UCT	Specie	Sr Concentration (ppm)*	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (V)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18078	<i>Quercus ilex</i>	-	0.05654	7.6	0.708004
18079	<i>Pinaceae</i>	-	0.05654	7.8	0.707784
18080	<i>Rosaceae</i>	-	0.05657	8.1	0.708260
18081	<i>Thymus</i>	-	0.05650	8.2	0.708163
18082	<i>Poaceae</i>	-	0.05654	8.9	0.708014
18179	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05661	8	0.707610
18180	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05659	8.9	0.707626
18181	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05658	10.1	0.707637

18182	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05655	9.4	0.707677
18183	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05655	9.7	0.707544
18219	Human (M2)	96.7	0.05654	6.9	0.711420
18220	Human (M2)	156.1	0.05656	10.3	0.707866
18221	Human (M2)	123.6	0.05658	8	0.712174
18222	Human (M2)	203.8	0.05653	8	0.708301
18223	Human (M2)	256.4	0.05655	9.1	0.708688
18224	Human (M2)	265.6	0.05655	9.2	0.708286
18225	Human (M2)	89.9	0.05658	8.1	0.711638

**Table 5.21: Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Fuente Hoz. \*Concentrations have been carried out only in archaeological samples in order to check the possible diagenesis.**



**Figure 5.28: Plot of the strontium values of Fuente Hoz archaeological site. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range.**

### 5.6.5. Summary

The isotopic dietary reconstruction shows a homogeneous human protein diet based on  $\text{C}_3$  terrestrial resources. The humans analysed are placed clearly at a higher trophic level than herbivores in the food chain (ca. 5-6 ‰ higher). Unfortunately, the scarcity of faunal remains were mainly burnt and, therefore, not valuable for isotopic analysis. Additionally, it has to be taken into account that some of the molars have abrasive prints, explained as a consequence of the use of sandstone mills for grinding cereals and

then the chewing of sand remains mixed with grains (Basabe and Bennassar, 1983; Peñalver, 2005). Therefore, the mentioned C<sub>3</sub> terrestrial resources probably included the consumption of grains, as expected for this chronology.

Taking into account the bioavailable strontium range, only one sample falls totally inside it (S-UCT 18220), although another three are quite close (S-UCT 18222, 18223, 18224). The considered non-local individuals have higher strontium values than those from the immediate bioavailable range, thus it could be expected that these individuals spent, at least part of their childhood, in more ancient geological areas. The geological areas at the South of Fuente Hoz are more recent geological grounds, like Paleogene, Neogene and Quaternary grounds. However, there are older geological areas at the North and West part of the sites (Triassic and Jurassic).



## 5.7. Kurtzebide

In this section we will explain the information about the archaeological site itself and, then, the selected materials and their results, followed by a little summary with a brief discussion of the obtained data.

### 5.7.1. Site information

Kurtzebide archaeological site is located in Letona, Zigoitia (Araba), on the Northeast border of the Arrato mountain range. The megalith, at 570 m.a.s.l., is on the upper right edge of a depression created by the sediments of the Zaia River. Geologically, it is located in the Upper Cretaceous substrate, with bedrock composed by limestones and marl limestones in decametric and metric banks. The site presents some similarities with Fuente Hoz, as it is located in the Mediterranean slope. It is close to the Natural Park of Gorbea, which is one of the richest areas in the region related to nature, and with around 500 cavities. Although the southern part is characterised by the human action, ca. 70 % of the territory is composed of natural forests and repopulations, being predominant the autochthonous forest of beeches and oaks. The rest of the surface is dominated mainly by herbaceous and bushy vegetation, especially heathers, thorny brooms and ferns. On the other hand, in the area live several species of vertebrates, both birds (e.g., *Fringilia coelebs*, *Parus major*, *Accipiter nisus*) and mammals (e.g., *Cervus elaphus*, *Sus scrofa*).

As in the case of Fuente Hoz, the discovery of the site was reported by F. Murga, who in 1977 realised that there were some slabs forming the tumulus near the road from Vitoria-Gasteiz to Murgia. He collected some materials from among the slabs and deposited them in the *Museo Provincial de Álava*. As a result of the imminent works on the road (A-68), in 1978 an emergency excavation was initiated. The site was divided into four sections, according to the cardinal points North-South and East-West. After that, it was seen that what at first had seemed to be the bedrock was, actually, a big fallen slab. Although there was not a uniform stratigraphy in all the surface of the tumulus, in general, the sequence consists of three levels:

- Level 1: The most recent layer was characterised by some rocks without any order, probably consequence of surrounding crops. At the same time, it is subdivided into two layers: 1A, a clear accumulation of rocks; 1B more dark sediment than rocks.
- Level 2: was defined by loose stones and without archaeological materials.
- Level 3: the actual archaeological deposit, in which appeared three sublevels: 3A corresponds to the tumulus; 3B irregular layer of sediment and small rocks located among the big rocks of the tumulus and the bedrock; 3C archaeological stratum inside the natural holes of the bedrock of the site.

Together with these materials, there is a radiocarbon dating too, shown in Table 5.22 and Figure 5.29.

Level	Dating reference	Sampling material	C <sup>14</sup> BP	C <sup>14</sup> calBP
3 <sup>rd</sup>	I-10826	Bone	4445±95	5093±154

Table 5.22: Radiocarbon dates from Kurtzebide (Vegas, 1981).

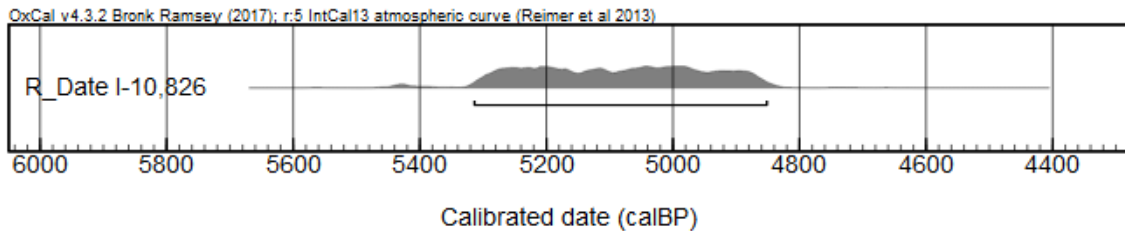


Figure 5.29: Radiocarbon dates from Kurtzebide. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with 2 $\sigma$  (95.4 % probability).

All the human remains appeared damaged, in a very poor preservation and with no order. The most remarkable are: maxilla (NR=1), mandibles (NR=5), tooth (NR=81), vertebra, long bones (humerus, femur, tibia), pelvis and coastal fragments. The researchers have concluded, taking into account the teeth, the presence of 6 individuals, 3 of them of more than 30 years old, 2 between 20 a 30 years old and the last one of 8-9 years of age. Due to the mentioned poor preservation it is impossible to individualize the remains or make further anthropological research. Referring to macro faunal remains, only three molar remains of *Bos taurus* and the analysed *Ovis aries/Capra hircus* maxilla were found, together with some micro mammals, although there were not enough to generate further discussion.

Apart from the human and faunal remains, several lithic industries were recovered: 117 flint pieces, but only 25 of them were retouched. We can highlight, for example, 6 triangles, 5 blades, 1 trapezoid and 1 arrowhead. Related to bone industry, two pieces of *Ovis aries/Capra hircus* tibia appeared as carved idols, taking into account their typology. Additionally, a green pendant, a total of 111 beads of slate, several remains of sandstone and rock crystal, and a perforated and smoothed jet have been found. Finally, we have pottery remains of the different parts of pots, borders or edges, necks, bodies and bottoms, including two pieces with impression decorations (Vegas, 1981).

### 5.7.2. Selected materials

To undertake carbon and nitrogen isotope ratio analysis we sampled a total of 10 human bones from Kurtzebide (Table 5.23), although the MNI defined is of 6 (Vegas, 1981), five adults and one child. Because of the poor preservation of the remains as well as that they were all comingled, it was decided to sample more than the 6 MNI from different

parts of the tumulus and the cist to potentially avoid as much as possible the duplicity of values from same individuals, because a proper individualization of all the remains was impracticable. For strontium isotope ratio analysis we sampled also enamel from human M2 teeth and, in addition, a M3 for one mandible too, in order to establish a possible pattern of mobility (n=8). Additionally, it has only been possible to sample one *Ovis aries/Capra hircus*, because of the scarcity of faunal bone remains.

Bone sample (S-UCT)	Specie	Corresponding enamel sample (S-UCT)	Archaeological reference	Sex/Age
18642	Human	18228	TBI.15A	>20 years
18643	Human	18231	TBI.42B	>20 years
18644	Human	18232	TBI.51	>20 years
18645	Human	18233	TBI.58	>20 years
18646	Human	-	TBI.64	>20 years
18647	Human	18226	TBI.11	>20 years
18648	Human	18230	TBI.18	>20 years
18649	Human	-	TBI.49	>20 years
18650	Human	18229	TBI.16	>20 years
18651	Human	18227	TBI.14	>20 years
18641	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i>	-	TBI.54	-

Table 5.23: Kurtzebide samples summary.

### 5.7.3. Carbon and nitrogen results

The yield of the >30kDa collagen fraction was enough for analysis in duplicate of all samples (Table 5.24, Fig. 5.30). All results met the published quality controls for %C, %N and C:N elemental ratio (Ambrose 1993; Van Klinken 1999).

Bone sample (S-UCT)	Specie	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ )‰	%C ( $\bar{x}$ )	%N ( $\bar{x}$ )	C:N ( $\bar{x}$ )	% Coll
18642	Human	-19.9	8.4	38.6	13.5	3.3	3.37
18643	Human	-19.8	9	40.3	14.3	3.3	4.24
18644	Human	-20.3	9.4	40.4	13.9	3.4	2.81
18645	Human	-20.1	9.1	42.5	14.8	3.3	5.54
18646	Human	-20.1	8.7	38.5	13.2	3.4	2.61
18647	Human	-20	9	38.1	13.3	3.4	3.29
18648	Human	-20	9	40.7	14.4	3.3	6.40
18649	Human	-20.3	8.6	32.2	11.2	3.4	1.77
18650	Human	-19.9	9.4	41.3	14.4	3.4	6.87
18651	Human	-20	8.7	38.6	13.7	3.3	6.12
18641	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i>	-21.1	2.3	41.6	14.5	3.4	6.6

Table 5.24: Carbon and nitrogen isotopes results of Kurtzebide.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ mean values and collagen quality parameters (%C, %N and C:N) of the two measures analysed for each sample. [To check original data of Run A and B see Appendix 1].

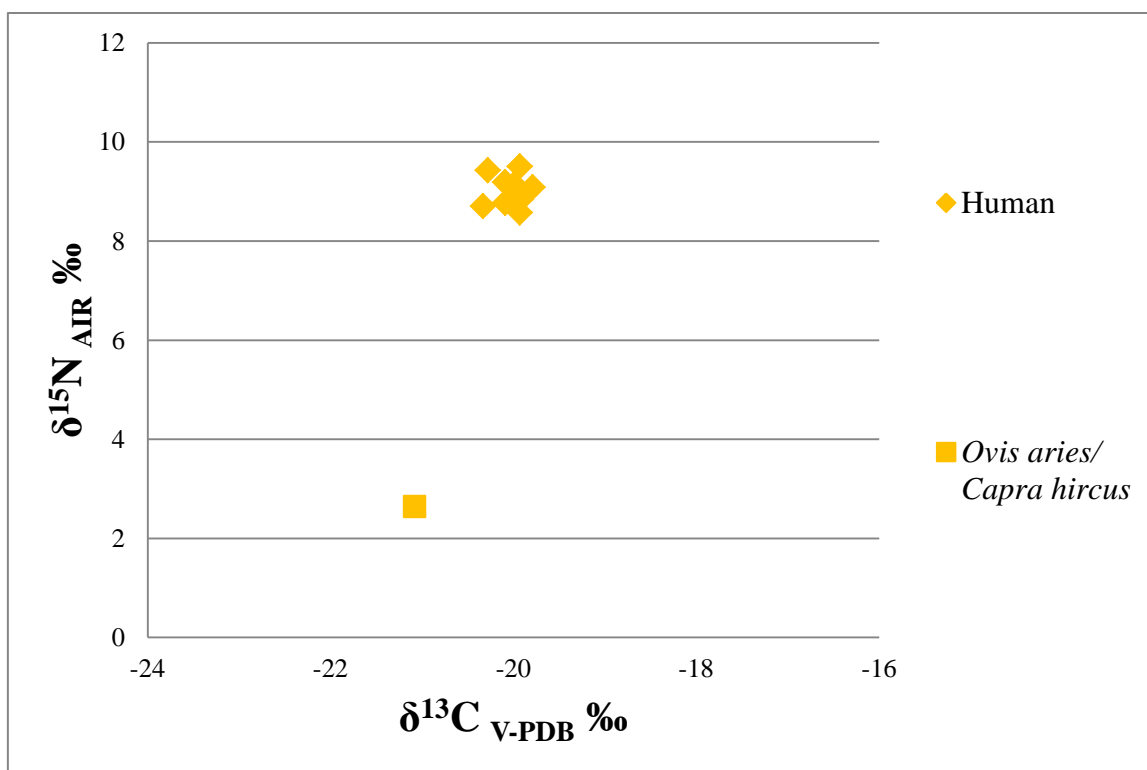


Figure 5.30: Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Kurtzebide.

The faunal remain analysed from Kurtzebide is an herbivore (*Ovis aries/Capra hircus*). Its values are  $\delta^{13}\text{C}$   $-21.1$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$   $2.7$  ‰, showing typical values of a  $\text{C}_3$  type terrestrial ecosystem (Van der Merwe and Vogel, 1978). The human remains gave a mean  $\delta^{13}\text{C}$  of  $-20 \pm 0.3$  ( $1\sigma$ ) ‰ (min:  $-20.3$  ‰, max:  $-19.8$  ‰) and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $9.1 \pm 0.3$  ( $1\sigma$ ) ‰ (min:  $8.6$  ‰, max:  $9.5$  ‰). These data match with an overall protein consumption of  $\text{C}_3$  terrestrial resources. The human  $\delta^{15}\text{N}$  values indicate that humans were on a higher trophic level than the analysed fauna (approximately  $6$  ‰ higher than the fauna remain analysed), although we have only one herbivore sample.

#### 5.7.4. Strontium results

Modern plants and snail shells ( $n=10$ ) were collected to calculate the range of bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in the Upper Cretaceous substrate on which the archaeological site lays. The overall values are of  $0.707624 \pm 0.000124$  ( $1\sigma$ ) (min:  $0.707490$ , max:  $0.707873$ ), as shown in Table 5.25 and Figure 5.31 (mean of  $0.707728 \pm 0.000096$  [ $1\sigma$ ] for plants, and  $0.707519 \pm 0.000024$  [ $1\sigma$ ] for snails). Human enamel ( $n=8$ ) values show a mean of  $0.708624 \pm 0.000567$ , which can be used to determine the local range, although it will not be used in the present work for discussion. One of the samples (S-UCT 18226) has a value that differs significantly from the mentioned bioavailable values, with  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  of  $0.709771$ .

S-UCT	Specie	Sr Concentration (ppm)*	<sup>84</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	Sr (V)	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
18083	<i>Quercus ilex</i>	-	0.05657	9.7	0.707745
18084	<i>Pinaceae</i>	-	0.05656	7.5	0.707611
18085	<i>Rosaceae</i>	-	0.05655	8.2	0.707685
18086	<i>Juniperus</i>	-	0.05656	7.4	0.707728
18087	<i>Poaceae</i>	-	0.05647	8.5	0.707873
18184	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05655	8.2	0.707551
18185	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05655	7.8	0.707515
18186	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05651	7.7	0.707505
18187	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05658	6.6	0.707490
18188	<i>Helix aspersa</i>	-	0.05658	9.4	0.707535
18226	Human (M2)	119	0.05658	7.7	0.709771
18227	Human (M2)	140.3	0.05658	7.7	0.708243
18228	Human (M2)	142.4	0.05654	7.9	0.708436
18229	Human (M2)	175.3	0.05658	8.7	0.708313
18230	Human (M2)	148.8	0.05657	8.1	0.708992
20260	Human (M2)	105.3	0.056522	8.3	0.709634
18231	Human (M3 of 20260 individual)	81.6	0.05656	7.9	0.708872
18232	Human (M2)	122.9	0.05656	8	0.708361
18233	Human (M2)	124.6	0.05655	6.5	0.708000

Table 5.25: Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Kurtzebide. \*Concentrations have been carried out only in archaeological samples in order to check the possible diagenesis.

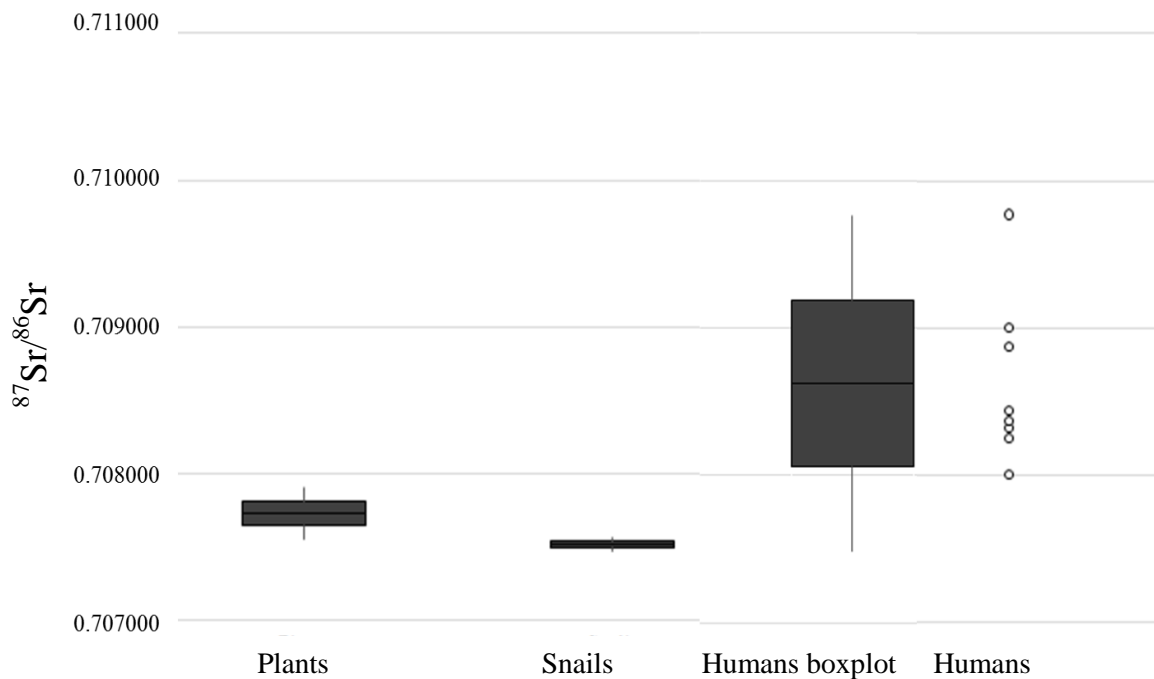


Figure 5.31: Plot of the strontium values of Kurtzebide archaeological site. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range.

### 5.7.5. Summary

The isotopic dietary reconstruction from Kurtzebide shows a homogeneous human protein diet based on  $C_3$  terrestrial resources. The humans analysed are placed clearly at a higher trophic level than herbivore in the food chain (ca. 5-6 ‰ higher). Even if we do not know the herbivore carbon and nitrogen variability, it is possible that the human high values of nitrogen (difference of 6‰) were associated to a diet based mainly on the consumption of domestic animals.

Focusing on the strontium isotopes results, there is no individual with strontium ratio that falls totally inside the bioavailable range. The considered non-local individuals have higher strontium values; therefore, it is possible that these individuals spent at least part of their childhood in more ancient geological areas. As mentioned before, there are older geological areas at the North and West part of the site (Triassic and Jurassic); one of the most reasonable options is that their origin was not more than 50 km away to the East, or even the closest Jurassic areas at 20-30 km to the North.

## 5.8. Iruaxpe I

In this section the information about the archaeological site itself and, then, the selected materials and the results they provide, followed by a little summary with a brief discussion of the obtained data, will be explained.

### 5.8.1. Site information

The archaeological site of Iruaxpe I is a cavity at 675 m.a.s.l. that opens in the northernmost crag of Iruaitz, at the base of the limestone of Lower Cretaceous substrate (Albian-Aptian), at ca. 350 m above the Urkulu reservoir, in the neighbourhood of Goronaeta in Aretxabaleta (Gipuzkoa). Cave's entrance, of 10 m wide and 7 m high, is oriented to Northwest and gives place to a spacious lobby of 70 m<sup>2</sup>. From the depths of this part there is a long internal gallery which has been used recently as flock-shelter.

Related to the ecosystem of the surroundings of the site, the importance of economic activities based on the cattle and the forest must be highlighted. Additionally, it is relevant the importance of agriculture and grazing lands, as the fields of Urbia, which are very suitable for sheep and cattle. The vegetation is mainly composed by a deciduous mixed forest consisting on *Quercus robur*, *Quercus pyrenaica* and *Fagus sylvatica*. In addition, other less dominant species like *Fraxinus*, *Alnus*, *Populus*, *Betula* and *Castanea* appear too. Due to anthropogenic influence, conifers, especially the Monterey pine (*Pinus radiata*), are now abundant.

In 1983 A. Armendariz and F. Etxebarria found in the *Sociedad de Ciencias Aranzadi* storage rooms human and faunal bone remains from a cave, according to its label, called "Truespe". In the same label appeared that the material was collected in 1901 by Dr. Guinea, of Oñati. After several inquiries and thanks to the collaboration of I. Aguirre, it was known that this cave was actually Iruaxpe, already known by J. M. Barandiaran (1921) and catalogued by the *Sección de espeleología de Aranzadi* (1969) and by the *Grupo de espeleología Aloña-Mendi* of Oñati (1974), although the archaeological site itself was unknown. In 1983 A. Armendariz and F. Etxebarria arrived to the area and located the burial site: a tight gallery with difficult access in which many human remains appeared. This abundance, together with the fact that the cave was known in the surroundings, led to think that the sediment has been stirred; because of that, the excavations began immediately.

From the vestibule of the cave there is an access to an upper gallery, place of the burials (Figure 5.32), through a chimney of 3 m of width. There are another two access: a short aperture at the bottom of the vestibule that obliges to crawl ca. 3 m until arriving to a little room from which, by a transversal step, the upper gallery can be reached. The third way is to climb a short wall, easily practicable if there is no humidity, until the mentioned transverse step. In all the cases it is obligatory to cross a narrow cornice, before the burials gallery, which borders the chimney and constitutes the main difficulty of access, since it falls in vertical to the vestibule of the cave.



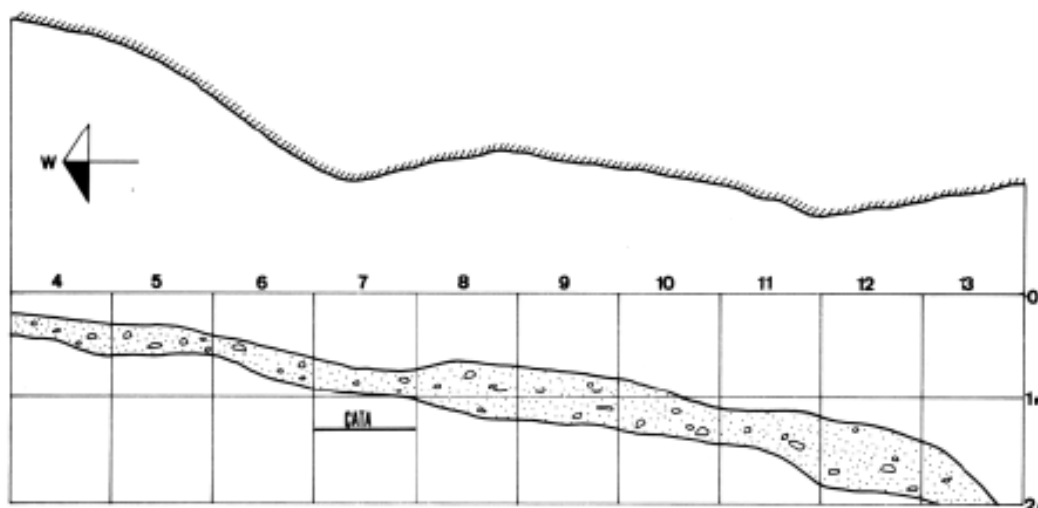


Figure 5.32: Longitudinal section of the burial gallery with the sediment of the Level I (Modified from Armendariz et al., 1987).

The mean of the sediment depth is of ca. 40-50 cm, beneath the burial level there was a sterile level from the archaeological point of view and was not excavated. However, a sampling of 30 cm deep in the band 7 was carried out to make sure that the burials actually disappeared. In this process skeletal remains of marmot (*Marmota marmota*), species whose chronological presence does not exceed the Solutrean (Altuna, 1972) in the Bay of Bizkaia, was found. Thus, we can distinguish two levels, from top to bottom.

- Level I: Very loose soil, with abundant limestone ridges of small size. The depth ranges between 25 and 60 cm, depending on the zone. This level contained abundant fauna and human bone remains and grave goods, corresponding to a collective burial, all very scrambled and fragmented.
- Level II: More compact and dark soil compared with the previous one. Sterile archaeologically, containing some remains of fauna attributable to the Pleistocene. Under this level should be the bedrock or natural floor of the gallery.

There are three radiocarbon dating of the burial area pointing out the Neolithic character of the site, as shown below in the Table 5.26 (Fig. 5.33):

Level	Dating reference	Sampling material	C <sup>14</sup> BP	C <sup>14</sup> calBP
Level I (upper zone of burial level)	I-13440	Bone	5390±110	6157±123
Level I (lower zone of burial level)	I-13507	Bone	5440±110	6204±134
Level I (different depths)	I-14097	Bone	4130±110	4652±143

Table 5.26: Radiocarbon dates from Iruaxpe I (Armendariz et al., 1987).

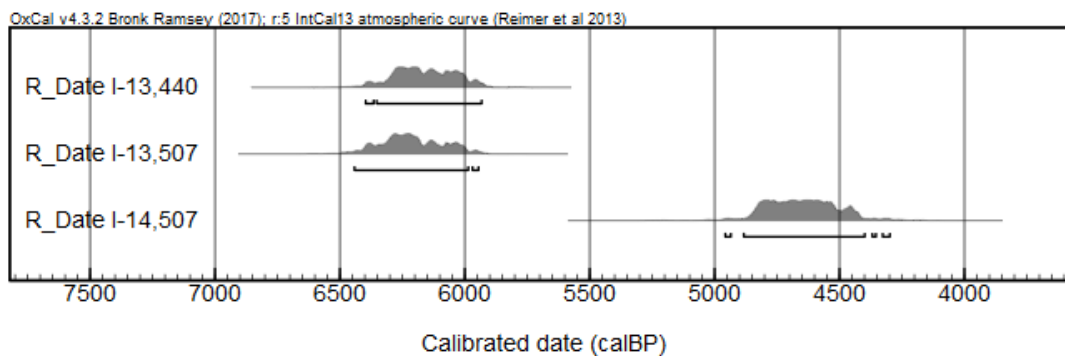


Figure 5.33: Radiocarbon dates from Iruaxpe I. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with  $2\sigma$  (95.4 % probability).

The bones and the grave goods appeared evenly distributed on the surface, although its density was greater in a small ledge of the square 8C and, in general, toward the eastern end of the gallery (especially band 12). The found material consists in the following: one small piece of pottery, three arrowheads and two simple flint flakes, two fox holed canines, and a total of 28 necklace beads of different materials but mainly jet.

About human remains, there were 2485 determinable bones, although almost all of them are fragments and splinters of anatomical parts impossible to restore. The most relevant remains are the following: mandibles and maxillas, teeth, cranial fragments, vertebrae, costal remains and long bones fragments (humerus, radius, femur, etc.). All of this belongs to a MNI of 15 (7 adults, 4 juveniles and 4 infantiles). Among the mentioned infantiles, the researchers conclude that 3 of them have ca. 3 years of age and the last one about 6. Referring to the adults, and due to the poor preservation of the remains, we only know that at least one of them was mature and that two of them are males. There were also some pathologies (Etxeberria, 1987), especially in vertebrae and hand bones. Curiously enough, in a total of 435 dental remains analysed there was no evidence of diseases.

Regarding faunal remains, the first idea that has to be highlighted is the mentioned scrambling of the sediment. Because of it, the faunal remains were both mixed, not only inside Level I, but also with Level II. In this sense, species like *Ursus spelaeus* (NR=5), *Ursus arctos* (NR=3) and *Panthera pardus* (NR=10), which are incompatible with domestic animals of Level I, were found. Besides the mentioned carnivorous, there were *Sus domesticus* (NR= 15), *Bos taurus* (NR=17), *Capra hircus/ Ovis aries* (NR=18), *Equus caballus* (NR= 3), *Cervus elaphus* (NR= 7), *Rupicapra pyrenaica* (NR= 27), *Capra pyrenaica* (NR= 51), *Canis lupus* (NR= 14), *Vulpes vulpes* (NR= 3) and the mentioned *Marmota marmota* (NR= 20) (Mariezkurrena, 1987). It is remarkable the presence of the mentioned marmot remains in the archaeologically sterile level, which belong to Wurm III. The taxa set points to a cool climate, with a dominance of forested spaces on the uncovered areas, characteristic biotope of the area since the end of the Wurm until today (Peman, 1987). Additionally, 135 determinable remains of micro mammals have been analysed too, corresponding to 13 species (especially, *Apodemus sylvaticus*, *Arvicola* sp., *Glis glis* and *Talpa europaea*). In general, there are two types

of remains, on the one hand, those which died in situ and, on the other hand, the remains that come from defecation of Strigiformes. Even if the researchers take the conclusions with caution, it seems that the appeared species indicate a temperate climate with the presence of forests (Peman, 1987).

### 5.8.2. Selected materials

Due to the bad conservation, the MNI was defined taking into account the teeth remains (especially incisive) recovered at the site, as mentioned before. Leaving aside the teeth that correspond to infantiles and those that are not proper for strontium analyses, it has been possible to analyse seven samples for strontium isotopes and ten samples for carbon and nitrogen isotope analyses (Table 5.27). Fortunately, the mentioned seven samples for strontium analyses were carried out sampling teeth in mandibles and, therefore, the data of carbon, nitrogen and strontium can be related. The rest of the carbon and nitrogen samples were taken from the same long bones. As mentioned before, all the human and faunal remains are from the Level I of the cave, although their distribution through the surface was very irregular. Additionally, *Capra hircus/Ovis aries*, *Bos taurus*, *Sus domesticus* and *Cervus elaphus* were also analysed in order to interpret further paleodietary results.

Bone sample (S-UCT)	Specie	Corresponding enamel sample (S-UCT)	Archaeological reference	Sex/Age
18619	Human	-	IxP.9C.2.33	Adult
18620	Human	18272	IxP.8C.5b.13	Male-Adult
18621	Human	18273 and 20261	IxP.12D.5j.21	Male-Adult
18622	Human	18274	IxP.9C.1.16	Adult
18623	Human	18275 and 20262	IxP.12D.4.18	Mature
18624	Human	18276	IxP.13	Adult
18625	Human	-	IxP.12C.5b.16	Adult
18626	Human	-	IxP.11C.4.1	Adult
18627	Human	-	IxP.12D.5b.20	Adult
18628	Human	-	IxP.8C.5.14	Adult
18629	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i>	-	IxP.13	-

18630	<i>Bos taurus</i>	-	IxP.12C.1.5.12 7	-
18631	<i>Sus domesticus</i>	-	IxP.12C.5C.19 .148	-
18632	<i>Cervus elaphus</i>	-	IxP.12D.5.21.1 57	-

Table 5.27: Iruaxpe I samples summary.

### 5.8.3. Carbon and nitrogen results

Both human (n=10) and faunal (n=4) remains have been analysed, their yield of the >30kDa collagen fraction was enough for duplicate analysis of all samples (Table 5.28, Fig. 5.34). All results met the published quality controls: %C >30, %N >10 and C:N elemental ratio between 2.9 and 3.6 (Ambrose, 1993; Van Klinken, 1999).

Bone sample (S-UCT)	Specie	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ )‰	%C ( $\bar{x}$ )	%N ( $\bar{x}$ )	C:N ( $\bar{x}$ )	% Coll
18619	Human	-20.8	8.8	43.3	15	3.4	3.5
18620	Human	-20.5	8.5	42.5	14.7	3.4	3.9
18621	Human	-20.4	8.2	42.6	15.4	3.2	3.6
18622	Human	-20.5	7.9	43	15.4	3.3	4.9
18623	Human	-20.5	8.9	43.1	15	3.4	2.2
18624	Human	-20.5	9	42.1	15	3.3	7
18625	Human	-20.8	8.8	43.1	15.6	3.2	5.3
18626	Human	-20.5	8.5	41	14.6	3.3	6.7
18627	Human	-20.7	8.9	42.9	15.5	3.2	4
18628	Human	-20.2	9.1	43.7	15.5	3.3	6.4
18629	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i>	-20.7	8.8	43	15.5	3.2	7
18630	<i>Bos taurus</i>	-22.1	4.4	43	15	3.4	3.8
18631	<i>Sus domesticus</i>	-21.2	3.6	42.7	14.9	3.4	6.4
18632	<i>Cervus elaphus</i>	-20.4	2.5	43.3	15	3.4	4.4

Table 5.28: Carbon and nitrogen isotopes results of Iruaxpe I.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ mean values and collagen quality parameters (%C, %N and C:N) of the two measures analysed for each sample. [To check original data of Run A and B see Appendix 1].

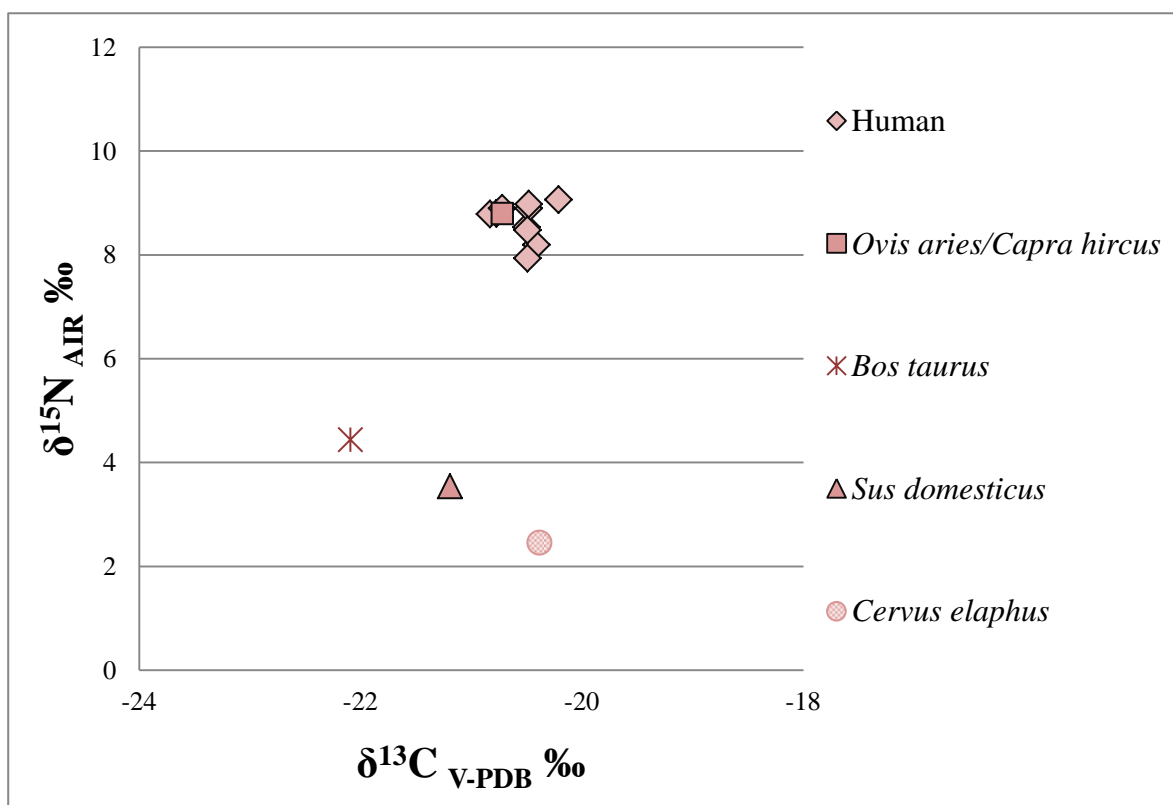


Figure 5.34: Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Iruaxpe I.

The herbivore baseline for Iruaxpe I is obtained from the *Cervus elaphus*, *Ovis aries/Capra hircus* and *Bos taurus* results, which have very similar carbon values to those obtained from the herbivores of other archaeological sites analysed in this work:  $\delta^{13}\text{C}$  mean value of  $-21.6 \pm 0.9$  ( $1\sigma$ ) ‰ (min:  $-22.1$  ‰, max:  $-20.4$  ‰). On the other hand,  $\delta^{15}\text{N}$  values differ more, with a mean value of  $5.2 \pm 3.2$  ( $1\sigma$ ) ‰, a minimum of  $2.5$  ‰ in the case of *Cervus elaphus* and  $8.8$  ‰ in the case of *Ovis aries/Capra hircus*, probably because of breast feeding or as a consequence of manuring. One omnivorous sample of a *Sus domesticus* was also sampled, with  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-21.2$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $3.6$  ‰.

Referring to human results, all of them have homogeneous values that can be expected with a diet based on  $\text{C}_3$  type terrestrial proteins consumption, as can be seen in Fig. 5.34. Their mean values are  $\delta^{13}\text{C}$   $-20.5 \pm 0.2$  ( $1\sigma$ ) ‰ (min:  $-20.8$  ‰, max:  $-20.2$  ‰) and the  $\delta^{15}\text{N}$  mean values are  $8.7 \pm 0.4$  ( $1\sigma$ ) ‰ (min:  $7.9$  ‰, max:  $9.1$  ‰), indicating the consumption of  $\text{C}_3$  type terrestrial protein, as can be observed by the trophic level occupied by humans in comparison with wild animals such as *Bos taurus* or *Cervus elaphus* (about  $5$  ‰ higher).

#### 5.8.4. Strontium results

Iruaxpe I is located in a mountainous area with a Lower Cretaceous substrate (Albian-Aptian). The modern plant samples (n=5) gave a mean of  $0.708971 \pm 0.000406$  and snail shell samples (n=5) of  $0.707690 \pm 0.000181$ . So, the bioavailable local mean value is  $0.708330 \pm 0.000737$  ( $1\sigma$ ) (Table 5.29, Fig.5.35).

S-UCT	Specie	Sr Concentration (ppm)*	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (V)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18108	<i>Corylus avellana</i>	-	0.056526	8.03	0.709309
18109	<i>Pinaceae</i>	-	0.056574	9.17	0.708731
18110	<i>Smilax aspera</i>	-	0.056578	8.65	0.708618
18111	<i>Rubus</i>	-	0.056545	5.28	0.709504
18112	<i>Poaceae</i>	-	0.056578	8.61	0.708691
18209	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056508	9.16	0.707526
18210	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056488	9.02	0.707921
18211	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056551	7.85	0.707488
18212	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056540	9.09	0.707760
18213	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056559	9.67	0.707756
18272	Human (M2)	119.1	0.056569	9.28	0.709137
20261	Human (M2)	125.4	0.056453	8.29	0.709535
18273	Human (M3 of 20261 individual)	122.1	0.056610	7.42	0.710437
18274	Human (M2)	75.11	0.056590	7.98	0.710225
20262	Human (M2)	96.74	0.056595	8.54	0.710115
18275	Human (M3 of 20262 individual)	72.92	0.056580	6.03	0.710161
18276	Human (M2)	62.61	0.056562	5.58	0.711658

**Table 5.29: Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Iruaxpe I. \*Concentrations have been carried out only in archaeological samples in order to check the possible diagenesis.**

Referring to humans, they give a mean value of  $0.710181 \pm 0.000792$ ; as mentioned before, this value could be used to determine the local range, although it will not be used for the discussion. Taking into account the results of modern samples, only two values fall inside the bioavailable range (S-UCT 18272, 20261) with 0.709137 and 0.709535 respectively. The rest of samples, have values above 0.710, indicating a different geological origin than that on which the burial site lies. Finally, the two individuals with both M2 and M3 analysed show a different mobility pattern, as explained below.

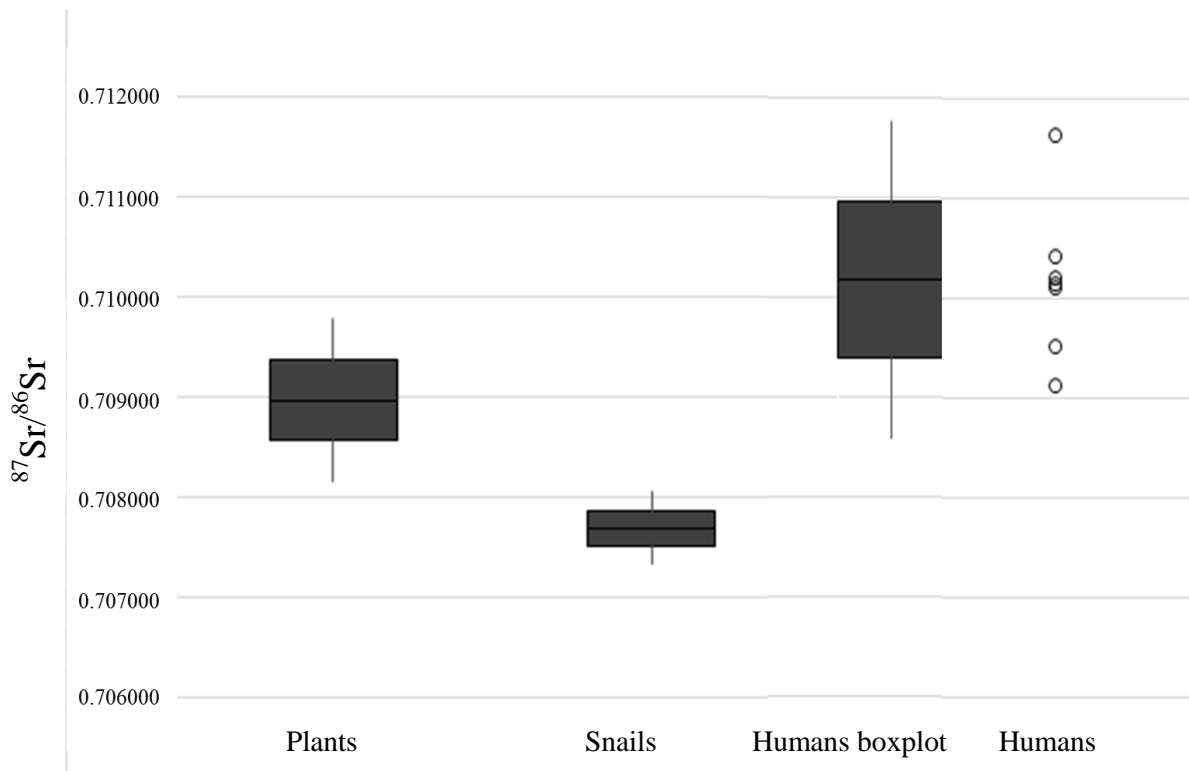


Figure 5.35: Plot of the strontium values of Iruaxpe I archaeological site. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range.

### 5.8.5. Summary

There are few remarkable aspects referring to the Iruaxpe I samples. The first one is related to the differences in the nitrogen values between the herbivores. On the one hand, the relatively usual low value of the *Cervus elaphus* sample (2.5‰) and, on the other hand, the high value of *Ovis aries/Capra hircus* (8.8‰); this increase could be because of the breastfeeding process if the sample is young, although there are other possibilities that will be developed in the *Discussion*. Additionally, the relatively low nitrogen values of *Sus domesticus* are interesting, as it could be linked to less variable resources consumption. However, human values do not vary in neither carbon nor nitrogen values results, showing a homogeneous human protein diet based on C<sub>3</sub> terrestrial resources. Additionally, and taking into account the faunal remain values (leaving aside the *Ovis aries/ Capra hircus* sample), the humans analysed appear placed clearly at a higher trophic level than herbivore in the food chain (ca. 5-6 ‰ higher).

Referring to strontium values, the first thing that gets our attention is the lack of overlap between snails and plants, which can be linked with a different absorption of the strontium levels (which has been observed also in other sites). On the other hand, only two human values are close to the range established as bioavailable (S-UCT 18272, 20261), while the rest of the samples have higher strontium values, related to more ancient geology, like those sampled in the surroundings of Marizulo. Finally, the two individuals with both M2 and M3 analysed show a different mobility pattern: on the one

hand, in the first case (S-UCT 20261 and 18273) it can be observed the variation between the formation of M2, when the individual spend time in a geological area with higher strontium values, while during the M3 formation the value decrease. The second case (S-UCT 20262 and 18275) shows almost the same values for both samples, indicating a very low mobility pattern or movements through the same geologic areas.



## 5.9. Urtao II

In this section we will explain the information about the archaeological site itself and, then, the selected materials and the results they provide, followed by a little summary with a brief discussion of the obtained data.

### 5.9.1. Site information

This cave is located at 796 m.a.s.l. at the base of the limestone wall of the Orkatzategi Mountain, in its West slope of Lower Cretaceous substrate (Albian-Aptian), in Urrexola (Oñati, Gipuzkoa). The cave has a U-shaped base of ca. 30 m<sup>2</sup>, with two entrances opened to the outside. The first one is horizontal, with an arch shape of about 2 m wide and 1 m of height, oriented to the NW. It leads to a gallery of about 15 m in length, with a width of ca. 2 m and an average height of 3 m (South Gallery). The second entrance, of more difficult access, is a window of small dimensions (1 m wide by 1 m high) at 4 m from the ground, and oriented to the N, which precedes to a gallery of 6 m long and 1 m wide (North Gallery).

Referring to the ecosystem of the surroundings of the site, the activities linked to the cattle and the forest are still economically relevant. The lands of the municipality are good grazing lands, as the fields of Urbia, giving sustenance to an abundant livestock of sheep and cattle. Agriculture has also had an important role, as well as the logging of their forests, to obtain wood for charcoal making. As in the case of Iruaxpe I, the vegetation is characterised by a deciduous mixed forest (*Quercus robur*, *Quercus pyrenaica* or *Fagus sylvatica*), with presence of conifers as a result of anthropogenic influence, together with the less dominant species of *Fraxinus*, *Alnus*, *Populus*, *Betula* and *Castanea*.

From the end of the last century, it is known the existence of a burial cave on the slopes of the crag named Urrexola or Orkatzategi, as mentioned by Aranzadi et al. (1919). During the Congress of Basque Studies of 1918 "in the University of Oñate a human skull and a bronze spear from one of these caves, called Orkatzategi" (Armendariz, 1989) were shown. The materials from this cave, which were believed to be lost, were found by the researcher group of A. Armendariz in the stores of Aranzadi Society when preparing the Archaeological Charter of Gipuzkoa (Altuna et al., 1982). There were, in fact, two human mandibles, a deer astragalus and a copper dagger (Armendariz and Etxeberria, 1983). The label that accompanied those materials was "Anselmo de Gomendio y Alzáa" and the indication "Objects found in the cave of Orkatzategi located on the rough slopes of Urrejola mountain, jurisdiction of the town of Oñate (Gipuzkoa), year 1899". The discovery of a new cavity, in which another dagger was found, carried the discoverers to think that the new Urtao and Orkatzategi were definitely the same. The first human remains were discovered in August of 1983 by L. Herrasti and L.M. Urkia. In October of the same year, other members of the Aranzadi Society of Sciences discovered new burials near the second entrance. The excavation works were developed over the years 1984 and 1985. The description of the South

Gallery levels explained below is following the information given by Armendariz et al. (1989):

- Level 0: Thin layer composed by organic matter (the place had been used as a shelter for sheep and goats), with some scattered human bones.
- Level 1: Loose brown soil with small limestone pebbles. The level is very thin in the entry area, increasing inside up to about 50 cm on average. It is the only archaeologically fertile level, with abundant collective burial remains, accompanied by very scarce grave goods. All this appears quite scrambled, additionally, there is a depression or shallow pit that affects the Level 2 and retains traces of ancient searches hoes in their walls.
- Level 2: Stalagmite wet and white layer, of irregular surface and with a thickness of 20 cm in the square 9G where the sampling was practiced. This stalagmite level appears only in the band 5 and 10, so, in the rest, the Level 1 is in contact with Level 3 directly.
- Level 3: Darker sediment than Level 1 and, in general, stony and more compact, especially in squares 13 and 14 F (probably due to the moisture from the wall in that area). It is archaeologically sterile, although it contains some remains of fauna that includes reindeer, species that allows attributing the formation of level to the Upper Pleistocene. On the other hand, highlights the presence of two very carbonaceous sediment masses, which could be two small hearth in squares 6/7 F and 9/10 F.

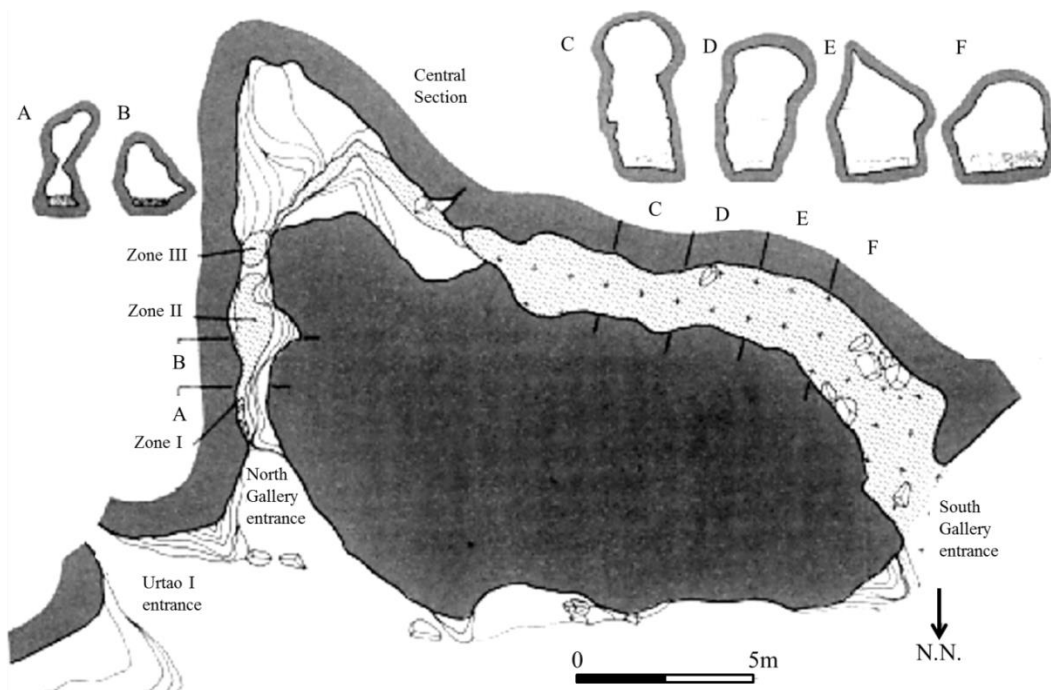


Figure 5.36: floor and sections of Urtao II archaeological site (modified from Armendariz, 1989).

Referring to the North Gallery, in which this work is focused on, the archaeologist divided it into three sections: some kind of window that connects with the outside and that was covered by a big block detached from the roof (Zone I, Fig. 5.36), a small hall (Zone II) and the last area called Zone III which falls to the Central Section and the South Gallery. In the mentioned three parts the sediment was very scarce and, because of that, there was no stratigraphic information. Finally, there are few radiocarbon dates available that are shown in the Table 5.30 and Figure 5.37.

Level	Dating reference	Sampling material	C <sup>14</sup> BP	C <sup>14</sup> calBP
Level Ib (South Gallery's hearth)	I-14098	Charcoal	6220±120	7112±141
Level II (South Gallery)	I-14821	Bone	4490±170	5149±228
Level II (North Gallery)	I-14822	Bone	4610±120	5279±187

Table 5.30: Radiocarbon dates of Urtao II (Armendariz, 1989).

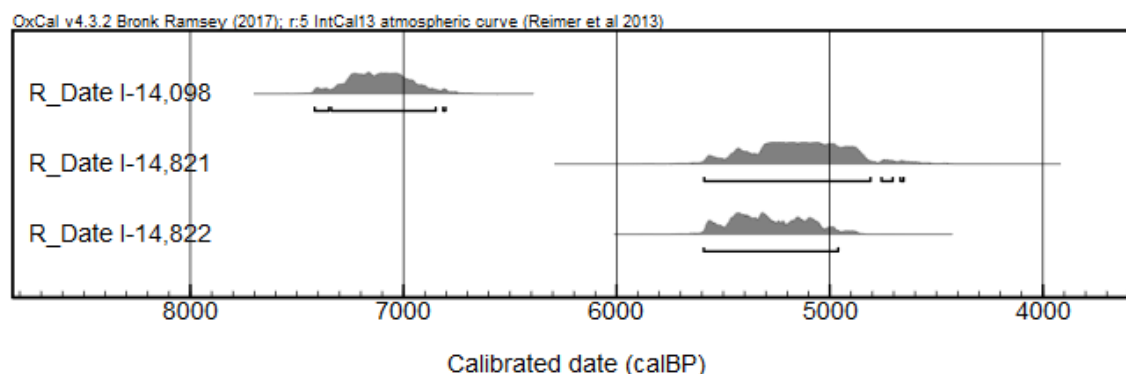


Figure 5.37: Radiocarbon dates from Urtao II. The radiocarbon data were calibrated using Oxcal v4.3.2 and IntCal13 (Bronk Ramsey, 2017; Reimer et al., 2013) with 2σ (95.4 % probability).

Denoting material culture, the grave goods of the South Gallery are composed of the following objects: among lithic industries, 4 arrowheads and one flake all of them made on flint; 2 metal daggers; a rolled pebble of quartz. The remains found in the North Gallery are: 2 flint arrowheads, 2 simple flint flakes, 1 blade and 1 button or hemispheric pendant made using the shell drilling of a gastropod.

Taking into consideration the collected grave goods and absolute dates (Table 5.30, Figure 5.37), the history of human occupation of the cave can be reconstructed, identifying at least three times or stages of use of it.

- First phase: Neolithic. It is proved an occasional use of the cavity by the existence of little fireplaces, immediately below the burials. If the dating is correct, those fires were made in the mentioned Neolithic period.
- Second phase: Antique Chalcolithic. The first burials were located in the North Gallery. The dating obtained for those burials give a data of ca. 5279 calBP; therefore, it was related with a Neolithic-Chalcolithic transition time.
- Third phase: Middle Chalcolithic. The grave goods collected in the South Gallery, while scarce, stand out because of their homogeneity and seem deposited in a short period of time, perhaps simultaneously; it differs clearly from those located in the North Gallery. The main problematic is related to the possibility that the burials in the South Gallery belong to the time represented by grave goods: copper daggers and flint arrowheads of peduncle and fins. In this sense, it gives the impression that previous burials existed. This would explain (if not influenced by other causes) the dating obtained from human bones in this gallery, around 5149 calBP that seems too old for the grave goods.

As mentioned, in the cave we can distinguish two areas of collective type burials, the South Gallery (n=42) and the North Gallery (n=9). It is ignored what relationship existed between them; taking into account the difficulties of the communication of both areas inside, it would not be rare that they had been considered as two distinct caves, though they were evidently close. There was no evidence of cremation or burial structures and, therefore, it is thought that the corpses were simply deposited in the floor of the cave, being the sediment of the surroundings a consequence of a natural deposition. Additionally, the burials appear as a result of successive inhumations as observed in the North Gallery. There is no evidence of discrimination between females and males or adults and children in the burial (Armendariz, 1989).

In the South Gallery there is a MNI of 42: 31 adults, 2 juveniles and 9 infantiles. These remains appear totally mixed and fragmented and, therefore, it is not possible to give more details or information. Referring to the North Gallery, thanks to the difficulty to access to this part of the cave the remains were better preserved and even anatomically connected, especially in the Zone I (Fig. 5.38), making possible the correct individualization of them. In the mentioned Zone I there was 1 infantile (called Individual 1), of about 6 years old, was the best preserved and the most complete of those located in this cavity. The main part of the body was in anatomical connection, suggesting a highly flexed position on the right side and with North-South orientation.

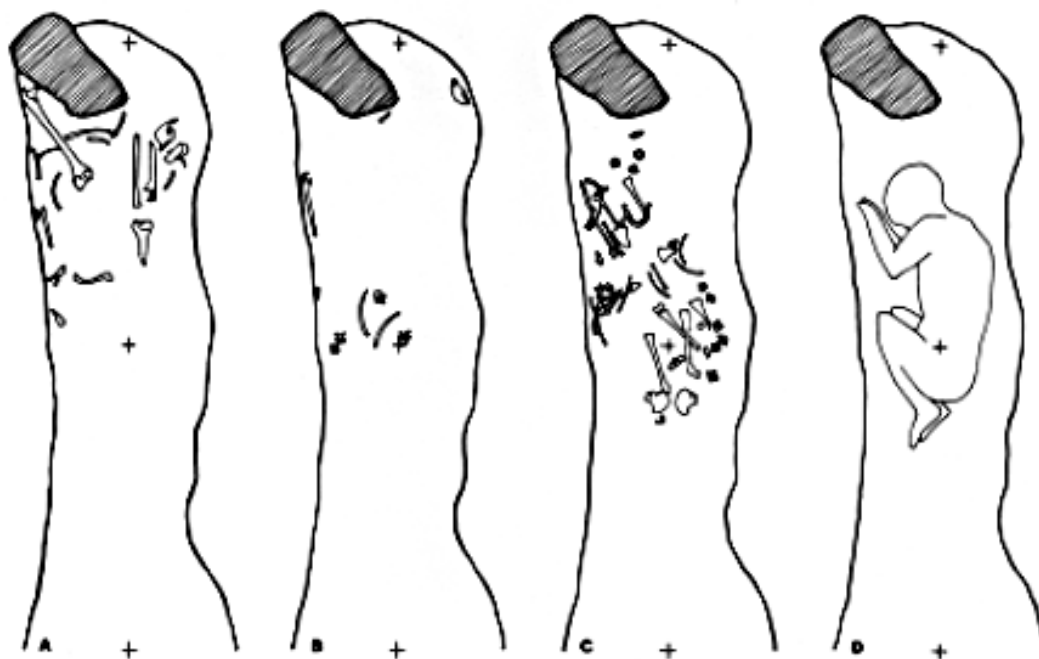


Figure 5.38: Burials location of the Zone I in the North Gallery. A: Adult individuals (3 and 4), B: Young individual (2), C: Infantile (1), D: Reconstruction of the infantile burial.

Below this body appeared some vertebrae and costal remains of the young adult (ca. 18-19 years), denominated Individual 2. Finally, in the opposite site there were the two adults, probably males (Individuals 3 and 4), which were used for radiocarbon dating. On the other hand, in Zones II and III appear some remains related to other individuals, among them we found Individual 5 (a young-adult male), Individual 6 (child of 1-2 years), Individual 7 (child of 7 years) and Individual 8 (juvenile). The researchers Armendariz et al. (1989) highlighted the absolute absence of cranial remains in these sections, with the exception of some mandibles and a maxilla, and they related it to the possible extraction of this type of remains deliberately. The palaeopathological study carried out by Etxeberria (1989) point out the fragmentation of the remains and the presence of degenerative arthropathies and little traumas due to the overloading and effort, in addition to few dental lesions (mainly caries and dental wear).

Referring to faunal remains, the sepulchral level has provided a set of 160 determinable remains, of which 18 are of domestic animals (*Ovis aries/Capra hircus*, *Bos taurus*), among the rest there are carnivorous, lagomorphs, insectivorous and wild ungulates (*Cervus elaphus*, *Capreolus capreolus*, *Capra pyrenaica*, *Rupicapra pyrenaica* and *Sus scrofa*); in addition, there are some remains of *Equus* and *Sus* that have been found but which cannot be determined if they are domestic or wild.

Additionally, ca. 400 remains of birds were found, from which 233 have been determined and assigned to 21 species. The main part of the appeared species live still in the surroundings of the site, being *Alectoris rufa*, *Perdix perdix*, *Turdus iliacus*,

*Calidris* sp. and *Lagopus* sp. the exceptions. In the South Gallery appear species that are usually related to open spaces and scarce woodland (*Falco tinunnculus*, *Lagopus* sp. *Alectoris rufa*, *Perdix perdix* and *Sturnus vulgaris*), landscape that nowadays can be found in the upper pasture area of the cave. On the other hand, in the North Gallery were those associated with woods, such as *Strix aluco* and *Coccothraustes coccothraustes*, related to the slope of the cavity. This difference between the bird remains of both galleries should be understood as a consequence of the predators' activity (Elorza, 1989). Moreover, in the South Gallery appeared two vertebras of *Salmo salar* and another one in the North Gallery. It is thought that this specie could appear in the Deba River and, as a consequence, in the tributaries of Oñate, Urkulu and Jaturabe Rivers, close to the cave (Altuna, 1998). In this sense, Armendariz et al. (1989) suggest the possibility that those remains were part of the grave goods.

The study of micro mammals from the Urtao cave was based on 1233 remains; among them were determined 22 species of *Rodentia*, *Insectivora* and *Chiroptera* orders. While the remains obtained in the North Gallery and in the South Gallery are heterogeneous, it has been considered that these differences are not related to deep changes in biotopes, but because of the action of predators that deposited the fauna in two galleries, as well as on the characteristics of each of them. In general, the North Gallery represents an association in which mainly the species of thermophilic forest appear. The South Gallery sets a landscape in which forest continues to have significance, but with the importance of wet and stony meadows (Peman, 1989).

### 5.9.2. Selected materials

In this work the individuals of the North Gallery were sampled: 2 infantiles (Individual 1 and 7), 2 juveniles (Individual 2 and 8), 1 young-adult (Individual 5) and 2 adults (Individuals 3 and 4). For this purpose costal or long bone remains were taken. Additionally, a total of 6 samples of faunal taxa were taken: *Cervus elaphus*, *Sus scrofa*, *Equus caballus*, *Capreolus capreolus*, *Ovis aries/Capra hircus* and *Capra pyrenaica*.

Referring to enamel samples, unfortunately, it was this time not possible to associate and individualise directly the teeth with the bone remains and, as a consequence, we took five upper right P2, in order to be secure that different individuals were sampled. The only exception is the sample related to Individual 5, in which case M1 and M2 have been analysed from a mandible, and thus can be linked to the carbon and nitrogen stable isotope analysis (Table 5.31).

Bone sample (S-UCT)	Specie	Corresponding enamel sample	Archaeological	Sex/Age
18606	Human (Ind. 2)	-	UII.GNI.Ind.2	Young adult
18607	Human (Ind. 3)	-	UII.GN.I.Ind.3	Adult

18608	Human (Ind. 4)	-	UII.GN.I.Ind.4	Adult
18609	Human (Ind. 5)	18266 and 20259	UII.G.II.Ind.5	Young adult
18610	Human (Ind. 7)	-	UII.GN.II.Ind.7	Infantile
18611	Human (Ind. 8)	-	UII.GN.III.Ind.8	Young adult
18612	Human (Ind. 1)	-	UII.GN.I.29.Inf.	Infantile
18613	<i>Cervus elaphus</i>	-	UII.GS.12F.100.107	-
18614	<i>Sus scrofa</i>	-	UII.GS.12F.106.177	-
18615	<i>Equus caballus</i>	-	UII.GS.6E.190	-
18616	<i>Capreolus capreolus</i>	-	UII.GS.6F.202.243	-
18617	<i>Ovis aries/ Capra hircus</i>	-	UII.GS.13G.98	-
18618	<i>Capra pyrenaica</i>	-	UII.GS.13G.110.187	-

Table 5.31: Urtao II samples summary.

### 5.9.3. Carbon and nitrogen results

It was possible to analyse the >30kDa collagen fraction from all analysed samples (7 human and 6 faunal remains), and sufficient collagen was obtained to analyse each sample in duplicate (Table 5.32, Fig. 5.39). Additionally, all the samples met the published quality controls: %C >30, %N >10 and C:N elemental ratio between 2.9 and 3.6 (Ambrose, 1993; Van Klinken, 1999).

Bone sample (S-UCT)	Specie	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ )‰	%C ( $\bar{x}$ )	%N ( $\bar{x}$ )	C:N ( $\bar{x}$ )	% Coll
18606	Human (Ind. 2)	-20.2	9	43.1	15.6	3.2	7.3
18607	Human (Ind. 3)	-20.7	8.8	42.8	15.5	3.2	5

18608	Human (Ind. 4)	-20.1	9.2	43	15.4	3.3	3.7
18609	Human (Ind. 5)	-20.5	8.4	41.7	15.1	3.2	4.3
18610	Human (Ind. 7)	-20.8	9.2	43.1	15.6	3.2	7.1
18611	Human (Ind. 8)	-19.8	8.2	42.9	15.5	3.2	8.3
18612	Human (Ind. 1)	-21	9.2	42.7	15.3	3.3	6.2
18613	<i>Cervus elaphus</i>	-20.6	4.4	39.9	14.1	3.3	2.5
18614	<i>Sus scrofa</i>	-18.8	8.9	36	12.8	3.3	2.3
18615	<i>Equus caballus</i>	-21	2.8	39.4	14.2	3.2	1.8
18616	<i>Capreolus capreolus</i>	-21.8	4	33.9	11.3	3.5	2.3
18617	<i>Ovis aries/</i> <i>Capra hircus</i>	-20	3	37.5	13.6	3.2	2.2
18618	<i>Capra pyrenaica</i>	-19.8	1.9	41.3	14.9	3.2	2.2

**Table 5.32: Carbon and nitrogen isotopes results of Urtao II.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ mean values and collagen quality parameters (%C, %N and C:N) of the two measures analysed for each sample. [To check original data of Run A and B see Appendix 1].**

The herbivore baseline for Urtao II is obtained from the samples of *Cervus elaphus*, *Equus caballus*, *Capreolus capreolus*, *Ovis aries/Capra hircus* and *Capra pyrenaica*, which are very similar to the values obtained from other sites:  $\delta^{13}\text{C}$ :  $-20.7 \pm 0.8$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $-21.8$  ‰, max:  $-19.8$  ‰) and  $\delta^{15}\text{N}$ :  $3.2 \pm 1$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $1.9$  ‰, max:  $4.4$  ‰). One omnivorous sample of a *Sus scrofa* was also sampled, with  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-18.8$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $8.9$  ‰ and, therefore, it is located clearly in a higher trophic level than the herbivores.

All the human remains are clustered coherently in the levels that can be expected for individuals with a diet based on the consumption of  $\text{C}_3$  type terrestrial protein, as can be seen in Figure 5.39. Taken all together, the  $\delta^{13}\text{C}$  values are  $-20.5 \pm 0.4$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $-21$  ‰, max:  $-19.8$  ‰) and the  $\delta^{15}\text{N}$  values are  $8.9 \pm 0.4$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $8.2$  ‰, max:  $9.2$  ‰), indicating the consumption of  $\text{C}_3$  type terrestrial protein, as can be observed by the trophic level occupied by humans in comparison with herbivores (about 5 ‰ higher). There is no isotopic evidence for marine protein consumption.



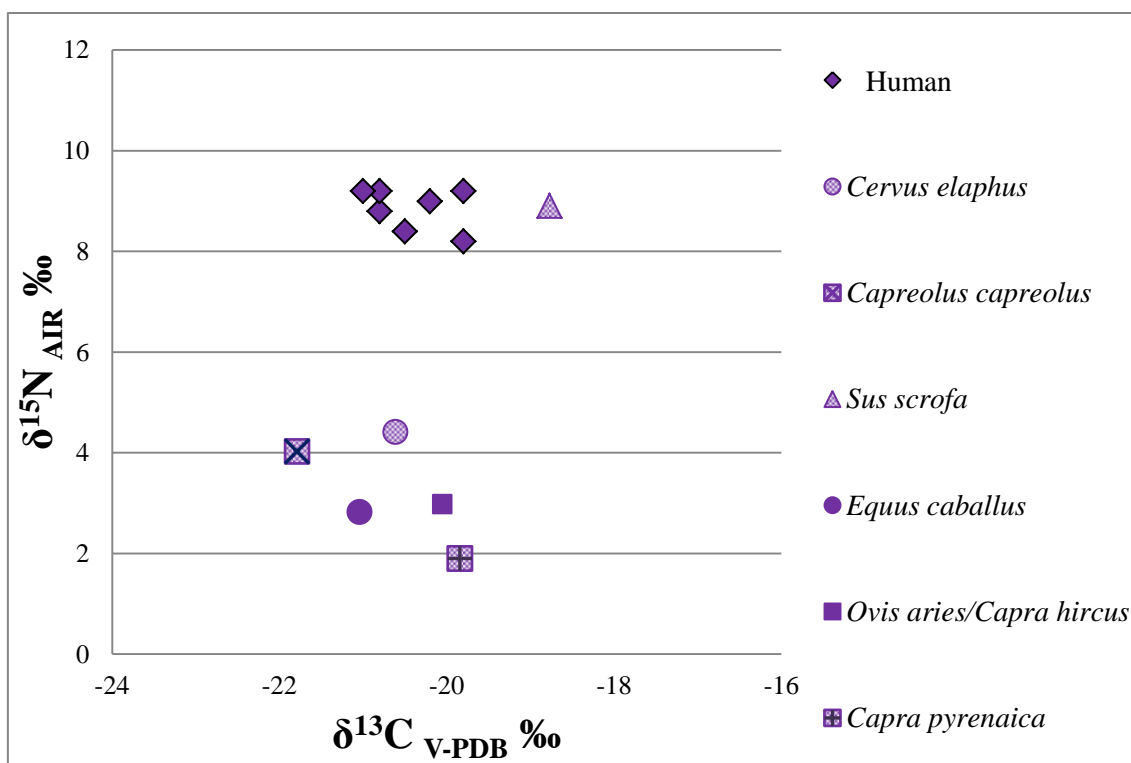


Figure 5.39: Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from Urtao II.

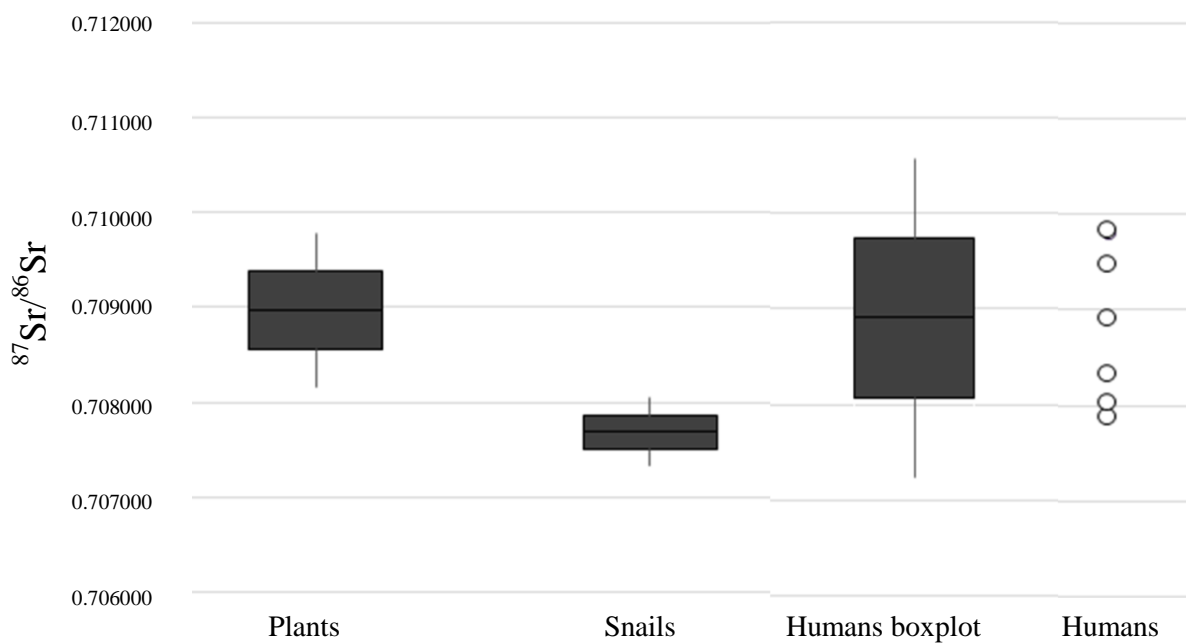
#### 5.9.4. Strontium results

Urtao II is located in a mountainous area with a Lower Cretaceous substrate (Albian-Aptian). The modern plant samples ( $n=5$ ) gave a mean of  $0.708971 \pm 0.000406$  and snail shell samples ( $n=5$ ) of  $0.707690 \pm 0.000181$ . The bioavailable local mean value would be  $0.708330 \pm 0.000737$  ( $1\sigma$ ). Table 5.33 shows that of all the individuals analysed ( $n=7$ ), with a mean value of  $0.708908 \pm 0.000831$  ( $1\sigma$ ), most of them fall inside the bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios, determined by the modern samples. However, two values (S-UCT 18268, 18269) stand out (Fig. 40).

S-UCT	Specie	Sr Concentration (ppm)*	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (V)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18108	<i>Corylus</i>	-	0.056526	8.03	0.709309
18109	<i>Pinaceae</i>	-	0.056574	9.17	0.708731
18110	<i>Smilax aspera</i>	-	0.056578	8.65	0.708618
18111	<i>Rubus</i>	-	0.056545	5.28	0.709504
18112	<i>Poaceae</i>	-	0.056578	8.61	0.708691
18209	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056508	9.16	0.707526
18210	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056488	9.02	0.707921

18211	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056551	7.85	0.707488
18212	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056540	9.09	0.707760
18213	<i>Helix aspersa</i>	-	0.056559	9.67	0.707756
18266	Human (M1)	154.9	0.056558	9.15	0.708339
20259	Human (M2)	219.5	0.056663	5.00	0.707882
18267	Human (P2)	111	0.056500	7.98	0.709469
18268	Human (P2)	124.6	0.056569	8.36	0.709811
18269	Human (P2)	93.4	0.056561	8.33	0.709835
18270	Human (P2)	112.2	0.056548	8.53	0.708991
18271	Human (P2)	213.4	0.056531	8.00	0.708032

**Table 5.33: Results of strontium values of the modern samples and archaeological samples of Urtao II. \*Concentrations have been carried out only in archaeological samples in order to check the possible diagenesis.**



**Figure 5.40: Plot of the strontium values of Urtao II archaeological site. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range.**

### 5.9.5. Summary

The first idea to highlight is that the nitrogen values of the analysed two children are very close to the highest levels of the site (9.2 ‰ for Individual 1 of 6 years and for Individual 7 of 7 years), taken into account that they are near to the mean value of  $8.9 \pm 0.4$  ‰. In this sense it is remarkable the same nitrogen value of 9.2 ‰ of one of the male adults (Individual 4). To summarise, the results indicate the consumption of C<sub>3</sub> type terrestrial protein, as can be observed by the trophic level occupied by humans in comparison with *Capreolus capreolus* or *Cervus elaphus* (about 5 ‰ higher). Referring to faunal remains, the high nitrogen value of *Sus scrofa* (8.9 ‰) is clearly located in the same trophic level as humans. Moreover, the results among herbivores differ considerably, taking into account, for example, the low value of *Capra pyrenaica* (1.9 ‰) and the relatively high of *Cervus elaphus* (4.4 ‰).

Focusing on strontium values, as it has been explained in the summary of Iruaxpe I, the first thing that gets attention is the lack of overlap between snails and plants, probably linked with a different absorption of the strontium levels. On the other hand, taking into account the bioavailable range of 0.707593-0.709067, three values (S-UCT 18267, 18268, 18269) do not enter within the established range, although they remain relatively close, possibly suggesting a local source or a similar geology by all the individuals analysed. On the other hand, the rest of the individuals have strontium values that match with the bioavailable range. Finally, in the case of the individual for which have been analysed both M1 and M2, it can be suggested a slight mobility, while both values are considered locals quite close to each other and the M1 values have to be taken with caution as mentioned in the 2.3 section of this Thesis.



## 6. Discusión

Tras la exposición de los resultados, en este apartado vamos a proceder a la interpretación y discusión de los mismos atendiendo a su cronología, comparándolos con datos previamente publicados y analizando las implicaciones que tienen en el discurso arqueológico de nuestra área de estudio.

### **6.1. Resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ : limitaciones**

Tal y como hemos ido observando en el desarrollo de esta Tesis Doctoral, los isótopos estables de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  nos aportan información sobre los patrones de alimentación, en este caso, de los restos faunísticos y humanos seleccionados en los yacimientos de Pico Ramos, Santimamiñe, Karea, Marizulo, Fuente Hoz, Kurtzebide, Iruaxpe y Urtao II.

En primer lugar, y antes de desarrollar la discusión, debemos dejar constancia de las limitaciones a las que nos hemos enfrentado a la hora de encarar este trabajo: (1) en la mayoría de los yacimientos, la muestra no es tan amplia como sería deseable y, aunque consideramos que yacimientos no especialmente ricos deben ser igualmente estudiados, este factor ha resultado ser un obstáculo a la hora de establecer patrones; (2) en varios casos, el estado de los depósitos, debido tanto a las actividades diagenéticas, como a la acidez de los suelos, no ha permitido llevar a cabo estudios antropológicos detallados, por lo que ha resultado imposible establecer patrones generales por edad y sexo; (3) la escasez de restos faunísticos en algunos de los lugares analizados ha dificultado una interpretación detallada de los resultados; (4) las propias limitaciones del método (para más información consultar 2.3. *Current status of carbon, nitrogen and strontium isotopes*). Aun así, consideramos que todos los yacimientos seleccionados para el presente trabajo son, como muchos otros, merecedores de los estudios pertinentes, enmarcados en un contexto geográfico y cronológico de gran interés.

La discusión de los datos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  obtenidos se ha estructurado comenzando por un repaso a los resultados faunísticos, al que le sigue un análisis diacrónico de los datos para humanos, tratando, en primer lugar, de establecer patrones entre los diferentes yacimientos de la misma época, y así observar las tendencias generales o la posible evolución en la explotación de los recursos. En segundo lugar, realizaremos una comparación a mayor escala con los resultados de otras investigaciones, para poder concluir con las implicaciones arqueológicas de esta Tesis Doctoral en el área de estudio.

#### **6.1.1. Análisis de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los restos faunísticos**

Tal y como expusimos en el apartado de antecedentes, los restos faunísticos encontrados en un yacimiento han sido, y siguen siendo, indispensables en el estudio de las bases de subsistencia de los grupos prehistóricos; para lo que se analizan las especies y el número de restos de las mismas. En el caso de la presente Tesis Doctoral, han sido

igualmente relevantes, puesto que gracias a ellos podemos conocer los perfiles isotópicos de las diferentes especies y relacionarlos con los resultados humanos.

Secuenciando todos los resultados faunísticos atendiendo a su cronología observamos que en el Mesolítico (Fig. 6.1) tan sólo contamos con tres muestras, siendo la media de los dos herbívoros de  $\delta^{13}\text{C}$   $-20.3\pm 0.1$  [1 $\sigma$ ] ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$   $2.6\pm 0.1$  [1 $\sigma$ ] ‰ respectivamente. En contraste, los valores del omnívoro *Sus scrofa* muestra unos valores ligeramente más elevados ( $\delta^{13}\text{C}$   $-20.2$  y  $\delta^{15}\text{N}$   $3.9$ ), si bien el aumento, de tan sólo 1 ‰ por encima de la media de los herbívoros, nos indica que, aun teniendo en cuenta los pocos datos que tenemos, este omnívoro posiblemente se alimentaría, sobre todo, de recursos de origen vegetal. Desgraciadamente, no contamos con resultados de restos fluviales o marinos, que hubiesen sido de especial interés, teniendo en cuenta la importancia que tuvieron estos recursos durante el Mesolítico en buena parte de la Península Ibérica y la Facha Atlántica Europea en general.

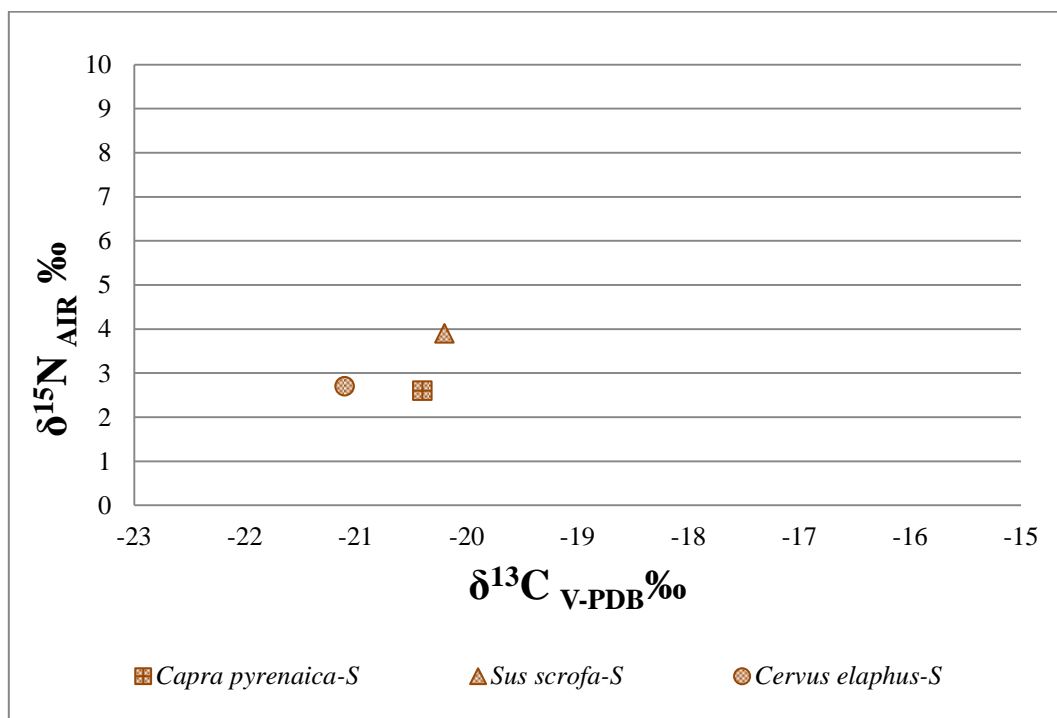


Figura 6.1: Gráfica con los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de la fauna mesolítica de Santimamiñe (S).  
\*Los marcadores con relleno en trama hacen referencia a especies salvajes.

En el Neolítico contamos con más resultados, provenientes de diferentes depósitos (Fig. 6.2) y especies de fauna, tanto salvaje, como doméstica; esta última jugará a partir de este periodo un papel fundamental en la economía y alimentación humana, tal como desarrollábamos en los antecedentes de esta Tesis Doctoral. La media de todos los herbívoros para este periodo es de  $\delta^{13}\text{C}$   $-20.7\pm 0.8$  [1 $\sigma$ ] ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$   $4.7\pm 2.5$  [1 $\sigma$ ] ‰ respectivamente, lo que les sitúa en los baremos habituales de un consumo de recursos terrestres tipo  $\text{C}_3$ . La media de las muestras domésticas (n=4), compuesta por restos de *Ovis aries*/*Capra hircus* y *Bos taurus*, tiene unos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  que se solapan con la

media de los salvajes (n=7) ( $\delta^{13}\text{C}$   $-21\pm 0.8$  [ $1\sigma$ ] ‰ y  $-20.6\pm 0.7$  [ $1\sigma$ ] ‰ respectivamente), que seguirían formando parte de la alimentación humana, tal y como muestran los estudios arqueológicos. Sin embargo, la media de los valores de nitrógeno difieren notablemente, a pesar de la amplia desviación estándar ( $\delta^{15}\text{N}$   $6.7\pm 2$  [ $1\sigma$ ] ‰ en el caso de los domésticos y  $4.2\pm 2.5$  [ $1\sigma$ ] ‰ para los salvajes). Esta diferencia podría relacionarse con el ya mencionado consumo de pastos que hubiesen sido previamente abonados con estiércol de origen animal, lo que incrementaría los valores de nitrógeno.

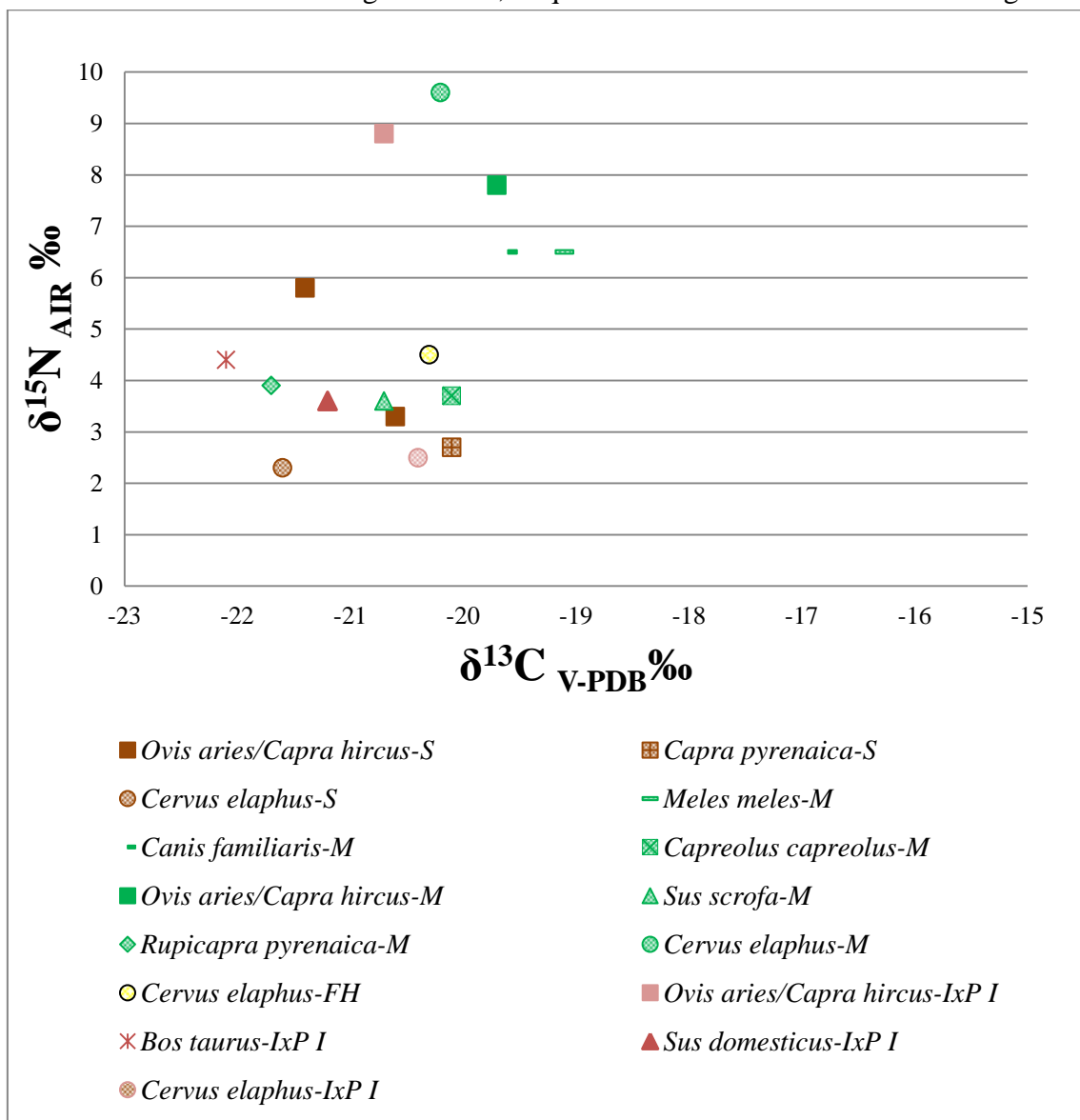


Figura 6.2: Gráfica con los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de la fauna neolítica de los yacimientos de Santimamiñe (S), Marizulo (M), Fuente Hoz (FH) e Iruaxpe I (IxP I).

\*Los marcadores con relleno en trama hacen referencia a especies salvajes, los de relleno sólido a domésticas o indeterminadas.

Esta variabilidad, tanto en el caso de los domésticos, como en el de los salvajes, puede deberse a diferentes factores que influyen en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . En primer lugar, y tal y como hemos analizado previamente (2.3.1. *Isotopic principles*), el incremento en  $\delta^{15}\text{N}$  puede deberse a que el individuo analizado se encontraba en periodo lactante, puesto

que en esta fase, la cría se alimentan directamente de la madre y, por lo tanto, incorpora sus niveles de nitrógeno, a lo que se le sumaría el ya mencionado enriquecimiento trófico (3-6 ‰). Sin embargo, esta explicación no puede utilizarse cuando la muestra proviene de un animal adulto, por lo que debemos buscar otras posibilidades. Comenzando por la base, el nitrógeno presente en las plantas muestra variaciones que dependen tanto de factores naturales como antrópicos, que afectan al sistema sustrato-planta (Szpak, 2014) y, como consecuencia, a los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de los animales que las consumen (Villalba-Mouco et al., 2018a). Entre los factores naturales, los más significativos son la presencia de material orgánico, la temperatura y la disponibilidad de agua (Ambrose, 1991; Handley et al., 1999). En investigaciones recientes, se planteó que los valores altos de nitrógeno no podían explicarse con un único factor (Villalba-Mouco et al., 2017), y subrayaban la relación entre un alto  $\delta^{15}\text{N}$  y un ecosistema templado donde las plantas asimilarían el nitrógeno de manera más eficiente (Amundson et al., 2003; Handley et al., 1999). Esta misma idea se vería apoyada por estudios ambientales llevados en el tercio norte peninsular, que presentan una fase climática más cálida en el Holoceno Reciente (Hernández-Beloqui et al., 2015)

Concretando en los resultados de los especímenes salvajes, en el caso de los *Cervus elaphus*, existen estudios que remarcan que el patrón de variación temporal del nitrógeno fecal está determinado principalmente por el desarrollo fenológico de las plantas consumidas, ya que el contenido de nitrógeno en las plantas depende de dicho factor. Así, cuando el material vegetal se encuentra en las primeras etapas del desarrollo contiene el pico máximo de nitrógeno, y decae a medida que nos acercamos al invierno (Garin et al., 2001; Mattson, 1980; Van Soest, 1994). Como consecuencia, esta misma tendencia temporal se observa en el nitrógeno fecal de ciervos actuales del norte de la Península Ibérica, si bien es importante destacar que el patrón estacional de la dieta varía enormemente entre las distintas poblaciones de ciervos incluso hoy en día (p.e., Álvarez y Ramos, 1991; Dzieciolowski, 1969; Garin et al., 2001; Groot-Bruinderink y Hazebroek, 1995; Mitchell et al., 1977; Venero, 1984). Aunque el contenido del nitrógeno fecal no es directamente comparable con los datos isotópicos del hueso, esta investigación plantea un aspecto que deberemos considerar y desarrollar en el futuro.

Aunque los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  son más homogéneos, debemos recordar que pueden reflejar algunas características sobre la fisiología de la planta ingerida (Seibt et al., 2008). Esto se debe a que el  $\delta^{13}\text{C}$  está principalmente relacionado con la eficacia, por parte de las plantas, en la absorción de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera; que depende, a su vez, de varios factores ambientales, como la luminosidad, la disponibilidad de agua y la temperatura (O'Leary, 1981; Tieszen, 1991). Por lo tanto, diferentes valores de  $\delta^{13}\text{C}$  pueden relacionarse con una alimentación proveniente de diferentes ecosistemas, como por ejemplo el consumo de recursos acuáticos continentales en ecosistemas terrestres (p.e., Müldner et al., 2014; Schulting et al., 2017).

Respecto a los omnívoros, tenemos la suerte de contar para el mismo periodo con una muestra de *Sus domesticus* y otra de *Sus scrofa* que, si bien provienen de lugares



diferentes, se encuentran relativamente cercanos. En ambos casos, los niveles de  $\delta^{15}\text{N}$  son de 3.6 ‰, lo que indicaría un consumo de recursos muy similar, no observándose ninguna variación a nivel isotópico, si bien esos niveles pueden haber sido asimilados mediante diferentes recursos, pero con mismos niveles de nitrógeno. Respecto a los niveles de  $\delta^{13}\text{C}$ , la especie salvaje se encuentra 0.5 ‰ por encima; esta diferencia podría responder a la explotación de diferentes ecosistemas en los que habitaban. Desgraciadamente, la escasez de individuos no nos permite afinar más en la interpretación. Por último las dos muestras de carnívoros de Marizulo aportan una media de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-19.4 \pm 0.4$  [1 $\sigma$ ] ‰, y el mismo valor de  $\delta^{15}\text{N}$  de 6.6 ‰, que es de media 2.4 ‰ superior a la mayoría de herbívoros salvajes pero no de los domésticos, que se situarían incluso por encima. Esta información respalda, tal como era esperable, que los carnívoros tendrían una dieta basada principalmente en herbívoros salvajes.

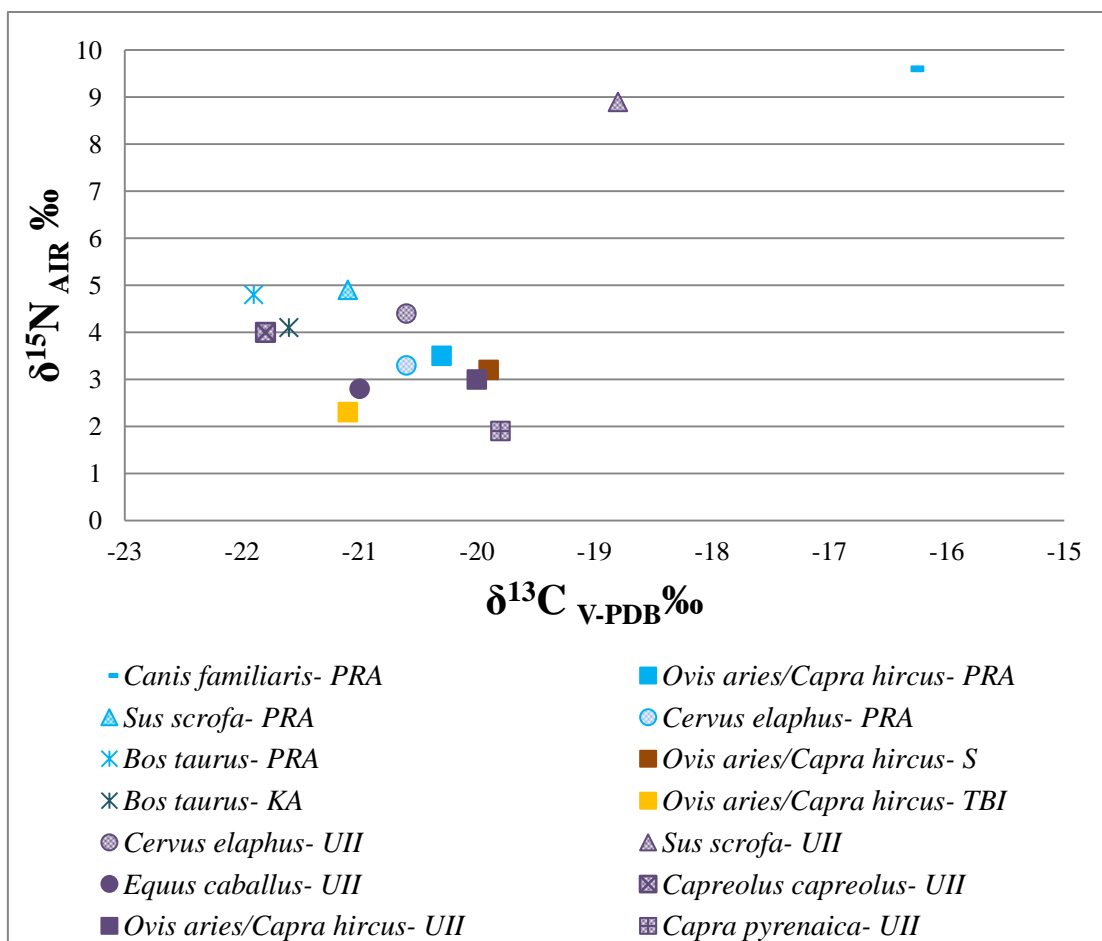


Figura 6.3: Gráfica con los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de la fauna calcolítica de Pico Ramos (PRA), Santimamiñe (S), Karea (KA), Kurtzebide (TBI) y Urtao II (UII). \*Los marcadores con relleno en trama hacen referencia a especies salvajes, los de relleno sólido a doméstica o indeterminada.

Finalmente, en el Calcolítico (Fig. 6.3), al contrario de lo que lo que ocurría en el Neolítico, todos los herbívoros, tanto animales domésticos como salvajes, se solapan, con medias de  $\delta^{13}\text{C}$   $-20.8 \pm 0.8$  [1 $\sigma$ ] ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$   $3.4 \pm 0.8$  [1 $\sigma$ ] ‰ respectivamente en el

caso de los domésticos (n=6) y  $\delta^{13}\text{C}$   $-20.7 \pm 0.8$  [ $1\sigma$ ] ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$   $3.4 \pm 1.1$  [ $1\sigma$ ] ‰ para los salvajes (n=4).

En el caso de los *Bos taurus*, al contrario de otros herbívoros con dietas menos selectivas, resulta reseñable que, siempre que sea posible, prefieren alimentarse exclusivamente de gramíneas y fabáceas, importantes fuentes de nitrógeno, lo que puede provocar un ligero enriquecimiento en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (Wolter, 1997). De las muestras de omnívoros, el *Sus scrofa* proveniente de Pico Ramos tiene un perfil alimentario puramente herbívoro, con valores muy próximos a los de *Bos taurus* o *Cervus elaphus*, mientras que el de Urtao II se asemeja más a lo que cabría esperar de un carnívoro, con valores de  $\delta^{15}\text{N}$  cercanos a 9 ‰. El único carnívoro de la muestra, un *Canis familiaris* de Pico Ramos, muestra valores tanto de  $\delta^{15}\text{N}$ , como de  $\delta^{13}\text{C}$ , más elevados y que podrían tal vez responder a un consumo de recursos estuarinos.

Si tenemos en cuenta todos los datos previamente explicados, tanto por yacimientos (5. *Materials and Results*), como por cronologías podemos extraer algunas conclusiones: (1) la amplia diversidad que se observa en las muestras, incluso en la misma especie y yacimiento; (2) la oscilación en los valores de nitrógeno de las especies domesticadas entre el Neolítico y el Calcolítico; (3) la variabilidad en los valores de las especies omnívoras. Como consecuencia, queremos remarcar la importancia de analizar los restos faunísticos de los yacimientos, de todas las cronologías que sean posibles, con el fin de establecer patrones de alimentación más exactos.

### 6.1.2. Patrones de alimentación humana por cronología

Al igual que en el caso de los resultados faunísticos, creemos conveniente analizar los resultados de las muestras humanas según su cronología, tal y como exponemos a continuación.

#### *Mesolítico*

El interés de las muestras mesolíticas analizadas en este trabajo reside en el cambio en los hábitos alimenticios que tiende a relacionarse con este periodo. Los estudios arqueozoológicos sugieren que durante el Mesolítico la explotación de los recursos estuarinos y marinos fue muy relevante, tal y como se ha observado con la presencia de concheros a lo largo de toda la franja costera (p.e., Arias et al., 2007). En el caso concreto de Santimamiñe, las evidencias arqueológicas encontradas muestran una evolución en la explotación del territorio, con, por ejemplo, la presencia o ausencia de recursos marinos. A ese interés hay que sumarle los pocos yacimientos mesolíticos con restos humanos hallados en el Cantábrico (Sarasketa-Gartzia, 2015), de los que se encuentran, tienen muy pocos individuos, y no todos tienen análisis de isótopos estables. Por todo ello, hemos considerado oportuno incluir las dos muestras mesolíticas provenientes del yacimiento de Santimamiñe, que resumimos en la Tabla 6.1 (Fig. 6.4).

Yacimiento	Nivel	Datación calBP*	Cronología	Número de muestras	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{X}$ ) ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{X}$ ) ‰
Santimamiñe	IV	8391±28	Mesolítico	2	-19.6±1.4	8.6±1

Tabla 6.1: Valores medios de los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las muestras humanas de cronología mesolítica obtenidos en la presente Tesis Doctoral. \*La información detallada sobre las dataciones se encuentra en el capítulo 5. *Materials and Results*

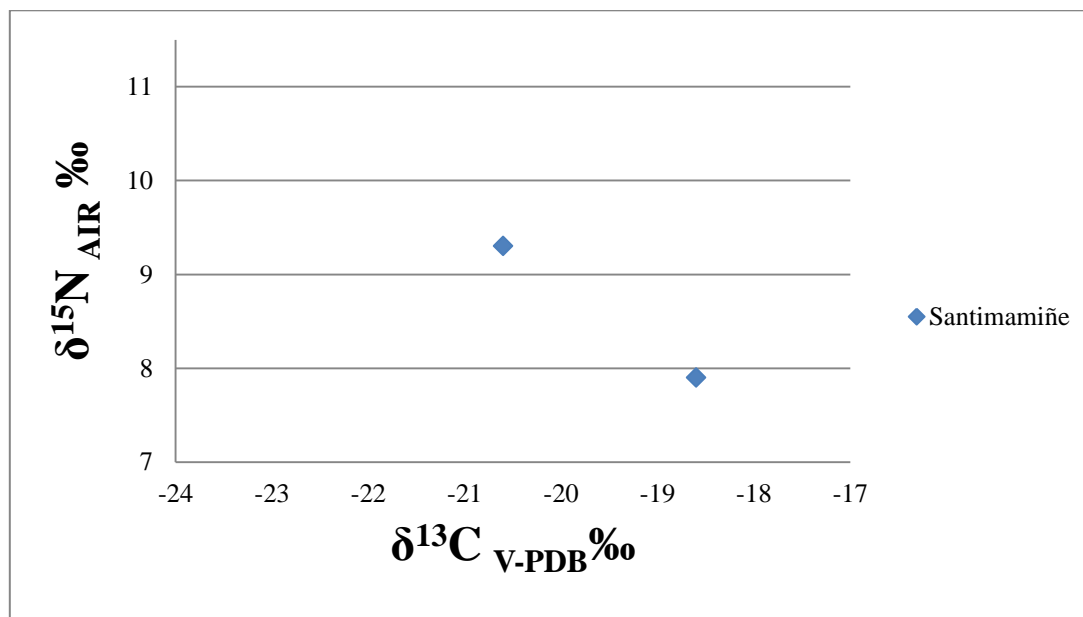


Figura 6.4: Gráfico con los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  las muestras mesolíticas humanas de Santimamiñe.

En contraste con la información que aportábamos en el apartado de antecedentes de esta Tesis Doctoral, no se observa en estos individuos evidencia de consumo de recursos marinos, con unos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  por debajo de 10 ‰ y con valores  $\delta^{13}\text{C}$  más negativos de lo que se esperaría si fuese el caso. Respecto a los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , cercanos a -20 ‰, pueden relacionarse con una dieta terrestre de tipo  $\text{C}_3$ , basada tanto en recursos de origen vegetal, como en los animales que las consumían (DeNiro and Epstein, 1978).

Por otro lado, llama la atención uno de los individuos (S-UCT 18459) que no encaja exactamente en ese patrón de una dieta basada en recursos terrestres tipo  $\text{C}_3$ . Sus resultados muestran unos niveles de  $\delta^{13}\text{C}$  (-18.6 ‰) superiores a la media del yacimiento y al índice ( $<-20$  ‰) que solemos relacionar con el consumo de recursos  $\text{C}_3$ . La primera explicación, aún más teniendo en cuenta la cercanía a la costa de este yacimiento y la cronología mesolítica a la que está asociado, estaría relacionada con un posible consumo de recursos acuáticos continentales, sin embargo, los valores bajos de  $\delta^{15}\text{N}$  desechan la idea. Otra hipótesis vendría dada por el posible consumo de alimentos

tipo C<sub>4</sub> que tienen valores de carbono más altos, cercanos a -13 ‰ (DeNiro and Epstein, 1978), aún más si tenemos en cuenta la media de los resultados que se dan en la zona. Sin embargo, estos valores de carbono son frecuentes en otras zonas geográficas (p.e., Villalba-Mouco et al., 2017), por lo que debería de plantearse, como opción más factible, la posible movilidad de este individuo desde otra región.

### *Neolítico*

Los resultados obtenidos para las muestras neolíticas están en consonancia con lo observado para los individuos del Mesolítico. Tal como vemos en la tabla resumen (Tabla 6.2), todas las muestras neolíticas (n=20) aportan una media de  $\delta^{13}\text{C}$   $-20.3 \pm 0.5$  [1 $\sigma$ ] ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$   $8.8 \pm 0.4$  [1 $\sigma$ ] ‰ respectivamente, incluyéndose en los valores habituales consecuencia de una explotación de recursos terrestres tipo C<sub>3</sub>. Esta conclusión podemos relacionarla directamente con lo que exponíamos en el apartado de antecedentes para esta cronología, en la que finaliza la diversificación de la economía como consecuencia de la introducción de la agricultura y la ganadería. A la economía de producción debemos añadirle que, durante las primeras fases del Neolítico, la caza de mamíferos como el ciervo y la cabra montesa, así como la recolección de plantas silvestres, seguirían teniendo gran importancia.

Yacimiento	Nivel	Datación calBP*	Cronología	Número de muestras	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ ) ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ ) ‰
Santimamiñe	III	5773±83 6254±39	Neolítico Medio-Final	2	-21.2 ±0.1	8.6±0.4
Iruaxpe I	I	6157±123 6204±134	Neolítico Medio-Final	10	-20.5 ±0.2	8.7±0.4
Marizulo	I	6079±90	Neolítico Final	1	-20.4	9
Fuente Hoz	Ia	5933±155	Neolítico Final	6	-19.7 ±0.2	9±0.5
Fuente Hoz	Ib	6038±129	Neolítico Final	1	-19.6	9.3

**Tabla 6.2:** Valores medios de los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las muestras humanas de cronología neolítica obtenidos en la presente Tesis Doctoral. \*La información detallada sobre las dataciones se encuentra en el capítulo 5. *Materials and Results*.

Comenzando por los resultados de  $\delta^{15}\text{N}$ , llama la atención la relativa variabilidad de incluso más de 1 ‰ entre los individuos de los yacimientos de Iruaxpe I y Fuente Hoz. Esta ligera diferencia puede deberse a un consumo desigual de plantas con mayor nivel de nitrógeno, tales como los cereales o las leguminosas provenientes de campos

fertilizados con estiércol animal (Bogaard et al., 2007). En cualquier caso, todos los resultados de  $\delta^{15}\text{N}$  sitúan a los humanos en un peldaño trófico claramente superior a los restos faunísticos.

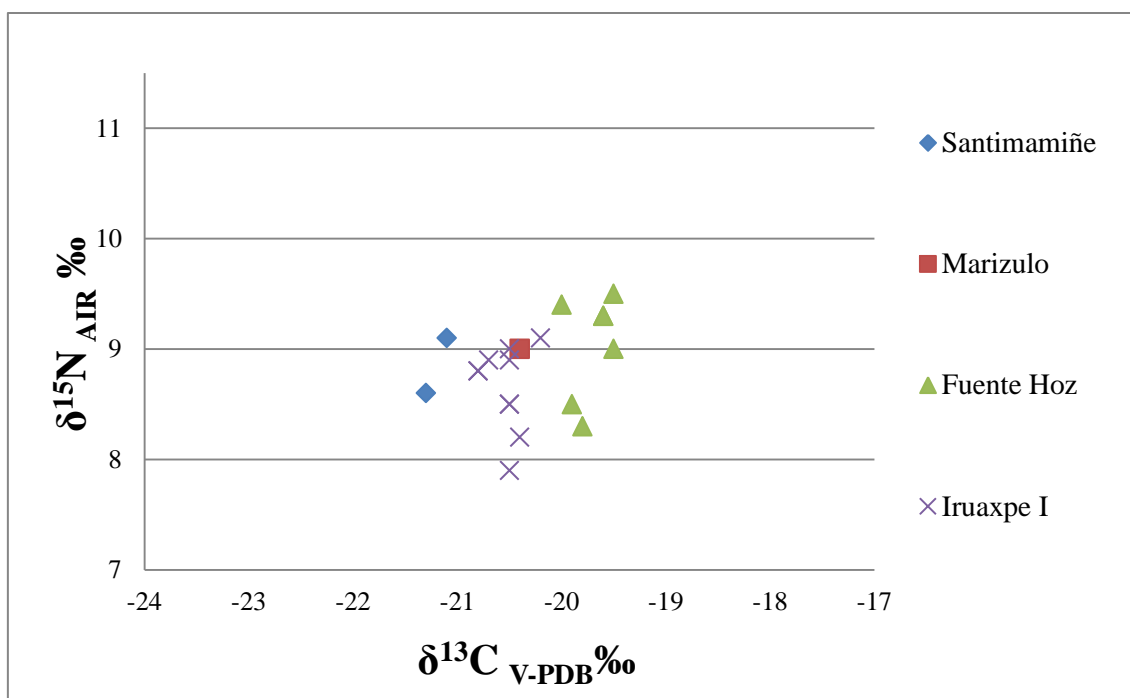


Figura 6.5: Gráfico con los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las muestras neolíticas de los yacimientos de Santimamiñe, Marizulo, Fuente Hoz e Iruaxpe I.

Por otro lado, la representación gráfica de los resultados neolíticos (Fig. 6.5) deja constancia de la variabilidad en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . Curiosamente, los valores más elevados son los de Fuente Hoz, que se trata del yacimiento ubicado más al interior; mientras que a medida que nos acercamos al norte esos valores van decreciendo. El siguiente bloque que observamos en la gráfica son los yacimientos de Iruaxpe I y Marizulo, solapando sus resultados, y con valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre  $-21$  y  $-20$ ‰. Finalmente, los valores del yacimiento de Santimamiñe reflejan los valores más bajos de carbono. Siendo así, podemos sugerir que la ligera variabilidad de los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  no tiene por qué responder a un consumo de recursos marinos o de tipo  $\text{C}_4$ , sino que puede deberse, sencillamente, a los valores propios de los diferentes ecosistemas y ecologías, observándose que los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  son superiores en el interior.

#### *Calcolítico y Edad del Bronce*

Respecto a las muestras procedentes de cronologías más recientes, hay algunos aspectos dignos de mención. Recordemos, en primer lugar, que este periodo se caracteriza por una generalización de las prácticas agrícolas y ganaderas que ya hemos visto en el Neolítico. En este mismo sentido, observamos en la tabla resumen (Tabla 6.3) que las muestras mantienen cierta coherencia ( $\delta^{13}\text{C}$   $-20 \pm 0.9$  ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$   $9.2 \pm 0.7$  ‰) con el patrón que relacionamos con un consumo de recursos terrestres tipo  $\text{C}_3$ , visto igualmente en las muestras neolíticas.

Yacimiento	Nivel	Datación calBP*	Cronología	Número de muestras	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ ) ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ ) ‰
Pico Ramos	3	4626±153 4730±141	Calcolítico	22	-20.4± 0.3	9±0.4
Santimamiñe	II	4062±62	Calcolítico -Edad del Bronce	2	-19.3± 2.1	10.2±1.3
Karea	-	4686±96	Calcolítico	1	-19.9	8.9
Kurtzebide	3	5093±154	Calcolítico	10	-20± 0.3	9.1±0.3
Urtao II	II.GN	5279±187	Calcolítico Inicial	7	-20.5± 0.4	8.9±0.4

**Tabla 6.3: Valores medios de los resultados de las muestras humanas de cronología calcolítica obtenidos en la presente Tesis Doctoral. \*La información detallada sobre las dataciones se encuentra en el capítulo 5. *Materials and Results*.**

El primer aspecto a destacar es la ausencia total de indicios que muestren la explotación de recursos de origen marino para los individuos de Pico Ramos. Resulta llamativo porque este yacimiento no sólo se encuentra a escasos metros de marismas y de la costa, sino que además cuenta con un conchero en el nivel estratigráfico inmediatamente inferior a su utilización como zona sepulcral.

En este mismo sentido, es reseñable la presencia de un solo individuo en Santimamiñe (S-UCT 18461) con unos valores que responden posiblemente a la explotación de recursos marinos, con niveles de  $\delta^{13}\text{C}$  -17.8 ‰ y de  $\delta^{15}\text{N}$  11.1 ‰. Este aspecto es especialmente llamativo, teniendo en cuenta que se trata de un caso anecdótico, no sólo entre los individuos de cronologías similares, sino también en las diferentes fases de ocupación del mismo yacimiento. Resulta curioso, además, que el único individuo de todos los analizados que sí puede relacionarse con un valor marino sea, precisamente, un individuo del comienzo de la Edad del Bronce, aunque profundizaremos en otras posibilidades más adelante. Esta circunstancia daría pie a una interpretación alejada de la visión tradicional, según la cual con la economía productora implantada se consumirían casi en exclusividad recursos terrestres.

El resto de resultados se agrupan de manera homogénea (Fig. 6.6a), aunque ampliando la zona central (Fig. 6.6b) se puede observar la tendencia que veíamos en el gráfico respecto a los resultados neolíticos: los yacimientos más cercanos a la costa parecen tener valores de carbono en general más bajos que los de interior, si observamos la nube de puntos de Pico Ramos, en contraposición a la de Kurtzebide. Sin embargo, el yacimiento de Urtao II destaca por la gran variabilidad de los resultados de carbono, sin guardar un patrón evidente, lo que podría indicar que los individuos analizados no

llevarían una dieta homogénea, sino que consumirían diferentes tipos de alimentos o procedentes de diferentes entornos y ecologías, tal y como veíamos con uno de los individuos mesolíticos de Santimamiñe.

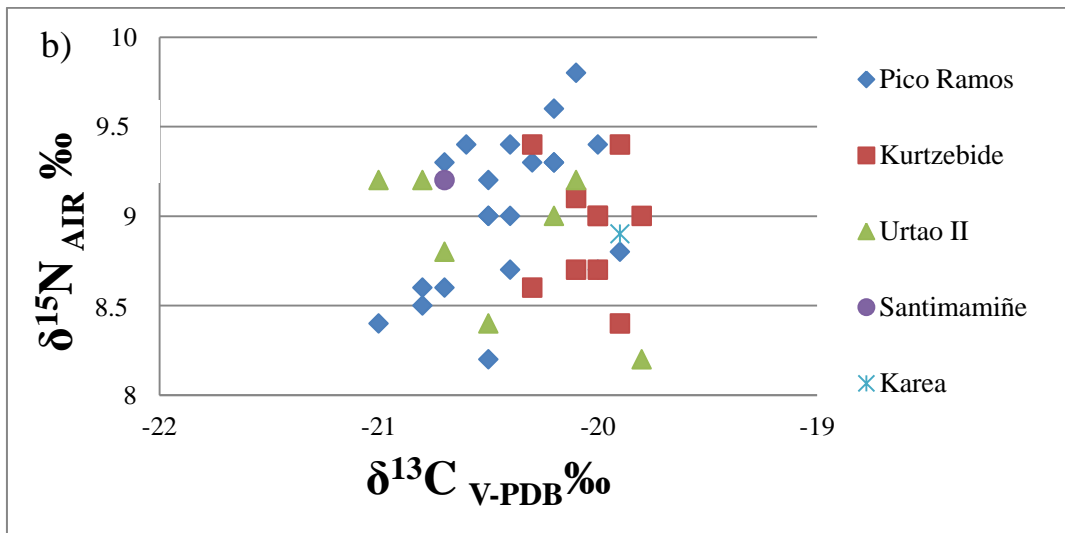
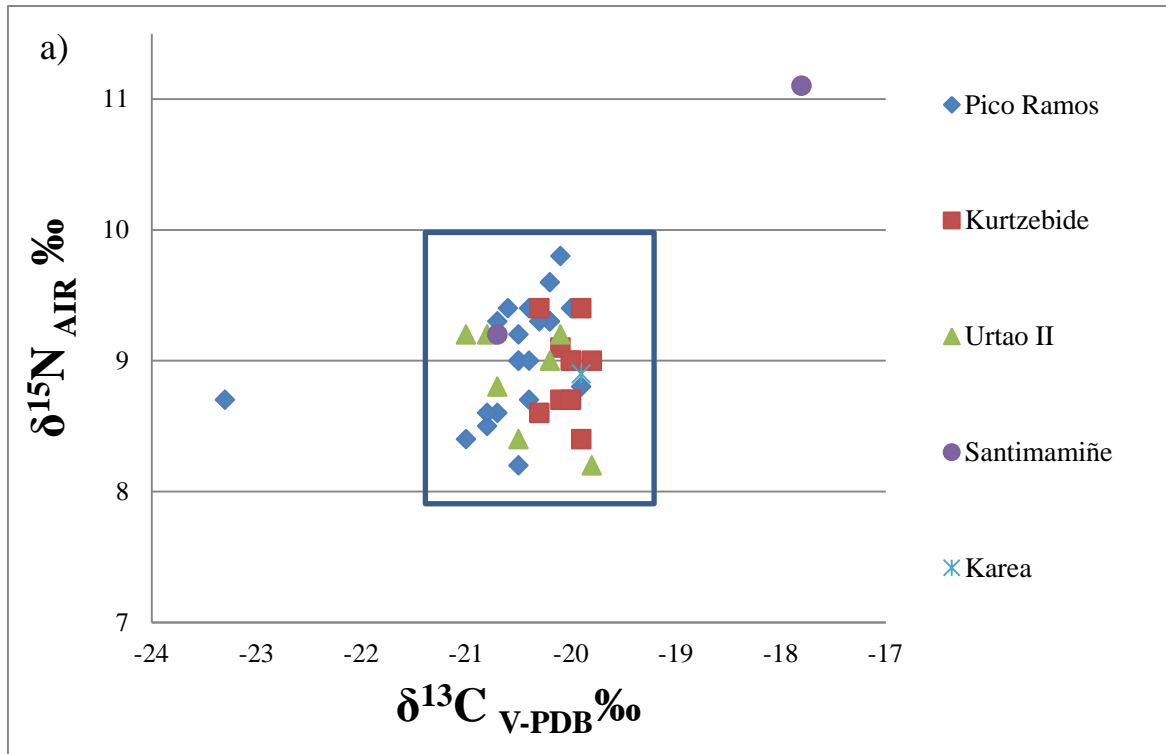


Figura 6.6: a) Gráfico con los resultados de las muestras calcólicas y de la Edad del Bronce de los yacimientos de Pico Ramos, Kurtzebide, Urtao II, Santimamiñe y Karea. b) Ampliación de la zona central del gráfico.

### 6.1.3. Tendencias generales de nuestra muestra

Una vez analizados los resultados de los análisis de isótopos estables, tanto por yacimientos, como por cronologías, destaca la gran importancia de los recursos terrestres tipo  $\text{C}_3$  en la dieta de estas poblaciones. Con la excepción de un único

individuo, en ninguno de los yacimientos, ni costeros ni de interior, hemos encontrado indicios para poder demostrar una de las hipótesis de partida de esta Tesis Doctoral: el consumo de productos marinos durante el Mesolítico y su progresivo abandono a partir del Neolítico. Si bien la presencia de la explotación costera ha resultado ser puramente anecdótica, es imprescindible recordar la amplia variabilidad que pueden tener otros recursos como los fluviales o estuarinos, y que sí pudo darse una explotación de los recursos marinos, pero sin llegar a reflejarse en el colágeno, consecuencia de un consumo esporádico. En este sentido, encajarían los resultados de elementos traza llevados a cabo en el yacimiento de Pico Ramos, según los cuales dichos recursos estuarinos tendrían un peso fundamental en la dieta (Baraybar y de la Rúa, 1995). Además, debemos tener en cuenta la ausencia de restos faunísticos de dichos ecosistemas, que podrían ayudar a la interpretación de los datos.

Por otro lado, observamos, especialmente en la Fig. 6.5, que el yacimiento de Santimamiñe tiene los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  más bajos y a medida que nos aproximamos al interior y a la vertiente mediterránea, estos van en aumento. Esta progresión ya se ha planteado anteriormente para el individuo de Santimamiñe que tenía valores, tanto de  $\delta^{13}\text{C}$ , como de  $\delta^{15}\text{N}$ , que difieren considerablemente de las medias generales. Por lo tanto, es destacable la variabilidad que pueden sufrir los datos de  $\delta^{13}\text{C}$  en función de las diferentes zonas geográficas y ecosistemas, y tenerlo en cuenta a la hora de realizar interpretaciones. En este mismo sentido, encontramos una ligera variabilidad incluso en el mismo yacimiento, como puede ser el caso de Urtao II y Pico Ramos (Fig. 6.8), con una variación superior al 1 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ , que podría indicar la explotación de recursos de diferentes ecosistemas, hipótesis que podría verse respaldada por los resultados de  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$  que analizaremos más adelante.

Respecto a posibles patrones relacionados con la edad o sexo, no es posible discutir diferencias potenciales debido al limitado número de individuos analizados antropológicamente. En cualquier caso, contamos con alguna evidencia concreta, como una posible mujer en el yacimiento de Fuente Hoz que se engloba a la perfección con el resto de valores de los individuos masculinos o indeterminados, no dando pie a ninguna conclusión respecto al diferente acceso a los recursos. Lo mismo ocurre con los patrones por edad. Los adultos y juveniles analizados no tienen valores que difieren entre ellos; ni tan siquiera en los casos en los que hay presencia de infantiles (Individuos 1 y 7 de Urtao II) se observan diferencias reseñables en los niveles de nitrógeno, como podría ocurrir en caso de verse condicionados por el periodo de lactancia.

#### **6.1.4. Comparación con resultados previos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en la zona de estudio**

Aunque hay pocos resultados mesolíticos en el norte de la Península Ibérica podemos hacer una comparación entre aquellos obtenidos en investigaciones previas y los resultados de la presente Tesis Doctoral. Los yacimientos analizados hasta ahora (Fig. 6.7), así como sus resultados pueden verse en la Tabla 6.4.



Yacimiento	Número de muestras	Cronología	Datación (BP)*	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ ) (1 $\sigma$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ ) (1 $\sigma$ ) ‰	Referencia bibliográfica
La Poza l'Egua	1	Mesolítico	8550±80	-16.7	12.2	Arias, 2005
Colomba	1	Mesolítico	7090±60	-15.8	12.6	Arias, 2005
Los Canes	5	Mesolítico	6638±418 (2 $\sigma$ )	-19.8± 0.7	8.1± 0.7	Arias, 2005
J3	1	Mesolítico	8300±50	-16.7	11.5	Arias, 2005
La Braña Arintero	2	Mesolítico	7030±50	-19± 0.1	10.5± 0	Arias, 2005 Vidal y Prada, 2010

Tabla 6.4: Resumen de los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de los individuos mesolíticos del Norte de la Península Ibérica. \*Media de las dataciones disponibles para cada yacimiento, para más detalles consultar la referencia bibliográfica correspondiente.

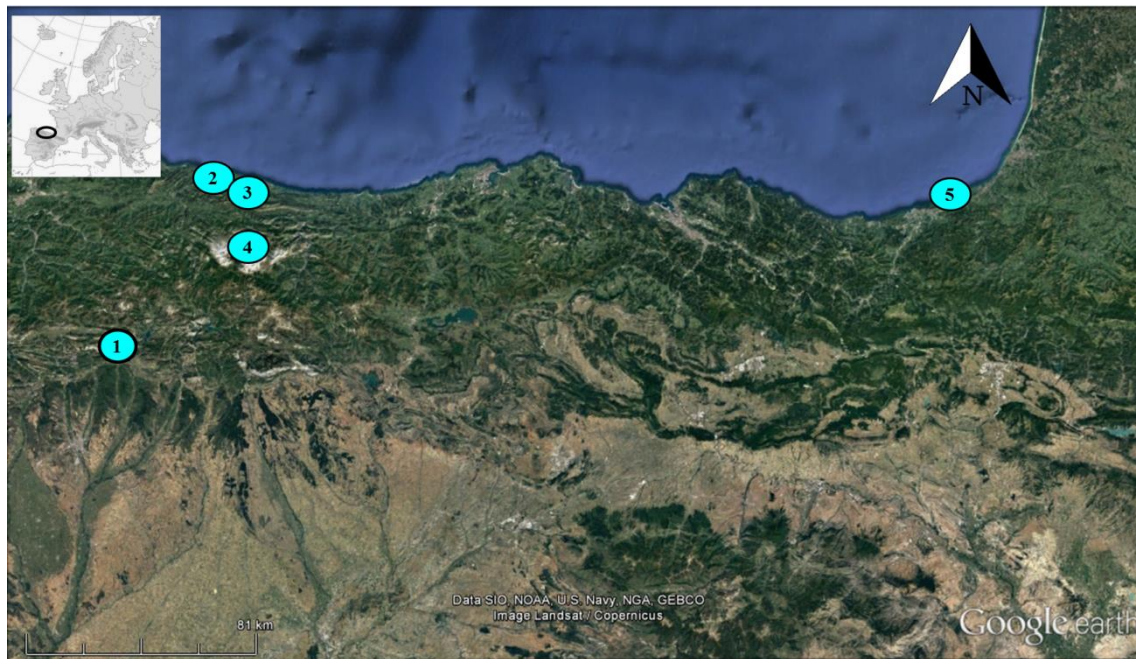


Figura 6.7: Situación geográfica de los yacimientos mesolíticos con análisis de isótopos estables realizados previos a esta Tesis Doctoral y mencionados en el texto.  
(1) Braña-Arintero (2) Colomba (3) La Poza l'Egua (4) Los Canes (5) J3.

Recordemos que las muestras mesolíticas de esta Tesis Doctoral provienen del yacimiento de Santimamiñe, relativamente cercano a la costa de Bizkaia, y que, sin embargo, tienen valores de  $\delta^{13}\text{C}$  -18.6 y -20.6 ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$  7.9 y 9.3 ‰ respectivamente. Por lo tanto, ambos individuos consumirían mayoritariamente recursos terrestres tipo  $\text{C}_3$ , asemejándose a los valores del yacimiento de Los Canes. El patrón alimentario de este yacimiento asturiano, a pesar de su relativa cercanía a la costa, fue en su momento planteado como posible consecuencia de un comportamiento territorial por parte de los individuos de yacimientos más costeros que impedirían el paso a la costa (Arias, 2005).

Es, sin embargo, muy arriesgado establecer cualquier tipo de comparación con el yacimiento de Santimamiñe y establecer un patrón de territorialidad sin más evidencias. Dejamos esta hipótesis por el momento planteada a la espera de la discusión de los resultados de  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$  y de posibles trabajos que complementen esta información en el futuro. En cualquier caso debemos recordar que la tendencia general en el resto de la costa atlántica europea durante el Mesolítico sería la de una explotación mayoritaria de recursos marinos.

Sin embargo, con las dos nuevas evidencias del yacimiento de Santimamiñe, ya serían siete los individuos que mostrarían un patrón terrestre en la región, frente a los tres con perfil marino de los yacimientos La Poza l'Egua, Colomba y J3. Con esto no pretendemos en absoluto restar valor a la importancia que debió tener el mar en esta cronología, tal y como se observa a través de los restos malacológicos y de la cultura material, tan sólo dejar constancia de que la información directa de los restos humanos indica que no se explotarían recursos de origen marino de forma tan exclusiva como previamente se había considerado.

A medida que avanzamos cronológicamente contamos con más restos humanos en la zona de estudio y consecuentemente más resultados isotópicos previamente publicados, los cuáles hemos englobado en la misma tabla (Tabla 6.5; Fig. 6.8), especificando su periodo cultural en cada uno de los casos, puesto que muchos de ellos se enmarcan en la transición Neolítico Final-Calcolítico Inicial.

Yacimiento	Número de muestras	Cronología	Datación (BP)*	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ ) (1 $\sigma$ ) ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ ) (1 $\sigma$ ) ‰	Referencia bibliográfica
Cotero de la Mina (Cantabria)	1	Neolítico	5133±55	-20.3	9.5	Arias, 2005
Alto Reinoso (Castilla y León)	29	Neolítico Final	4899±40 (2 $\sigma$ )	-19.6±0.3	9.9±0.4	Alt et al., 2016
Los Husos I (Araba)	8	Neolítico Final-Calcolítico	4670±50	-20.2±0.3	9.2±0.4	Fernández-Crespo y Schulting, 2017 Fernández-Eraso, 2006

Longar (Araba)	39	Neolítico Final- Calcolítico	4512±47 (2σ)	-20±0.3	9.3±0.6	Fernández- Crespo y Schulting, 2017; Armendariz e Irigay, 1993
Peña Larga (Araba)	6	Neolítico Final- Calcolítico	4510±56 (2σ)	-20.4±0.1	9.4±0.4	Fernández- Crespo and Schulting, 2017; Fernández- Eraso y Mujika, 2013
Las Yurdinas II (Araba)	48	Neolítico Final- Calcolítico	4346±51 (2σ)	-20.1±0.3	9.2±0.5	Fernández- Crespo y Schulting, 2017; Fernández- Eraso, 2003
Chabola de la Hechicera (Araba)	6	Neolítico Final- Calcolítico	4290± 589 (2σ)	-20.3±0.4	9.1±0.6	Fernández- Crespo y Schulting, 2017
Abauntz (Navarra)	40	Neolítico Final- Calcolítico	4243± 237 (2σ)	-20.2±0.3	9±0.6	Villalba- Mouco et al., 2018a
Alto de la Huesera (Araba)	46	Neolítico Final- Calcolítico	4218± 251 (2σ)	-19.9± 0.3	9±0.6	Fernández- Crespo y Schulting, 2017
Cueva San Juan (Aragón)	33	Neolítico Final- Calcolítico	4045± 428 (2σ)	-19.3± 0.3	10.3±0.6	Villalba- Mouco et al., 2017
Cova do Santo (Galicia)	13	Edad de Bronce	3681± 480 (2σ)	-19.9± 0.2	9.4±0.3	López- Costas et al., 2015
El Sotillo (Araba)	2	Neolítico Final- Calcolítico	3553± 495 (2σ)	-20± 0.1	9.9±0.1	Fernández- Crespo y Schulting, 2017

Ondarre (Gipuzkoa)	3	Edad de Bronce	3372± 566 (2σ)	-21.3± 0.4	9.4±0.6	Fernández- Crespo et al., 2016
La Garma A (Cantabria)	1	Edad de Bronce	3320±60	-21	9.5	Arias, 2005

Tabla 6.5: Resumen de los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de los individuos neolíticos, calcolíticos y de la Edad de Bronce del Norte de la Península Ibérica. \*Media de las dataciones disponibles para cada yacimiento, para más detalles consultar la referencia bibliográfica correspondiente.



Figura 6.8: Situación geográfica de los yacimientos Mesolíticos con análisis de isótopos estables realizados previos a esta Tesis Doctoral y mencionados en el texto.

(1) Cova do Santo (2) Cotero de la Mina (3) Garma A (4) Alto de Reinoso (5) Las Yurdinas II (6) El Sotillo (7) Los Husos (8) Peña Larga (9) Alto de la Huesera (10) Chabola de la Hechicera (11) Longar (12) Ondarre (13) Abautz (14) Cueva San Juan.

Una vez expuestos los resultados de las investigaciones previas, recordemos que la media de todos los individuos neolíticos de esta Tesis Doctoral era de  $\delta^{13}\text{C}$   $-20.3\pm 0.5$  [1σ] ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$   $8.8\pm 0.4$  [1σ] ‰ respectivamente, que encajarían con el resto de yacimientos expuestos en la Tabla 6.5. Esta homogeneidad sugiere un consumo de recursos de origen terrestre tipo  $\text{C}_3$  generalizado, si bien es posible que hubiera restricciones alimentarias que no dejen ninguna evidencia a nivel isotópico. Por otro lado, destacan los resultados de cronologías posteriores, cuya media es de  $\delta^{13}\text{C}$   $-20\pm 0.9$  [1σ] ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$   $9.2\pm 0.7$  [1σ] ‰ respectivamente. Lo llamativo de esta fase es que la mayoría de los individuos muestran el patrón alimentario que cabría esperar para el Calcolítico y la Edad de Bronce, con un consumo de recursos terrestres tipo  $\text{C}_3$ ; sin embargo, uno de los individuos de Santimamiñe (S-UCT 18461) difiere. Este individuo, asignado al nivel Calcolítico-Edad de Bronce ( $4062\pm 62\text{calBP}$ ), muestra un perfil

alimentario en el que queda patente la importancia que debieron tener los recursos de origen marino en su dieta ( $\delta^{13}\text{C}$   $-17.8\%$  y  $\delta^{15}\text{N}$   $11.1\%$ ). Sin embargo, otra posibilidad la podríamos encontrar en un posible consumo de recursos  $\text{C}_4$ , en el que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  fuesen más elevados, como ocurre de manera generalizada en Europa a partir del Calcolítico (p.e., Giblin y Yerkes, 2016).

Resulta interesante remarcar que lo mismo ocurre en la última investigación publicada por Villalba-Mouco et al. (2018a); en ella, uno de los inhumados de la Cueva de Abautz (Navarra) muestra los siguientes valores de  $\delta^{13}\text{C}$   $-19.3 \%$  y  $\delta^{15}\text{N}$   $11.3 \%$  respectivamente, siendo los valores más altos de todos los analizados en el mencionado trabajo. Una de las hipótesis planteadas ha sido el consumo de recursos de agua dulce, que ya ha sido previamente documentado en otras cronologías (Guiry et al., 2015), siendo destacable la presencia de salmones, truchas, reos y barbos en el yacimiento de Aizpea (Barandiaran y Cava, 2002). Puesto que el resultado de  $\delta^{13}\text{C}$  no es lo suficientemente alto, no se plantea un consumo de recursos marinos, pero sí, sin embargo, la posibilidad de un acceso a alimentos de origen estuarino que muestran valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  ligeramente inferiores a los marinos (Salazar-García et al., 2014a). En este mismo sentido, debemos destacar la problemática asociada a los salmones, previamente mencionados, puesto que pasan parte de su vida, tanto en el mar, como en los ríos, por lo que sus valores pueden ser muy dispares.

Comparando estos resultados con el resto de análisis de  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $\delta^{15}\text{N}$  realizados en la región, la mayoría de los nuevos datos son coherentes: muestran un consumo mayoritario de recursos terrestres tipo  $\text{C}_3$ . Sin embargo, no hay evidencia isotópica de la explotación de recursos marinos durante el Mesolítico, en contraste con lo que hemos observado que ocurre en otros yacimientos arqueológicos como J3 o La Poza l'Egua. Del mismo modo, podemos observar cómo los resultados para Santimamiñe son los que más difieren en las diferentes fases, comparados con los que encontramos en el resto de la región, a pesar de que somos conscientes de la escasez de los datos disponibles por ahora.

A modo de resumen, en contraste con lo que podemos observar en otras zonas de la Europa Atlántica en el Mesolítico (Sarasketa-Gartzia, 2015), por el momento no hay evidencias isotópicas que sugieran una explotación intensiva de recursos marinos en los yacimientos analizados en la presente Tesis Doctoral. Sin embargo, en las fachadas atlánticas de Francia (p.e., Schulting et al., 2008), Dinamarca (p.e., Schoeninger et al., 1983), Islas Británicas (p.e., Mannino y Thomas, 2001; Schulting y Richards, 2002a), Portugal (p.e., Fontanals-Coll et al., 2014) e incluso en otras áreas del norte de la Península Ibérica (Arias, 2005) hay un predominio de las proteínas marinas en la señal del colágeno de sus individuos. Los restos analizados de Santimamiñe, así como los del yacimiento de Los Canes (Arias, 2005), no sólo no muestran este patrón sino que, en el caso de Santimamiñe, tampoco permiten observar ningún cambio sustancial entre la dieta del Mesolítico y del Neolítico, a pesar de la escasez de dataciones y de que nuestros datos hagan referencia al Neolítico Final, como en el resto del Atlántico

(Richards et al., 2003c). Por el contrario, son evidentes las similitudes entre ambos periodos.

En cambio, una vez comienza el periodo Neolítico en la Fachada Atlántica Europea tampoco existen evidencias isotópicas de consumo de recursos marinos. El abandono progresivo de estos recursos aparece incluso en poblaciones costeras, donde se observa un cambio en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . Éste ha sido interpretado como un variación en el patrón alimentario, de la explotación de los recursos de origen marino a los terrestres (p.e., Bonsall et al., 2002; Schulting y Richards, 2002b). Esta tendencia también se observa en la Francia Atlántica (p.e., Le Bras-Goude et al., 2013), Dinamarca (p.e., Fischer et al., 2007), las Islas Británicas (p.e., Richards et al., 2003c) o Portugal (p.e., Waterman et al., 2015).

#### 6.1.5. Implicaciones arqueológicas de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Tal y como hemos mencionado previamente, la Arqueología, mediante el estudio de la cultura material, los restos faunísticos y malacológicos principalmente, sugiere que en el comienzo del Holoceno la explotación de los recursos, tanto estuarinos, como marinos fue muy relevante en el litoral. Prueba de ello sería la gran evidencia de concheros, no sólo en la región cantábrica, sino también en toda la Fachada Atlántica (p.e., Arias et al., 2007; Milner et al., 2007). Además, debemos destacar la explotación de recursos fluviales de algunos yacimientos como el de Aizpea, en el que apareció un elevado número de vértebras de peces, a pesar de que los análisis de elementos traza sugirieron una dieta principalmente vegetariana (De la Rúa et al., 2001). Sin embargo, con la llegada de la agricultura y la ganadería los alimentos de origen acuático (fluvial, marino o de estuario) dieron paso a las especies domésticas terrestres, que se convirtieron de manera gradual en dominantes, superando a las salvajes (Arias, 2005). Aun así, existen evidencias de restos de peces, como los de *Coger coger* y *Merluccius merluccius* encontrados en los niveles post neolíticos del yacimiento de Santimamiñe (Roselló y Morales, 2011); los artefactos para pesca en niveles neolíticos y moluscos del mismo yacimiento (López-Quintana, 2011; Gutierrez, 2011); o los 2180 restos de moluscos del yacimiento de Pico Ramos (Zapata et al., 2007). Estas evidencias sugieren que la explotación de los ambientes estuarinos y marinos no sería totalmente abandonada. Centrándonos en los moluscos, desgraciadamente, no resulta fácil establecer con seguridad el peso que tuvieron en la dieta en comparación con el aporte cárnico de animales terrestres. Esto se debe a que la estimación varía significativamente en función de la metodología que se utilice para dicha reconstrucción. A pesar de ello, podemos afirmar que los moluscos debieron de tener cierto grado de importancia en algunos yacimientos costeros, aunque sin olvidar que estos recursos tendrían siempre un valor complementario. Algunos investigadores como Gutierrez (2009) se basan en la rentabilidad cualitativa de la explotación de los moluscos y los definen como recursos estables, seguros y fáciles de obtener, cuyo valor nutritivo no sería despreciable.

Esta imagen de subsistencia, teniendo en cuenta los estudios arqueológicos previos, contrasta con la evidencia isotópica obtenida en esta Tesis Doctoral, si bien debemos una vez más recordar, tal y como hemos mencionado previamente (2.3.1. *Isotopic principles*), el enmascaramiento que sufrirían los alimentos vegetales. Aun así, la práctica totalidad de los resultados de los ocho yacimientos analizados en el presente trabajo parecen indicar que los recursos terrestres tipo C<sub>3</sub>, bien fueran domésticos o salvajes, serían el eje fundamental de la dieta. A este patrón alimentario general debemos añadirle dos excepciones, ambas del yacimiento de Santimamiñe, que exponemos a continuación.

La primera de ellas es el ya mencionado individuo de Santimamiñe con una cronología de 7050±81calBP (S-UCT 18459), que presenta una gran diferencia (ca. 2 ‰) en δ<sup>13</sup>C respecto al otro mesolítico, la cual no puede atribuirse al consumo de proteínas marinas, puesto que los valores de δ<sup>15</sup>N también son inferiores (ca. 1.5 ‰). Lo que nos lleva a la posibilidad de que este individuo consumiera una mayor proporción de alimentos de origen vegetal, que se alimentara de recursos provenientes de otro ecosistema con diferentes valores isotópicos o que consumiera recursos de agua dulce. Esta última hipótesis sería plausible en la medida en que en las últimas campañas del propio yacimiento se encontraron un total de 326 restos de *Salmo* sp. Según los investigadores a cargo del estudio (Roselló y Morales, 2011), la mayor parte de los restos son no identificables, a pesar de lo cual, y teniendo en cuenta la morfología vertebral, consideran que no son truchas de río. Por lo tanto, se concluyen que muy posiblemente se trate del reo o trucha marisca (*Salmo trutta trutta*), especie característicamente costera que se localiza en aguas salobres y que remonta los tramos de río, donde pudieron ser pescadas. Esta tendencia a la explotación de recursos de agua dulce ya ha sido documentada (p.e., Álvarez-Fernández, 2006; Cava, 1994), como el ya mencionado Aizpea (p.e., Barandiaran y Cava, 2002).

El segundo resultado discordante (S-UCT 18461, 4062±62calBP) puede deberse, en primer lugar, a un consumo de plantas C<sub>4</sub>, pero que también implicaría un aumento generalizado de los valores de δ<sup>15</sup>N, como consecuencia de prácticas avanzadas de cultivo. La segunda posibilidad es la de un consumo potencial de proteínas marinas, ya sea de manera directa o indirecta, en el caso de que consumieran herbívoros que se alimentaran, a su vez, de recursos marinos, como es el caso documentado de ovejas que en ocasiones consumen algas o plantas halófilas (Balasse et al., 2006). Resulta muy interesante encontrar una única muestra con este perfil, pero aún más que tenga una cronología tan tardía. Si cruzamos este dato con la información arqueológica que poseemos del yacimiento nos encontramos con un descenso cuantitativo de las evidencias de salmónidos, mientras que aumentan las especies puramente marinas. Aunque los excavadores remarcan que los restos son muy escasos, no deja de llamar la atención lo que ellos definen como abundancia relativa de especies marinas. Si las actividades pesqueras se reducen con la llegada de la ganadería y la agricultura, resulta contradictorio que sea precisamente ese el momento en el que aparecen alimentos de origen marino; si bien, existen otras evidencias como la presencia de *Merluccius*

*merluccius* en la cueva de Lumentxa (Aranzadi y Barandiaran, 1935b), estos fueron, sin embargo, relacionados con una contaminación posterior. A pesar de que los ejemplares más juveniles de merluza pueden acercarse al litoral, los restos de adultos que aparecen en Santimamiñe son característicos del talud oriental, por lo que Gutierrez (2009) plantea la hipótesis de intercambios con las zonas más costeras que el propio yacimiento o de un cambio de distribución y hábitos vitales de la especie. Mediante esta Tesis Doctoral no podemos dar respuesta a esta cuestión. Sí hemos conseguido, en cambio, aportar un nuevo dato en torno a este cambio alimentario que se produjo en cronologías post neolíticas. Debemos además recordar que en muchas zonas de Europa se documenta, ya en el Neolítico inicial e incluso en el Epipaleolítico, la pesca a cierta distancia del litoral (Clark, 1980) por lo que la existencia de la misma en el Cantábrico debe, como mínimo, plantearse, como ya ocurriría con el yacimiento de J3 (Álvarez-Fernández et al., 2014).

Resulta especialmente interesante observar cómo los yacimientos cercanos mesolíticos ya mencionados previamente (Poza l'Egua, Colomba y J3) (Arias, 2005) tienen individuos con valores muy diferentes a los de Los Canes y Santimamiñe. Estas diferencias alimentarias entre los últimos cazadores-recolectores del norte de la Península Ibérica podría ser, tal vez, resultado de diferencias culturales relacionadas con la explotación y el consumo de recursos marinos. Sería en este sentido interesante realizar análisis de ADN de estos dos grupos mesolíticos con diferente patrón alimentario con el fin obtener más información que pueda apoyar o desmentir esta teoría. Del mismo modo, otros análisis como los de azufre (Nehlich, 2015), o de los propios carbono y nitrógeno en secciones en serie de la dentina (Fuller et al., 2003) o de isótopos de aminoácidos (Naito et al., 2016) podrían quizás ayudar a detectar un consumo que hasta ahora ha resultado indetectable.

Centrándonos en cronologías neolíticas y post neolíticas, nos encontramos con artefactos que se han relacionado con posibles desigualdades sociales, especialmente en el caso de aquellos objetos de materias primas extrañas o exóticas. A partir del VI milenio calBP aparecen adornos de ámbar (p.e., Murillo-Barroso et al., 2018), minerales verdes (p.e., Villalobos y Odriozola, 2016), artefactos de cobre y oro en la Edad de los Metales (p.e., Garrido, 2000), hachas (p.e., Fernández-Eraso y Mujika, 2013), el lote de pulimentados que incluye objetos de serpentina y cuarzo citrino del túmulo de Dehesa de Río Fortes (Estremera y Fabián, 2002) o el hacha perforada del poblado calcolítico de Baldián (Fernández-Giménez et al., 1990). Sin embargo, en otras regiones geográficas, como Francia, Inglaterra o Alemania, esta cuestión ha sido más extensamente estudiada, a través de materias primas líticas (p.e. Fernandes et al., 2008), moluscos marinos terciarios y recientes (p.e., Álvarez-Fernández, 2001, 2003), ámbar (p.e., Polloni, 2008) o azabache (p.e., Álvarez-Fernández, 2004). Algunos investigadores han sacado a colación la discusión de si fue, precisamente durante el Calcolítico, cuando emergieron estas desigualdades sociales y la intensificación económica que se mantendría durante siglos (Ontañón, 2003).



Desarrollando esta idea, estudios previos en la región sugieren la posible existencia de un uso diferencial en la explotación del paisaje. Esta distinción se ha basado en pequeñas variaciones de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de los individuos inhumados en las cuevas y monumentos megalíticos del Neolítico Final-Calcolítico Reciente que podemos observar en la Tabla 6.6 (Fernández-Crespo y Schulting, 2017). Esta idea puede relacionarse con la teoría de un estatus superior de los individuos inhumados en las mencionadas tumbas megalíticas (p.e., Waterman et al., 2015). En el caso de Kurtzebide (yacimiento sepulcral megalítico) y Fuente Hoz (yacimiento sepulcral en cueva), aunque no son coetáneos, muestran diferencias significativas en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , pero no en  $\delta^{15}\text{N}$ . Sin embargo, se observan, aunque siguen siendo mínimas, mayores diferencias entre individuos del mismo yacimiento arqueológico que entre ellos. Si observamos la Tabla 6.6, podemos observar que los valores medios de Kurtzebide ( $\delta^{13}\text{C}$   $-20.3\pm 0.2$  [1 $\sigma$ ] ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$   $8.9\pm 0.3$  [1 $\sigma$ ] ‰ respectivamente) son superiores en el caso del carbono e inferiores en el del nitrógeno a los expuestos en la investigación de Fernández-Crespo y Schulting (2017). En cuanto al yacimiento de Fuente Hoz, a pesar de que no es estrictamente contemporáneo a los que se exponen en el trabajo mencionado, aporta valores medios de  $-19.7\pm 0.2$  [1 $\sigma$ ] ‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  y  $9\pm 0.5$  [1 $\sigma$ ] ‰ para  $\delta^{15}\text{N}$ , lo cual es considerablemente más alto de lo esperado comparado con las cuevas sepulcrales de la región (Fernández-Crespo y Schulting 2017) y que, por lo tanto, no apoyan dicha hipótesis, aspecto que desarrollaremos en detalle junto a los resultados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

Yacimientos	Tipo	Número de muestras	$\delta^{13}\text{C}$ ( $\bar{x}$ ) (1 $\sigma$ )‰	$\delta^{15}\text{N}$ ( $\bar{x}$ ) (1 $\sigma$ )‰
Las Yurdinas II Los Husos I Peña Larga	Cueva sepulcral	62	$-20.2\pm 0.3$	$9.2\pm 0.5$
El Sotillo Alto de la Huesera Chabola de la Hechicera Longar	Monumento megalítico	93	$-20\pm 0.3$	$9.3\pm 0.6$

**Tabla 6.6: medias de los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de las cuevas sepulcrales y monumentos megalíticos del Neolítico Final-Calcolítico Reciente en la Rioja Alavesa (Fernández-Crespo y Schulting, 2017).**

En cualquier caso, la interpretación de una jerarquía social basada únicamente en los valores de análisis isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  debe ser considerada con precaución. Aún más, teniendo en cuenta que estas pequeñas diferencias en los valores pueden deberse a otras razones. Entre ellas podemos proponer la explotación de diferentes ecosistemas, las variabilidades cronológicas, la presencia de individuos no-locales, etc., sin demostrar necesariamente una jerarquía o complejidad sociales, aunque profundizaremos en esta investigación más adelante.

## 6.2. Resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : limitaciones

En el caso de los resultados de isótopos de estroncio, aportan información sobre los patrones de movilidad de los individuos analizados y, al igual que ocurría con los análisis, resultados y posteriores interpretaciones de los ratios de isótopos de carbono y nitrógeno, nos plantean una serie de obstáculos o limitaciones de los que queremos dejar constancia. En primer lugar, y de manera más genérica, debemos señalar la necesidad de crear una base de datos más extensa que abarque los sustratos geológicos presentes en la zona de estudio, aunque lo idóneo sería que se ampliase a toda la Península Ibérica, como ha ocurrido en Francia (Willmes et al., 2018) o en las Islas Británicas (Evans et al., 2018). En esa circunstancia sería más accesible determinar, con mayor detalle, el posible origen de los individuos analizados. Además, sería deseable que se realizaran más análisis sobre muestras arqueológicas, tanto humanas, como faunísticas, lo que facilitaría una interpretación y discusión más global y no tan limitada.

Respecto a los datos de estroncio biodisponible de cada yacimiento analizado, recordemos que son indispensables, con el fin de poder determinar si los individuos analizados tienen valores que se asemejan o difieren del entorno local. En este mismo sentido, hemos observado una amplia variabilidad en algunos yacimientos. En primer lugar, y como característica común para varias zonas analizadas, debemos señalar el amplísimo rango que aportan los valores de flora moderna, al contrario de lo que ocurre con los caracoles actuales. El ejemplo más drástico lo tenemos en el yacimiento de Marizulo, cuya vegetación aporta datos que oscilan entre 0.708448 y 0.710688, mientras que los caracoles de la misma área aportan valores más limitados (0.708249-0.708878). Por otro lado, en el yacimiento de Kurtzebide sí encontramos valores para las plantas que permiten establecer un rango biodisponible más restringido y, aun así, los valores de los caracoles siguen siendo más precisos. Podemos, por lo tanto, afirmar que los datos que aportan las plantas son más ambiguos que los de los caracoles, que puede, posiblemente, ser consecuencia de que el muestreo se realizó sobre plantas de diferentes tipos, herbáceas, arbustivas y arbóreas, que toman el agua a diferentes profundidades del suelo, y de la influencia que han podido tener las actividades industriales o humanas, tales como el uso de fertilizantes (p.e., Böhlke y Horan, 2000; Christian et al., 2011; Maurer et al., 2012). Por el contrario, el rango más reducido de los valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de los caracoles refleja su movimiento extremadamente limitado a través del paisaje.

Otro aspecto relevante a la hora de examinar los resultados de estroncio biodisponible lo encontramos en los valores de los mismos sustratos geológicos pero diferentes yacimientos, que difieren entre sí. Este es el caso de los yacimientos de Pico Ramos y Santimamiñe, que si bien se encuentran sobre el mismo piso del Cretácico Inferior, los valores de Pico Ramos aporta un rango más acotado. Uno de los factores que puede afectar a esta ligera variabilidad la encontramos en el ya mencionado spray marino o en la lluvia consecuencia de la evaporación del agua marina (Bentley, 2006), llegando a

suponer hasta el 50% de los niveles de estroncio, tal y como han demostrado varias investigaciones llevadas a cabo en otras regiones (Chadwick et al., 1999; Hodell et al., 2004; Montgomery et al., 2003; Montgomery y Evans, 2006; Whipkey et al., 2000). Otros factores pueden estar relacionados con la presencia de materiales provenientes de distintos ambientes, como la precipitación de polvo o la deposición aluvial, que puede influir y modificar los valores estimados de la roca madre (Sjögren et al., 2016).

Centrándonos en la problemática de los restos arqueológicos, la principal limitación la hemos encontrado ante la dificultad de relacionar en muchas ocasiones la muestra dentaria con la ósea. Tal y como hemos ido explicando con la información referida a cada yacimiento, la falta de conexión anatómica, unida a la mala conservación de los restos, dificultó en la mayoría de los casos una correcta individualización hueso-diente del NMI total. En los casos en los que la individualización sí era posible, en ocasiones no pudimos determinar con seguridad los detalles de las piezas dentarias, es decir, superior o inferior, derecha o izquierda, en el caso de los molares; lo que, una vez más, dificultaba el muestreo y la posterior interpretación de los resultados obtenidos. Como consecuencia ha sido habitual limitarnos a los análisis de mandíbulas y maxilares, asegurándonos que, tanto los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , como los de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , puedan relacionarse con un único individuo.

Al igual que en el caso de la reconstrucción de la dieta, para interpretar los resultados de estroncio también hemos creído conveniente hacer, en primer lugar, un análisis cronológico, para posteriormente comparar los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral con los disponibles en la bibliografía, aunque son muy escasos, tal y como veremos a continuación. Por último, haremos hincapié en las implicaciones generales que tienen estos datos en la Arqueología y el conocimiento de la Prehistoria de nuestra zona de estudio.

### **6.2.1. Patrones de movilidad humana por cronología**

A continuación, exponemos los resultados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de esta Tesis Doctoral según su cronología, comenzando por los resultados de cronología mesolítica.

#### *Mesolítico*

Al igual que mencionábamos en el apartado sobre los patrones de alimentación, hemos creído conveniente incluir en esta Tesis Doctoral las dos muestras mesolíticas provenientes del yacimiento de Santimamiñe. Tal como podemos observar en la Tabla 6.7, los dos individuos muestran unos resultados que difieren considerablemente del rango biodisponible del yacimiento. Estos resultados nos indican posiblemente el carácter no-local de los mismos, aspecto ya confirmado por los estudios de materias primas mencionados en el apartado de antecedentes (2.2.2. *Aproximación a los patrones de movilidad en la Prehistoria*).

S-UCT	Cronología	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Rango de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ biodisponible*	Compatibilidad**
18259- (M2) Santimamiñe	Mesolítico	0.710377	0.70848-0.70896	No
18263-(M2) Santimamiñe	Mesolítico	0.709462	0.70848-0.70896	No

Tabla 6.7: resultados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de los individuos mesolíticos provenientes del yacimiento de Santimamiñe.\*Rango calculado con la media de las muestras actuales de plantas y caracoles (2 $\sigma$ ). \*\*Compatibilidad entre el individuo analizado y los niveles de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  biodisponibles del entorno inmediato del yacimiento.

### Neolítico

Para el Neolítico contamos con un total de 18 muestras (Tabla 6.8) provenientes de cuatro yacimientos, distribuidos de la siguiente forma: dos de Santimamiñe (S-UCT 18262 y 18264); dos de Marizulo provenientes de un M2 (S-UCT 20258) y un M3 (S-UCT 18214) del mismo individuo; siete muestras de Fuente Hoz (S-UCT 18219, 18220, 18221, 18222, 18223, 18224, 18225); y cinco individuos de Iruaxpe I (S-UCT 18272, 18274, 18276, 20261, 20262), para dos de los cuáles poseemos también valores de los M3 (S-UCT 18273 y 18275). Entre las 18 muestras, tan sólo dos han sido identificadas como posibles locales (ca. 11.1 %), mientras que las 16 restantes aportan valores que no son compatibles con los considerados como locales (ca. 88.8 %).

En la sección de antecedentes mencionábamos que, si bien con la llegada de la economía de producción, el ser humano tiende al sedentarismo, los intercambios comerciales aumentan. Buena prueba de ello es la presencia de sílex de procedencia lejana o de objetos concretos, como conchas, de carácter claramente alóctono. Por lo tanto, los resultados isotópicos, que indican el alto porcentaje de individuos con valores no-locales, estarían en consonancia con la información arqueológica previa.

S-UCT	Cronología	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Rango de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ biodisponible*	Compatibilidad**
18262 (M2) Santimamiñe	Neolítico	0.711042	0.708475-0.708961	No
18264 (M2) Santimamiñe	Neolítico	0.711458	0.708475-0.708961	No
20258 (M2) Marizulo	Neolítico	0.711519	0.708191-0.710031	No
18214 (M3 de 20258) Marizulo	Neolítico	0.708444	0.708191-0.710031	Si

18219 (M2) Fuente Hoz	Neolítico	0.711420	0.707548-0.708076	No
18220 (M2) Fuente Hoz	Neolítico	0.707866	0.707548-0.708076	Si
18221 (M2) Fuente Hoz	Neolítico	0.712174	0.707548-0.708076	No
18222 (M2) Fuente Hoz	Neolítico	0.708301	0.707548-0.708076	No
18223 (M2) Fuente Hoz	Neolítico	0.708688	0.707548-0.708076	No
18224 (M2) Fuente Hoz	Neolítico	0.708286	0.707548-0.708076	No
18225 (M2) Fuente Hoz	Neolítico	0.711638	0.707548-0.708076	No
18272 (M2) Iruaxpe I	Neolítico	0.709137	0.707593-0.709067	No
20261 (M2) Iruaxpe I	Neolítico	0.709565	0.707593-0.709067	No
18273 (M3 de 20261) Iruaxpe	Neolítico	0.710437	0.707593-0.709067	No
18274 (M2) Iruaxpe I	Neolítico	0.710225	0.707593-0.709067	No
20262 (M2) Iruaxpe I	Neolítico	0.710115	0.707593-0.709067	No
18275 (M3 de 20262) Iruaxpe	Neolítico	0.710161	0.707593-0.709067	No
18276 (M2) Iruaxpe I	Neolítico	0.711658	0.707593-0.709067	No

Tabla 6.8: resultados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de los individuos neolíticos provenientes de los yacimientos de Santimamiñe, Marizulo, Fuente Hoz e Iruaxpe I. \*Rango calculado con la media de las muestras actuales de plantas y caracoles ( $2\sigma$ ). \*\*Compatibilidad entre el individuo analizado y los niveles de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  biodisponibles del entorno inmediato del yacimiento.

### *Calcolítico-Edad del Bronce*

El corpus de datos para esta cronología es más extenso, compuesto por 43 muestras de cinco yacimientos (Tabla 6.9): dos muestras de Santimamiñe (S-UCT 18260-18261), 22 de Pico Ramos (S-UCT 18234-18257), una muestra de Karea (S-UCT 18265), nueve muestras de Kurtzebide (S-UCT 18226-18233) y siete de Urtao II (S-UCT 18266-18271 y 20259). Del total de las 43 muestras, tan sólo seis muestran un perfil que podamos

relacionar con el valor local y un posible local adicional (ca. 16.3 %), el resto tienen perfiles que no encajan con los valores establecidos como locales (ca. 83.7 %).

Al igual que en el caso de los individuos de cronología neolítica, debemos tener en cuenta que, una vez más, en esta época se presupone el sedentarismo de los individuos; sin embargo, las redes comerciales tendrían gran importancia también en esta cronología. Además, debemos recordar que los individuos analizados en este trabajo proceden de yacimientos sepulcrales, y que, por lo tanto, los hábitat pudieron estar en otros pisos geológicos; por lo que no es extraño que el número de no compatibles sea tan elevado.

S-UCT	Cronología	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Rango de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ biodisponible*	Compatibilidad**
18260 (M2) Santimamiñe	Calcolítico	0.710999	0.708475-0.708961	No
18261 (M2) Santimamiñe	Edad del Bronce	0.709064	0.708475-0.708961	¿Posible?
18234 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.709135	0.707408-0.707972	No
18235 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.709106	0.707408-0.707972	No
18236 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.709133	0.707408-0.707972	No
18237 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708837	0.707408-0.707972	No
18238 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708227	0.707408-0.707972	No
18239 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708157	0.707408-0.707972	No
18240 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.709402	0.707408-0.707972	No
18241 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.709958	0.707408-0.707972	No
18242 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.711542	0.707408-0.707972	No
18243 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708900	0.707408-0.707972	No
18244 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708821	0.707408-0.707972	No

18245 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.707995	0.707408-0.707972	Si
18246 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.711466	0.707408-0.707972	No
18247 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708222	0.707408-0.707972	No
18248 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.711429	0.707408-0.707972	No
18249 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708475	0.707408-0.707972	No
18250 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708328	0.707408-0.707972	No
18251 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708342	0.707408-0.707972	No
18252 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708786	0.707408-0.707972	No
18253 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.709356	0.707408-0.707972	No
18254 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.712712	0.707408-0.707972	No
18255 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708661	0.707408-0.707972	No
18256 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.709486	0.707408-0.707972	No
18257 (M2) Pico Ramos	Calcolítico	0.708994	0.707408-0.707972	No
18265 (M2) Karea	Calcolítico	0.708398	0.708344-0.709292	Si
18226 (M2) Kurtzebide	Calcolítico	0.709771	0.707495-0.707753	No
18227 (M2) Kurtzebide	Calcolítico	0.708243	0.707495-0.707753	No
18228 (M2) Kurtzebide	Calcolítico	0.708436	0.707495-0.707753	No
18229 (M2) Kurtzebide	Calcolítico	0.708313	0.707495-0.707753	No
18230 (M2) Kurtzebide	Calcolítico	0.708992	0.707495-0.707753	No

20260 (M2) Kurtzebide	Calcolítico	0.709634	0.707495-0.707753	No
18231 (M3 de 20260)	Calcolítico	0.708872	0.707495-0.707753	No
18232 (M2) Kurtzebide	Calcolítico	0.708361	0.707495-0.707753	No
18233 (M2) Kurtzebide	Calcolítico	0.708000	0.707495-0.707753	No
20259 (M2) Urtao II	Calcolítico	0.707882	0.707593-0.709067	Si
18266 (M3 de 20259) Urtao II	Calcolítico	0.708339	0.707593-0.709067	Si
18267 (M2) Urtao II	Calcolítico	0.709469	0.707593-0.709067	No
18268 (M2) Urtao II	Calcolítico	0.709811	0.707593-0.709067	No
18269 (M2) Urtao II	Calcolítico	0.709835	0.707593-0.709067	No
18270 (M2) Urtao II	Calcolítico	0.708991	0.707593-0.709067	Si
18271 (M2) Urtao II	Calcolítico	0.708032	0.707593-0.709067	Si

**Tabla 6.9: resultados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de los individuos calcolíticos y de la Edad de Bronce provenientes de los yacimientos de Santimamiñe, Pico Ramos, Karea, Kurtzebide y Urtao II.**

**\*Rango calculado con la media de las muestras actuales de plantas y caracoles ( $2\sigma$ ).**

**\*\*Compatibilidad entre el individuo analizado y los niveles de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  biodisponibles del entorno inmediato del yacimiento.**

### 6.2.2. Comparación con resultados previos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Una vez organizados todos los resultados de estroncio de manera cronológica, podemos observar que es evidente la importancia que tuvo la movilidad, incluso en cronologías en las que se presupone una mayor sedentarización. Antes de entrar en las implicaciones arqueológicas y posibles interpretaciones, debemos comparar los datos obtenidos en la presente Tesis Doctoral con todos los disponibles para las zonas circundantes de trabajos previos, tal como vemos en el mapa de la Figura 6.9, expuestos además en la Tabla 6.10:



Zona geográfica o yacimiento	Sustrato geológico	Material	Valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ biodisponible	Referencia bibliográfica
Alto de Reinoso (Burgos) [18]	Cenozoico, Neógeno	Huesos humanos	0.70924-0.70952	Alt et al., 2016
		Esmalte de ganado	0.70912-0.70952	
Fuente Hoz (Anuntzeta, Araba) [7]	Cenozoico, Mioceno Inferior	Plantas	0.707864-0.708226	Sarasketa-Gartzia et al., 2018
		Caracoles	0.70757-0.707668	
Cueva San Juan (Loarre, Huesca) [17]	Cenozoico, Neógeno, Mioceno-Mesozoico, Cretácico	Plantas	0.708291-0.709984	Villalba-Mouco et al., 2017
		Caracoles	0.708243-0.708943	
Zona Noain-Zizur (Nafarroa) [15]	Cenozoico, Paleógeno-Neógeno	Sedimento	0.71119	Prevedorou et al., 2010
Zona Ergoiena (Nafarroa) [14]	Cenozoico, Paleógeno	Sin especificar	0.70777-0.70790	Baceta et al., 2013
Zona Paternoy (Bailo, Huesca) [16]	Cenozoico, Paleógeno	Plantas	0.708249-0.708306	Villalba-Mouco et al., 2017
		Caracoles	0.707986-0.708188	
Zona Anuntzeta (Araba) [11]	Cenozoico, Paleógeno Medio-Superior	Sin especificar	0.70801	Fernández Ortega, 2007
Zona Apellániz (Arraia-Maeztu, Araba) [12]	Cenozoico, Paleógeno Medio-Superior	Sin especificar	0.70778-0.70795	Baceta et al., 2013

Zona Gorliz (Bizkaia) [2]	Mesozoico, Cretácico Superior (Maastrichtiense)	Inocerámidos y roca	0.70778-0.70795	Gómez Alday et al., 2001
Kurtzebide (Letona-Zigoitia, Araba) [9]	Mesozoico, Cretácico Superior	Plantas	0.7075-0.707748	Sarasketa-Gartzia et al., 2018
		Caracoles	0.707495-0.707543	
Zona Markina-Xemein (Lea-Artibai, Bizkaia) [4]	Mesozoico, Cretácico	Rocas máficas	0.703-0.7064	Rossy et al., 1992
Zona Kuartango (Araba) [8]	Mesozoico-Cretácico	Sin especificar	0.70773	Fernández de Ortega, 2007
Zona Agurain (Araba) [13]	Mesozoico, Cretácico	Fauna arqueológica	0.707820-0.707936	Ortega et al., 2013
Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia) [1]	Mesozoico, Cretácico Inferior (Albiense Aptiense)	Plantas	0.707636-0.708162	Sarasketa-Gartzia et al., 2017
		Caracoles	0.70745-0.707514	
Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia) [3]	Mesozoico, Cretácico Inferior (Albiense Aptiense)	Plantas	0.708708-0.70908	Sarasketa-Gartzia et al., 2017
		Caracoles	0.708395-0.708689	
Iruaxpe I, Urtao II (Zona Aretxabaleta Gipuzkoa)	Mesozoico, Cretácico Inferior, (Albiense-Aptiense)	Plantas	0.708565-0.709377	Esta Tesis Doctoral
		Caracoles	0.707509-0.709067	
[5] Karea (Aia, Gipuzkoa)	Mesozoico, Jurásico, Lias Dogger	Plantas	0.708645-0.709615	Aranburu-Mendizabal et al., 2018
		Caracoles	0.708342-0.70867	

[6] Marizulo (Urnieta, Gipuzkoa)	Paleozoico, Pérmico-Triásico	Plantas	0.708773- 0.710665	Esta Tesis Doctoral
		Caracoles	0.70825- 0.708754	

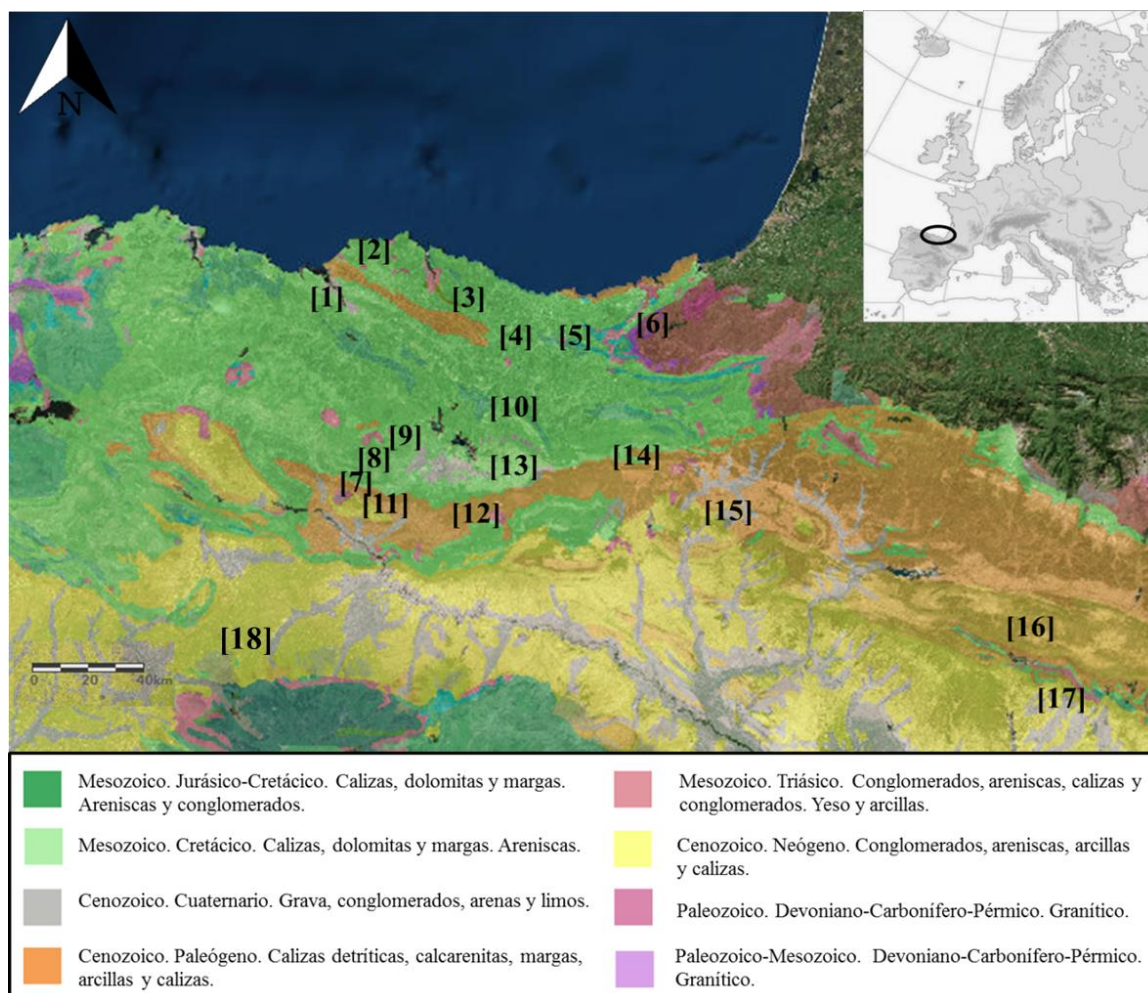
**Tabla 6.10:** resultados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  biodisponible de las zonas circundantes a los yacimientos objeto de análisis, así como los datos obtenidos en esta misma Tesis Doctoral. \*Las plantas y caracoles que se mencionan en la tabla son muestras modernas.

De estos resultados nos llaman la atención dos aspectos, en primer lugar, el alto valor (0.71119) del área [15] de las inmediaciones de Iruña (Prevedorou et al., 2010), que, sin embargo, se encuentra en un sustrato muy reciente del Paleógeno. Si a esto le sumamos la comparación con el resto de resultados para esa época geológica ([11; 12; 14; 16]) con valores que no superan 0.7083, nos hace pensar que el dato debe tomarse con precaución. Los niveles tan altos pueden deberse a diversos factores, en primer lugar, a que el sedimento de la cuenca de Pamplona, tratándose de una terraza de inundación, proviene, principalmente, del Pirineo navarro, es decir, de sustratos geológicos mucho más antiguos. Debemos además, tener en cuenta que ese análisis, al contrario que los de la presente Tesis Doctoral y los realizados en otros estudios de la zona (Villalba-Mouco et al., 2017; 2018a), se llevó a cabo analizando sedimento y no material orgánico, que también puede influir en la señal.

Por otro lado, el valor de las inmediaciones de Bilbao ([4]) nos aporta valores muy inferiores a lo esperable para una región del Mioceno-Cretácico, con un rango de 0.703-0.7064. Sin embargo, estos resultados han sido obtenidos mediante el análisis de trece muestras, principalmente rocas máficas, por lo que la metodología utilizada difiere considerablemente de la de esta Tesis Doctoral. Del mismo modo, resulta llamativo que los propios investigadores sugieren la contaminación de un *fluido enriquecido en Sr y libre de Nd*, como es el caso del agua marina (Rossy et al., 1992). Por lo tanto, lo que para esta investigación resultan ser valores muy bajos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , resultan ser *elevados* para las rocas máficas analizadas según los investigadores originales.

Respecto a los estudios de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  aplicados a la Arqueología, tan sólo contamos con tres estudios en zonas cercanas a la de esta Tesis Doctoral para cronologías prehistóricas. El primero de ellos fue realizado por Alt et al. (2016) en el yacimiento neolítico de Alto de Reinoso. En él se analizaron un total de 36 muestras de esmalte provenientes de 19 individuos, los autores de este trabajo indican cómo algunos de los individuos (n=8) muestran valores ligeramente por debajo del límite inferior, o superior (n=1). Sin embargo, lo achacan en gran parte a la escasez de muestra de comparación que limita el valor local, no permitiendo una estimación real del número de individuos locales o no-locales. El segundo proyecto es el que ya mencionamos en la sección de antecedentes, en el que se realizó un análisis sobre un total de 32 muestras de 21 individuos del yacimiento de Cueva San Juan con una cronología de Neolítico Final-

Calcolítico (Villalba-Mouco et al., 2017). En este trabajo se concluyó que tan sólo cuatro individuos se salían del rango biodisponible, lo que indicaría un bajo grado de movilidad general del grupo. El tercero es el llevado a cabo por Díaz del Río et al. (2017) en las inmediaciones de Madrid, en el que de 82 muestras tan sólo 4 mostraban un perfil no-local.



**Figura 6.9:** Mapa geológico con los puntos con valores de estroncio biodisponible de la zona objeto de análisis. [1] 0.707408-0.707972 (Pico Ramos: Sarasketa-Gartzia et al., 2017) [2] 0.70778-0.70795 (Gómez Alday et al., 2001) [3] 0.708475-0.708961 (Santimamiñe: Sarasketa-Gartzia et al., 2017). [4] 0.7038-0.7054 (Rossy et al., 1992). [5] 0.708344-0.709292 (Karea: Aranburu-Mendizabal et al., 2018). [6] 0.708196-0.710026 (Marizulo: presente Tesis Doctoral). [7] 0.707548-0.708076 (Fuente Hoz: Sarasketa-Gartzia et al., 2018). [8] 0.70773 (Fernández-Ortega, 2007). [9] 0.707500-0.707748 (Kurtzbeide: Sarasketa-Gartzia et al., 2018) [10] 0.707593-0.709067 (Iruaxpe I-Urtao II: presente Tesis Doctoral). [11] 0.70801 (Fernández Ortega, 2007). [12] 0.70778-0.70795 (Baceta et al., 2013) [13] 0.70774 (Ortega et al., 2013). [14] 0.70777-0.70790 (Baceta et al., 2013). [15] 0.71119 (Prevedorou et al., 2010). [16] 0.708249-0.708306 (flora); 0.707986-0.708188 (caracoles) (Villalba-Mouco et al., 2017). [17] 0.708291-0.709984 (flora); 0.708243-0.708943 (caracoles) (Villalba-Mouco et al., 2017). [18] 0.70924-0.70952 (huesos humanos); 0.70912-0.70952 (esmalte de ganado) (Alt et al., 2016). Modificado de *Mapa de Edades de España 1/1.000.000* (igme.maps.arcgis).

### 6.2.3. Interpretación por periodos cronológicos

En esta sección intentaremos relacionar los resultados de cada individuo con los posibles puntos de origen teniendo en cuenta los valores biodisponibles previamente expuestas para, en el siguiente apartado, centrarnos en su interpretación arqueológica.

#### *Mesolítico*

Dejando a un lado los estudios previos, y comenzando por los individuos mesolíticos de Santimamiñe, ambos resultados encajarían con los valores de que disponemos para el sustrato geológico del Pérmico-Triásico. Sin embargo, debemos hacer una distinción: el primer valor (S-UCT 18259) se encuentra en un punto intermedio entre los valores del mencionado Pérmico-Triásico que nos aporta el yacimiento de Marizulo, y los valores del Triásico de una investigación aún inédita de la zona (Villalba-Mouco, com. pers.). El segundo caso (S-UCT 18263), en cambio, sí muestra valores que encajan de lleno con los valores de Marizulo, en incluso se aproximan a los resultados del Jurásico obtenidos en el yacimiento de Karea.

#### *Neolítico*

Si avanzamos hasta los yacimientos de cronología neolítica, observamos que los dos individuos de Santimamiñe (S-UCT 18262 y 18264) presentan valores superiores a los vistos para el Mesolítico, acercándose más a los valores del Triásico que mencionábamos previamente. Esta pauta, por lo tanto, se mantiene, indicando un posible patrón de movilidad que perduraría en el tiempo. Sin embargo, esta movilidad no tendría por qué responder a grandes migraciones, sino a movimientos a escala local, muy posiblemente con el fin de explotar recursos, tanto bióticos, como abióticos de diferentes ecosistemas, como así lo atestigua la información arqueológica.

El siguiente individuo es el neolítico proveniente de Marizulo y que resulta especialmente interesante considerando la diferencia de valores entre las dos muestras del mismo individuo: el M2 nos aporta información sobre la infancia, mientras que el análisis de M3 lo hace al comienzo de la edad adulta (Hillson, 1996). El M3 (S-UCT 18214) con un valor de 0.708444 se sitúa dentro del rango biodisponible del yacimiento; sin embargo, el M2 (S-UCT 20258) discrepa con un valor de 0.7111519 que le sitúa en rangos de sustratos más antiguos como los de Triásico, que se encuentran, a su vez, a menos de un kilómetro del yacimiento.

Entre los individuos provenientes del yacimiento de Fuente Hoz, dejando a un lado el individuo con valor local (S-UCT 18220), se observan dos tendencias diferenciadas. En primer lugar, individuos con valores cercanos a 0.708 (S-UCT 18222, 18223 y 18224) que entran en los rangos biodisponibles obtenidos en las inmediaciones de Iruaxpe I-Urtao II; estos yacimientos se encuentran ubicados en afloramientos del Cretácico Inferior (Albiense-Aptiense), aspecto en el que profundizaremos más adelante por sus posibles implicaciones arqueológicas. En segundo lugar, contamos con otros tres

individuos (S-UCT 18219, 18221 y 18225) con valores más elevados, que superan 0.711 relacionándose directamente con los datos de afloramientos del Triásico.

Para concluir con los individuos de cronología neolítica tenemos los resultados del yacimiento de Iruaxpe I, de los cuales ninguno se ha considerado local; el valor de estroncio de uno de ellos llama la atención por ser superior a 0.711 (S-UCT 18276), al igual que los vistos en el yacimiento de Fuente Hoz. Sin embargo, el resto de individuos (n=6) han dado resultados cercanos a 0.709 y 0.710 que se relacionan con los datos del sustrato geológico del Pérmico-Triásico, cuyos afloramientos más cercanos se ubican a ca. 40 km en línea recta en dirección noreste. Finalmente, entre las mencionadas muestras, debemos señalar que dos de ellas pertenecen a M3 de individuos de los que también tenemos muestra de M2, por lo que podemos ver si hay alguna variación entre ambos valores. En el primer caso (un M2 con la sigla S-UCT 20262 y un M3, S-UCT 18275) no se observa ninguna diferencia reseñable, con una horquilla de tan sólo 0.00005 de una muestra a la otra, lo que indicaría que ese individuo pasó su infancia y, al menos, la primera etapa de su edad adulta en la misma zona geológica que, sin embargo, no sería la propia del yacimiento. Para el segundo individuo, la muestra del M2 (S-UCT 20261) presenta un valor que relacionaríamos con los previamente mencionados afloramientos del Pérmico-Triásico, mientras que el M3 (S-UCT 18273) tiene un valor que difiere en más de 0.0009, superando 0.710 y aproximándose a valores más antiguos del Triásico.

### *Calcolítico y Edad de Bronce*

Comenzando con el Calcolítico y la Edad de Bronce, tenemos una vez más dos valores del yacimiento de Santimamiñe, en primer lugar un individuo con un perfil no-local (ca. 0.711) que refiere, tal y como ya hemos visto en cronologías anteriores, a afloramientos del Triásico. Sin embargo, el segundo valor (0.709064) ha sido considerado como posible local puesto que sólo difiere en 0.000103 del rango establecido como biodisponible. Esta ligera diferencia podría responder a un movimiento por zonas geológicas similares, tal vez incluso por las del Triásico como el resto de individuos del mismo yacimiento, pero en las que no estaría el tiempo suficiente para asimilar toda la proporción de estroncio que el resto, idea que puede aplicarse también al resto de individuos.

Entre los individuos de Pico Ramos tan sólo un individuo presenta valor local (S-UCT 18245), mientras que los demás los podemos relacionar con dos tipos de sustratos geológicos diferentes. El primer grupo (S-UCT 18234, 18235, 18236, 18237, 18238, 18239, 18240, 18241, 18243, 18244, 18247, 18249, 18250, 18251, 18252, 18253, 18255, 18256 y 18257) podrían englobarse en el rango biodisponible del Pérmico-Triásico que hemos visto del yacimiento de Marizulo, si bien algunos de ellos tienen valores ligeramente más bajos que podrían relacionarse con zonas del Cretácico Inferior, ya fuera del propio yacimiento o de zonas no tan costeras. Si observamos el mapa de la Figura 6.11 podemos constatar que, efectivamente, los afloramientos del Cretácico son mayoritarios en toda la región norte, por lo que es difícil detallar el

posible origen de estos individuos. El segundo grupo (S-UCT 18242, 18246, 18248 y 18254) tiene valores por encima de 0.711, llegando uno de los individuos a superar el valor de 0.712 (S-UCT 18254), relacionándose una vez más con afloramientos del Triásico; los más cercanos se encuentran aproximadamente 25 km al sur en las inmediaciones del Pantano de Ordunte y en puntos aislados de la costa de Bizkaia, especialmente en la zona de la ría de Gernika.

La muestra del yacimiento de Karea (S-UCT 18265), por su parte, sí muestra un perfil que encaja a la perfección en el rango marcado como biodisponible. Por lo tanto, este individuo bien pudo pasar su infancia en las inmediaciones del yacimiento o en las mismas zonas geológicas que se extienden hacia el este del yacimiento.

El caso de Kurtzebide presenta un patrón muy diferente, puesto que ninguno de los individuos analizados entra en el rango biodisponible. De un total de nueve muestras, siete de ellas (S-UCT 18227, 18228, 18229, 18230, 18231, 18232 y 18233) presentan valores del Cretácico Inferior, que se extiende por toda la zona, tanto al norte, como al este, alcanzando la Sierra de Gorbeia y Aizkorri. Las otras dos muestras (S-UCT 18226 y 20260) tienen valores ligeramente más altos, alcanzando el rango que ya hemos visto previamente del Pérmico-Triásico, afloramientos que se encuentran a una gran distancia del yacimiento de Kurtzebide, más concretamente, a unos 120 km en línea recta hacia el oeste, al sur del Parque Natural Saja-Besaya y a 70 km en línea recta dirección noreste hasta la zona del yacimiento de Marizulo. Por lo tanto, ambas opciones estarían dejando constancia de un recorrido de larga distancia, ya fuera su punto de partida al este o al oeste. Una de las muestras con valores más altos (S-UCT 20260) es, precisamente, un segundo molar de un individuo del que también hemos analizado el M3. En este sentido, resulta interesante observar cómo, entre una muestra y la otra, hay una diferencia de 0.000642, siendo el valor del M2 (aportando información sobre la infancia de este individuo), el que aporta el dato más alejado del rango biodisponible, aunque siga pudiendo relacionarse con valores del Cretácico Inferior, como ya hemos mencionado previamente.

Finalmente, tenemos el yacimiento de Urtao II, característico por ser el único de esta Tesis Doctoral con más valores locales que alóctonos; de un total de siete muestras, cuatro (S-UCT 20259, 18266, 18270 y 18271) han aportado valores que encajan en el rango biodisponible de un afloramiento del Cretácico Inferior. Los restantes (S-UCT 18267, 18268 y 18269) tienen valores superiores a 0.709 ubicándose en el rango del Pérmico-Triásico visto en Marizulo a menos de 50 km en línea recta. De uno de los individuos hemos podido analizar un M1 (S-UCT 18266), cuya calcificación se inicia en el momento del nacimiento (Paz Cortés, 2011), el cual muestra un valor ligeramente superior al M2 (S-UCT 20259) (0.708339 y 0.707882 respectivamente). Si bien ambos valores son coherentes con el perfil biodisponible, esta variabilidad podría estar señalando cierto grado de movilidad, aunque a pequeña escala, quizás a las mismas zonas del Pérmico-Triásico que los individuos con valores más altos. Sin embargo,

debido a la fase en la que comienza el periodo de calcificación del M1, éste no se tendrá en cuenta para futuras interpretaciones más allá de las aquí expuestas.

#### 6.2.4. Implicaciones arqueológicas de los resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Dejando a un lado la idea, ya expuesta previamente, de que los lugares analizados son de inhumación y, por lo tanto, sea posible que los valores expuestos hagan referencia a zonas de asentamiento, no nos atrevemos a generar un mapa con los posibles orígenes de los individuos analizados. Ello se debe a que sería muy aventurado fijar un solo punto de *origen*, cuando cada rango de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  hace referencia a un afloramiento geológico que, no sólo puede estar presente en zonas muy dispares, sino que también puede extenderse por el territorio de manera muy irregular. Sin embargo, consideramos que tenemos información suficiente para sugerir algunos patrones o tendencias que deberán confirmarse con futuros trabajos.

Comenzamos por los individuos no-locales de Santimamiñe, que abarcan desde el Mesolítico hasta la Edad de Bronce. Debemos recordar la investigación llevada a cabo por Gutiérrez (2009: 314) en torno a la explotación de moluscos en el yacimiento de Kobaederra, situado en el mismo cordal de Ereñozarre, a poco más de un kilómetro de distancia: *“Este patrón en la representación de especies es muy similar al documentado en la vecina cueva de Santimamiñe durante el Mesolítico y el Neolítico, por lo que es probable que ambos asentamientos estuvieran relacionados de alguna forma durante el Neolítico”*. Pudiera ser, por lo tanto, que esta relación comenzara en el Mesolítico con movimientos entre ambos yacimientos, lo cual explicaría los valores no-locales de Santimamiñe que encajan con los afloramientos, tanto del Triásico, como del Jurásico que hay en las inmediaciones de Kobaederra. En la misma línea, contamos con la investigación llevada a cabo por Tarrío y Mujika (2004), según los cuáles incluso durante el Mesolítico serían dominantes las materias primas de afloramientos próximos (superiores al 95 %). Sin embargo, debemos plantear la posibilidad, a pesar de que esta hipótesis parezca la más lógica, de que los valores de estos individuos puedan corresponder a cualquier afloramiento geológico del Triásico y del Jurásico, entre los que podemos señalar los que se encuentran al norte de Araba, en zonas aisladas del interior de Gipuzkoa y, especialmente, en un área que se extiende por la costa al este de Gipuzkoa varios kilómetros al interior.

En el caso de los individuos de los yacimientos alaveses de Kurtzebide y Fuente Hoz, ambos tienen un rasgo en común: el elevado número de individuos con valores no-locales. En primer lugar, debemos tener en cuenta, una vez más, que han sido analizados lugares de inhumación y, por lo tanto, los valores de esos individuos podrían referir a las zonas de asentamiento. Sin embargo, si así fuera entendemos que todos los individuos tendrían valores de origen similares, mientras que lo que destaca es, además, su variabilidad. Otra posible interpretación es la de una movilidad que tuviera como objetivo explotar los recursos de diferentes ecosistemas, aunque esta sería posiblemente a pequeña escala teniendo en cuenta que ambos yacimientos están enmarcados en cronologías post neolíticas en las que el ser humano sería principalmente sedentario. Por



ello, una teoría que consideramos debe ser desarrollada, y que fue defendida, entre otros, por Altuna (1980), está relacionada con la práctica de la trashumancia, que podría confirmarse con un mapeo completo del estroncio biodisponible en la región, así como con análisis de muestras dentarias de ganado. Hasta el momento, contamos con tres aspectos que dan fuerza a esta teoría: la relacionada con las evidencias arqueológicas, la ubicación de los monumentos megalíticos y la información etnográfica.

Para ello, debemos retroceder brevemente hasta el Neolítico, que trae consigo transformaciones a diferentes escalas, como consecuencia del desarrollo de la agricultura (que implica una mayor sedentarización) y de una actividad ganadera crecientemente itinerante. Las primeras evidencias arqueológicas de una explotación constante del ganado en las montañas de la región cantábrica están relacionadas con los grupos de neolíticos (Cubas et al., 2016). Es precisamente en este periodo cuando el registro polínico muestra una evolución decreciente de la cobertura arbórea, relacionado con una mayor cantidad de gramíneas y sotobosque, lo que se ha relacionado con un incremento de la deforestación, unido a una progresiva apertura de los pastos (Iriarte-Chiapusso et al., 2016).

Respecto a la cultura material, debemos señalar la presencia de sílex alóctonos en yacimientos de la región, siendo, en algunos casos, de afloramientos ubicados a más de un centenar de kilómetros (Tarrío et al., 2016). En este sentido, destaca la presencia de sílex evaporíticos del Ebro en puntos muy dispares de la región objeto de estudio, cuya presencia de esta materia prima podría ser consecuencia de una intensificación de las relaciones con los yacimientos de los valles atlánticos. En cualquier caso, debemos plantear la posibilidad de que su presencia sea consecuencia de redes de intercambio, como ocurre con la *Columbella rustica* presente en Fuente Hoz (Álvarez-Fernández, 2008) o el escafópodo *Dentalium vulgare*, de Pico Ramos (Tarrío y Mujika, 2004).

La mencionada sedentarización, característica de esta fase cronológica, nos lleva a pensar en que el abastecimiento de materias primas sería una actividad cada vez más minoritaria, llevada a cabo por individuos o grupos concretos. El papel de los pastores en este proceso pudo ser muy relevante, teniendo en cuenta que podían compaginar ambas actividades utilizando las rutas de trashumancia. Según algunos investigadores, como los ya mencionados Tarrío y Mujika (2004), los sílex recuperados en los dólmenes pertenecen en su mayoría a poblaciones trashumantes y las características de esa actividad de pastoreo podrían variar entre los distintos inhumados del mismo dolmen, lo que explicaría la variabilidad dentro de los valores no-locales de estos individuos.

Esta idea sobre los tipos de sílex presentes en los dólmenes nos lleva al siguiente aspecto a tener en cuenta, y es que, para algunos investigadores tradicionales de la región, como Pericot (1925) y Barandiaran (1927), el movimiento del ganado y especialmente la trashumancia son incluso tan antiguos como la propia domesticación. Por otro lado, otros investigadores, como Ontañón y Armendariz (2005: 278), destacan la relación entre los movimientos ganaderos y el megalitismo en la región, puesto que

estos tienden a localizarse en zonas de menor intervención humana, relacionándose “*fundamentalmente con una explotación determinada, como es la ganadería.*” Eso al menos parecen venir a demostrar los restos hallados en cuevas como la de Los Husos (Araba), que fue utilizada desde el Neolítico Inicial como establo (Fernández-Eraso y Polo, 2008-2009) y la de Arenaza (Bizkaia) (Fernández-Eraso, 2004). Otras tantas pistas arrojan sobre este particular la multitud de dólmenes y monumentos megalíticos, tradicionalmente relacionados con la vida pastoril prehistórica que se encuentran repartidos por todo lo largo y ancho de la geografía vasca (p.e., Fernández-Eraso y Mujika, 2013). Como consecuencia del análisis de estos indicios, algunos investigadores, no sólo de la región estudio, sino también de otras zonas de la Península Ibérica afirman que los constructores de estos monumentos megalíticos eran, de hecho, pastores (Fernández-Eraso y Mujika, 2010). La distribución de estas estructuras funerarias mostrarían un alto grado de movilidad de los pastores (esencialmente lineal y cíclica), que no tendrían hábitats estables en los valles. Además, otros autores han señalado la posibilidad de una función de estos monumentos relacionada con mecanismos sobre las normas topográficas y de codificación del paisaje (Agirre et al., 2010).

El paso natural que cruza desde el sur de Francia, hasta el Norte de la Península Ibérica por los Pirineos es tradicionalmente bien conocido. Algunos investigadores ya remarcaron esta información, entre ellos, el ya citado Barandiaran (1927) anotaba: “*la zona axial del Pirineo Vasco (lo mismo cabe decir de todo el Pirineo) retienen en el dédalo de sus pliegues ciertos rasgos de cultura de muy larga tradición*”. Esta cultura estaría relacionada con la explotación ganadera, que fue evidenciada también en la Edad Media, con documentos sobre los movimientos de rebaños de ovejas a través de las mismas rutas que hoy en día, al oeste de los Pirineos (Fernández-Mier et al., 2013).

Si analizamos la información etnográfica a este respecto, es conocida la presencia de pastoreo primitivo, basado en la cría de ganado en la montaña sin ataduras, manteniéndolo en un estado de semi libertad. Incluso hoy en día la trashumancia tiene un rol muy importante en varias zonas del País Vasco, lo que nos permite analizar los comportamientos y movimientos de estos pastores. Por ejemplo, en algunos sitios de Bizkaia y Gipuzkoa, los pastores utilizan las cámaras de los monumentos megalíticos como chiquero. Los pastos más ricos de Bizkaia están localizados en Gorbea, mientras que en Gipuzkoa se encuentra la cadena montañosa de Aizkorri; en la zona sur del actual País Vasco, en cambio, tienden a moverse hacia el norte durante la primavera y el verano, como Entzia y Urbasa o Salazar.

En resumen, algunos de los caminos que atraviesan la cadena montañosa de la región cantábrica tienen una especial relevancia en la formación del paisaje, porque muchos de ellos cruzan importantes áreas de ganado. En su ruta aparecen elementos relacionados con diferentes cronologías que nos permiten adentrarnos en las diferentes vías del simbolismo de apropiación de los pastos desde las diferentes comunidades humanas. De los mencionados caminos, algunos de ellos, crean rutas, marcadas por monumentos

megalíticos, que fueron utilizadas desde la Prehistoria Reciente (Fig. 6.10). Estas rutas por las cumbres se convirtieron en importantes vías de comunicación en la Época Romana, mostrando una continuidad en su uso durante la Edad Media (Agirre et al., 2010).

Estas actividades trashumantes ya han sido planteadas en estudios previos para la región (p.e., Agirre et al., 2017; Leizaola Calvo, 2011), tal y como hemos desarrollado con más detalle previamente. Además, aunque no se localice en la región de estudio de esta Tesis Doctoral, debemos mencionar que esta misma línea de investigación también se ha llevado a cabo partiendo de análisis isotópicos (Valenzuela-Lamas et al., 2016). También encontramos investigaciones similares en otras regiones de Europa, entre las cuales podemos destacar aquellas llevadas a cabo gracias a las excavaciones arqueológicas y los estudios isotópicos y/o paleoambientales en los Alpes (p.e., Hebert y Mandl 2009; Walsh et al., 2006, 2007; Walsh y Mocchi 2011), los Pirineos (p.e., Rendu 2003, 2006; Galop 1998, 2005; Gassiot et al. 2009, 2012; Gassiot y Jiménez Zamora 2006), los Apeninos en la Toscana, (p.e., Giovannetti 2004), Portugal (p.e., Carvalho et al., 2016), Asturias (p.e., Jarman et al., 1982) y Galicia (p.e., Ballesteros Arias 2004, 2008).

Antes de centrarnos en el resto de yacimientos que presentan un origen que podemos relacionar con sustratos geológicos más antiguos (como las del Triásico y Pérmico-Triásico), llama la atención que varios individuos de Pico Ramos muestran un valor de isótopos de estroncio que podemos relacionar con el Cretácico Inferior, y, sin embargo, no con el valor del propio yacimiento, sino con el de los yacimientos de Iruaxpe I y Urtao II. El que el rango biodisponible de Pico Ramos esté más acotado, y sea más cercano a 0.707, puede deberse a la influencia del ya mencionado spray marino.

La idea planteada por otros investigadores (p.e., Fernández-Eraso et al., 2009) sobre dos modelos de territorio, siendo uno costero y otro de interior, daría respuesta a la presencia de individuos no-locales con un perfil de alimentación terrestre para este yacimiento. Otro factor que apoyaría esta idea la tenemos en la cultura material hallada, puesto que, con la excepción de una única lámina, el resto del utillaje del nivel sepulcral corresponde a un sílex negro o gris. Aunque los investigadores señalan la necesidad de realizar un estudio más exhaustivo, a nivel macroscópico, este sílex tiene características que sólo se han encontrado, hasta el momento, en el afloramiento de Albardón en Treviño (Ibáñez y Zapata, 2001). Las inmediaciones de dicha región presentan una gran variabilidad geológica, incluyendo el Cretácico, Paleógeno, Neógeno, Jurásico y Triásico.



Recordemos en este mismo sentido los estudios llevados a cabo por A. Tarrío (p.e., Tarrío, 2000; 2006; 2011b) en los que se observa la existencia de materias alóctonas de 50 y hasta 200 km de los yacimientos. ¿Sería posible pensar que los individuos de Pico Ramos recorrieran más de 70 km con el fin de explotar diferentes recursos? Los resultados arqueológicos así lo sugerían, y el carácter no-local de sus individuos parece apoyar dicha teoría. Utilizando estos mismos estudios de procedencia, la mayor parte del sílex del yacimiento de Marizulo, por su parte tiene su origen en el Flysch (>80 %) y Urbasa (>15 %), si cruzamos esa información con la obtenida en esta Tesis Doctoral, podríamos plantear la hipótesis de que este individuo pasó, al menos parte de su infancia en las proximidades de Barrika, lugar de afloramiento Triásico y lugar de origen de una variedad de sílex del Flysch.

El resto de individuos de Pico Ramos, así como los individuos no-locales de Urtao II e Iruaxpe I, tienen valores de estroncio más elevados y que hemos relacionado con sustratos geológicos del Pérmico-Triásico y Triásico. Tal y como hemos ido mencionando, los afloramientos del Triásico aparecen de manera puntual a lo largo de la costa oriental de Bizkaia y de Gipuzkoa, teniendo también relevancia en la región occidental de Araba y muy especialmente en los Pirineos. Respecto al Pérmico-Triásico, dejando a un lado las inmediaciones del propio yacimiento de Marizulo, los afloramientos más cercanos los encontramos en los Pirineos cerca de Lantz y, en sentido contrario, en la zona interior de la Bahía de Santander, a más de 70 km en línea recta del yacimiento de Pico Ramos, y más de 120 km de Iruaxpe I y Urtao II.

Respecto a la información arqueológica del yacimiento de Urtao II, si bien no contamos con un análisis de materias primas, es reseñable una comparativa sobre las puntas de flecha encontradas en el yacimiento objeto de estudio con las del dolmen de Auskoi (Gipuzkoa) a escasos 30 km en línea recta al este del yacimiento (Ontañón, 2002). Curiosamente, este yacimiento se encuentra localizado en el mismo sustrato geológico que el yacimiento de Urtao II, lo que podría indicar una movilidad territorial de estos grupos que, sin embargo, no se revela a nivel isotópico como ocurre con otros yacimientos.

Finalmente, recordemos que los individuos de Iruaxpe I tenían valores más elevados que los de Urtao II y que, por lo tanto, pasaron al menos parte de su vida en sustratos geológicos más antiguos, como los del Pérmico e incluso Triásico. En este sentido, debemos tener en cuenta que los movimientos pastoriles que estamos contemplando en esta Tesis Doctoral serían bidireccionales. Es decir, encontramos individuos de los yacimientos alaveses con perfiles isotópicos que encajan en los rangos del Cretácico; por lo tanto, resulta plausible que los individuos hallados en el Cretácico también pasaran parte de su vida en otros lugares que formaran parte de dichos movimientos relacionados con el pastoreo y que, como consecuencia, tengan valores no-locales.

Es probable, por lo tanto, que estos individuos incluso de cronologías y zonas tan dispares pudieran tener una movilidad que abarcaría, como mínimo, la franja litoral al oeste de los Pirineos (puesto que si únicamente lo hicieran por la costa posiblemente

todos los individuos tendrían unos valores de Sr afectados por el spray marino). Tal y como mencionábamos en el apartado de antecedentes de esta Tesis Doctoral (2.2.2. *Aproximación arqueológica a los patrones de movilidad en la Prehistoria*), actualmente se presupone que las sociedades prehistóricas siempre realizaron movimientos a diferentes escalas, independientemente de si fueron residencialmente fijas o no (Murrieta-Flores, 2012). En este sentido, los resultados obtenidos de los isótopos de estroncio nos permiten corroborar el movimiento de estos individuos; otro aspecto que quedaría en efecto reforzado es la teoría planteada por Arrizabalaga (2007; et al., 2016) en torno al tránsito que habría en ambos sentidos entre la Península Ibérica y el continente europeo a través de los Pirineos para los grupos cazadores-recolectores, y que pudo continuar en fases más tardías como las que analizamos principalmente en esta trabajo.

### 6.3. Interpretación conjunta de los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Si tomamos todos los resultados en conjunto, desgraciadamente, podemos extraer muy pocas conclusiones, ya que la mayor parte de los individuos analizados tienen un patrón de alimentación muy similar y, en algunos casos, no ha sido posible relacionar los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  con  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ; aun así, debemos dejar constancia de algunos aspectos que llaman la atención. En primer lugar, respecto a los valores mesolíticos de Santimamiñe, es destacable que ninguno de los individuos muestre un perfil alimentario relacionado con la explotación de recursos marinos, teniendo en cuenta que era una actividad que suponía recurrente en esta época, aún más teniendo en cuenta la cercanía a la costa. Una posible explicación puede relacionarse con el hecho de que los dos individuos son no-locales, quizás de una zona de interior, y por ello no explotarían los recursos marinos, a pesar de que la información arqueológica sugiere una relación con otros yacimientos de la costa, tal y como hemos mencionado previamente. En este mismo sentido, el único individuo con valores que se aproximan al rango de estroncio biodisponible es precisamente el que tiene un patrón alimentario marino y que, al mismo tiempo, es el que tiene una cronología más reciente. Por lo tanto, sería factible que sólo uno de los analizados de Santimamiñe tuviera un patrón alimentario marino porque se trató, precisamente, de un individuo que posiblemente vivió y murió en las inmediaciones del yacimiento.

Otro aspecto destacable es el que hemos observado a la hora de analizar los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  del Neolítico, donde nos encontramos con un *gradiente* en los valores, siendo más elevados a medida que nos adentramos en el interior. Sin embargo, al contrastar esa información observamos que muchos de los individuos que parecen generar ese patrón tienen un perfil de estroncio no-local. Por lo tanto, sería muy atrevido sugerir que el mencionado cambio en los valores de carbono corresponden a cambios ambientales de los diferentes ecosistemas. Una posible explicación sería, que, efectivamente, los valores de estroncio señalen correctamente el valor no-local de esos individuos, pero en el momento de formación de las piezas dentarias, y que, sin embargo, estuvieran tras la mineralización del diente el tiempo suficiente en la zona del yacimiento como para que las ligeras variaciones del ecosistema se vean reflejadas en el colágeno, teniendo en cuenta que indicaría la alimentación de los últimos 10-15 años de vida. Por otro lado, cuando avanzamos hacia el Calcolítico, los valores se desvirtúan, especialmente en el caso de Urtao II que es, precisamente, el yacimiento con más individuos con perfil local. A modo de conclusión debemos señalar, por lo tanto, que los datos son escasos como para poder afirmar o desmentir esta posibilidad, y que serían necesarios más análisis, por ejemplo de fauna, para poder establecer este patrón.

Respecto a los yacimientos alaveses, ya hemos mencionado previamente el debate existente en torno a una posible jerarquización de los individuos entre los inhumados en cueva y en monumentos megalíticos. Recordamos que esta hipótesis se centra en la posibilidad de que los diferentes tipos de inhumaciones puedan corresponder a una jerarquización o diferenciación social de una misma comunidad. Con el fin de

corroborar esta posibilidad los investigadores Fernández-Crespo y Schulting (2017) han realizado análisis de carbono y nitrógeno en siete yacimientos de la Rioja Alavesa (los megalitos de El Sotillo, Alto de la Huesera, Chabola de la Hechicera y Longar; las cuevas de Las Yurdinas II, Los Husos I y Peña Larga). La ligera variabilidad presente entre ambos grupos ha sido explicada como un uso diferencial del entorno, con implicaciones sobre el comienzo de las desigualdades sociales. En el mismo trabajo se menciona, de igual modo, la posibilidad de que esta variabilidad responda a la movilidad de esos grupos, pudiendo ser reflejo de un uso parcial de los complejos funerarios y, como consecuencia, del paisaje, siguiendo distintas economías de subsistencia. En ese escenario, exponen Fernández-Crespo y Schulting (2017), pudieron darse posibles movimientos poblacionales (Andrés, 2009). También sugieren que los seres humanos inhumados en cuevas tuvieron una mayor movilidad, probablemente debido a prácticas relacionadas con el pastoreo o la caza, teniendo como consecuencia acceso a un mayor abanico de recursos. En otros trabajos, como el llevado a cabo por Waterman et al. (2015), dichas diferencias se han interpretado, tanto como una posible presencia de migrantes, como de diferenciación social y variabilidad alimentaria. Del mismo modo, Le Bras-Goude et al. (2013) sugieren que los valores más altos de nitrógeno podrían estar relacionados con prácticas pastoriles.

Si comparamos la información obtenida en estos trabajos con la de la presente Tesis Doctoral vemos que, no sólo no encajan en los perfiles alimentarios previstos, sino que los contradicen. Si tenemos en cuenta los resultados de estroncio para estos yacimientos, observamos un alto número de individuos con valores no-locales que podrían remarcar la hipótesis sobre el pastoreo expuesto previamente, sin que ello implique ningún tipo de jerarquización social. Para apoyar esta última teoría sería imprescindible obtener muchos más resultados que la respalden, y no sólo una ligera variabilidad isotópica. Por lo tanto, consideramos que la teoría de una desigualdad social basada únicamente en estos pocos resultados para la reconstrucción de la dieta es, como mínimo, arriesgada.





## 7. Conclusiones

La realización de esta Tesis Doctoral y la correspondiente interpretación de los resultados nos han llevado a una serie de conclusiones que se exponen a continuación. En primer lugar, queremos remarcar la inmensa importancia que ha tenido la multidisciplinariedad en este trabajo, que ha servido para comparar los resultados isotópicos con una gran variedad de análisis arqueológicos. En este sentido, destacamos el estudio de los restos faunísticos en la reconstrucción de la dieta, o la información que aporta la cultura material en el caso de los estudios de movilidad.

La primera conclusión que podemos extraer, en torno a la metodología, hace referencia al éxito en el proceso de extracción del colágeno. En la práctica totalidad de las muestras hemos obtenido, al menos, suficiente cantidad para realizar un análisis, si bien ha sido habitual poder realizar dos por muestra. Dichos análisis en duplicado son de vital importancia cuando uno de ellos no cumple con los estándares de calidad, tal y como ha ocurrido, por ejemplo, en varios humanos de Pico Ramos.

Por otro lado, en torno a la metodología utilizada para los análisis de estroncio, debemos realizar un par de apuntes, especialmente respecto a la técnica utilizada para determinar los niveles de estroncio biodisponible. Tal y como hemos ido exponiendo en esta Tesis Doctoral, hemos observado cómo los valores de estroncio de las plantas han aportado resultados mucho más variables que los de los caracoles. Como consecuencia, consideramos que deberíamos incorporar los análisis de la microfauna local arqueológica, como ya se ha realizado en otros estudios, con el fin de contar con más indicadores que permitan limitar el mencionado rango biodisponible. Aun teniendo en cuenta esta problemática a la que nos hemos enfrentado, este trabajo supone un interesante punto de partida para mapear las zonas geológicas disponibles del tercio norte peninsular, puesto que los estudios en la región eran, y siguen siendo en gran parte, muy escasos.

Respecto a los análisis de restos faunísticos, debemos destacar la heterogeneidad observada en los resultados, tanto de  $\delta^{13}\text{C}$ , como de  $\delta^{15}\text{N}$ , incluso para las mismas cronologías. Esta variabilidad nos ha ayudado a cerciorarnos de la gran necesidad de analizar, siempre que las características del yacimiento así lo permitan, tantas muestras faunísticas como sea posible, y así poder definir su papel en la alimentación humana.

Centrándonos en las conclusiones generales que podemos extraer de esta Tesis Doctoral, las nuevas evidencias isotópicas nos muestran que la dieta desde el Mesolítico hasta el Calcolítico-Edad de Bronce Inicial en los yacimientos analizados se basó, casi en su totalidad, en el consumo de recursos terrestres tipo  $\text{C}_3$ . Incluso en el caso de los yacimientos de Pico Ramos y Santimamiñe, situados cerca de la línea de la costa, no encontramos indicios isotópicos de consumo de proteínas marinas durante sus fases de ocupación. La única excepción sería una muestra de Santimamiñe (S-UCT 18461, 4062±62calBP) que podría indicar un ligero consumo de las mismas, o bien de recursos

tipo C<sub>4</sub>, pero que implicaría un aumento de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . Este patrón tan extendido de consumo de recursos terrestres es el mismo que el que encontramos en el yacimiento de Los Canes, donde tampoco hay indicios de consumo de recursos marinos. Sin embargo, esta imagen contrasta con la tendencia generalizada del Mesolítico del resto de la Fachada Atlántica, donde la explotación del mar es habitual. Con la llegada del Neolítico, en cambio, la mencionada explotación del mar se vería desplazada por la implantación de la economía productora, que traería consigo un aumento generalizado del consumo de recursos terrestres y, a medida que avanzamos cronológicamente, con un gran peso de aquellos obtenidos mediante la agricultura y la ganadería.

Por lo tanto, no hemos observado cambios reseñables entre los individuos de las diferentes fases cronológicas, ni tan siquiera en el caso del yacimiento de Santimamiñe, que, por su carácter diacrónico que abarca desde el Mesolítico hasta la Edad de Bronce, podía haber aportado información al respecto. Al contrario, hemos observado una continuidad en el tipo de patrón alimentario. Tampoco ha sido posible determinar posibles patrones en función de la edad o el sexo, puesto que en la gran mayoría de los casos no contábamos con el análisis antropológico correspondiente. Además, en los pocos yacimientos en los que sí ha sido posible, no se ha observado ningún tipo de indicio que haga indicar un posible acceso diferencial a los recursos, ni por edad ni por sexo, tal y como hemos mencionado.

Respecto a los resultados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , resulta destacable la presencia de individuos cuyo perfil isotópico no coincide con el del entorno geológico del yacimiento. Esta tendencia es generalizada, en diferentes yacimientos y cronologías, en la práctica totalidad de los individuos analizados en esta Tesis Doctoral. Estos resultados nos muestran cómo humanos con señales isotópicas diferentes, tanto locales, como no-locales, tuvieron el mismo trato funerario, siendo enterrados en los mismos lugares sin distinción. En primer lugar debemos tener en cuenta que los lugares analizados son de inhumación y, por lo tanto, sea posible que, especialmente aquellos valores de estroncio que pueden relacionarse con zonas geológicas cercanas, estén señalando la zona de asentamiento. Centrándonos en los posibles orígenes de dichos individuos, la mayoría de ellos podemos relacionarlos con sustratos del Cretácico Inferior (con valores de los yacimientos de Urtao II e Iruaxpe I) y del Pérmico-Triásico (valores del yacimiento de Marizulo y del Pirineo Navarro). De confirmarse, estos desplazamientos implicarían una red de movimiento que se alargaría en el tiempo y en el espacio, probablemente con motivos relacionados con la explotación de recursos y actividades pastoriles. Si nos centramos, finalmente, en la interpretación conjunta de los resultados, tanto de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  por un lado, como de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  por otro, este estudio aporta información sobre individuos que, siendo de diferentes orígenes, fueron enterrados juntos y compartieron el mismo “estilo de vida alimentario” en diferentes cronologías, incluso en un momento de la Prehistoria de la Península Ibérica en el que las complejidades sociales comenzaron a emerger.

Si tenemos en cuenta estas conclusiones generales y las comparamos con los objetivos que planteamos al comienzo de esta Tesis Doctoral podemos extraer los siguientes puntos:

1. Gracias a los resultados isotópicos de carbono y nitrógeno hemos podido reconstruir la dieta de los individuos analizados en esta Tesis Doctoral, la cual se ha caracterizado por un consumo mayoritario de recursos terrestres tipo C<sub>3</sub> en las diferentes cronologías.
2. Hemos comenzado lo que a futuro esperamos sea un corpus completo de datos de isótopos estables de restos faunísticos de la región. Esta primera base de datos ha permitido establecer una relación con la alimentación humana y remarcar la variabilidad en los resultados de las mismas especies en diferentes yacimientos y cronologías.
3. Gracias a los resultados de estroncio hemos podido contribuir al conocimiento ya existente sobre los patrones de movilidad de la Prehistoria reciente. En este mismo sentido, debemos remarcar la gran cantidad de individuos con valores no-locales de los yacimientos analizados.
4. Hemos podido determinar los valores de estroncio del sustrato geológico local gracias a los análisis de muestras actuales, tanto de caracoles, como de plantas.
5. Gracias a los resultados mencionados en el punto anterior, y a los resultados previos ya disponibles, hemos sido capaces de determinar los posibles orígenes de los individuos con valores establecidos como no-locales.
6. Finalmente, hemos podido comparar los resultados de esta Tesis Doctoral con los de otras investigaciones previas, y así establecer paralelismos entre las diferentes cronologías y zonas.



## 8. Perspectivas de futuro

La realización de esta Tesis Doctoral ha permitido desarrollar una línea de investigación pionera para la zona objeto de estudio en la Prehistoria. Si bien no son los primeros resultados de isótopos estables, si lo son de estroncio, por lo que éste será el punto en el que habrá que hacer especial hincapié de cara al futuro. A continuación se exponen todos los proyectos que consideramos son necesarios realizar con ayudas post doctorales con las que dar continuidad a este trabajo:

1.- Realizar nuevos análisis de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  que puedan contribuir a una comparación más exhaustiva con los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral. Para ello, sería importante analizar individuos de yacimientos de zonas circundantes, especialmente si fuesen complementarios a estudios antropológicos y paleopatológicos que permitan completar la información obtenida. A estos análisis deberíamos sumarle el enorme interés que tendría el estudio de yacimientos diacrónicos, con el fin de observar posibles cambios en los patrones de alimentación en las diferentes fases de ocupación.

2.- Completar una base de datos con los resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  para los restos faunísticos del tercio norte peninsular, siendo especialmente interesante la posibilidad de analizar restos marinos o de estuario y de agua dulce. Esta información ayudaría a detallar su papel en la alimentación humana y arrojar algo de luz a la problemática de los animales de ecosistemas de *transición*, como los estuarios ya mencionados.

3.- Muestrear los diferentes afloramientos geológicos con el fin de establecer los valores de estroncio biodisponible de las zonas que circundan los yacimientos analizados en este trabajo, con el fin de poder determinar no solo el valor no-local de los restos humanos, sino también detallar el posible origen de los mismos.

4.- Analizar los niveles de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de la microfauna arqueológica, no sólo de los nuevos puntos de muestreo, sino también de los yacimientos analizados en esta tesis, con el fin de limitar los niveles de estroncio biodisponible de cada punto analizado.

5.- Analizar los isótopos de estroncio de más individuos de cronologías pre-Neolíticas, para establecer los patrones de movilidad de manera diacrónica, incluidos los yacimientos mesolíticos de Cantabria y Asturias de los que ya poseemos resultados de isótopos estables.

6.- Analizar los isótopos de estroncio de manera secuencial en las piezas dentarias de animales domésticos, ovicaprinos fundamentalmente. Este punto resulta especialmente interesante pues permitiría corroborar o matizar la teoría expuesta en esta Tesis Doctoral sobre posibles movimientos estacionales relacionados con la trashumancia. Afortunadamente, en la región de estudio contamos con abundantes restos que cumplen estas características y que, por lo tanto, permitirían establecer patrones de movilidad con gran detalle.

7.- Finalmente, pero no por ello menos importante, resultaría de gran utilidad completar los resultados obtenidos hasta ahora con análisis de isótopos de azufre, cálculos dentales y ADN de los individuos estudiados, con el fin de completar la información, tanto alimentaria, como de movilidad, obtenida en esta Tesis Doctoral.

Somos conscientes de que se trata de una serie de proyectos de futuro muy ambiciosos, pero que esperamos puedan llevarse a cabo en la carrera investigadora que está por venir, contando con el apoyo y la ayuda del Grupo de Investigación multidisciplinar en el que se enmarca esta Tesis Doctoral.





## 9. Bibliography

Åberg, G., Jacks, G., Wickman, T. and Hamilton, P.J. (1990). Strontium isotopes in trees as indicator for calcium availability. *Catena*, 17: 1-11.

Adams, T.S. and Sterner, R.W. (2000). The effect of dietary nitrogen content on trophic level  $^{15}\text{N}$  enrichment. *Limnology and Oceanography*, 45: 601-607.

Agirre García, J., Moraza Barea, A. and Mujika, J.A. (2010). Los elementos físicos como reivindicación del territorio y de sus frutos en los espacios de montaña. In: Fernández-Eraso, J. and Mujika, A. (Eds.) *Actas del Congreso Internacional sobre Megalitismo y otras manifestaciones funerarias contemporáneas en su contexto social, económico y cultural*. Munibe Suplemento, 32: 286-313.

Agirre García, J., Edeso Fito, J.M., Lopetegi-Galarraga, A., Moraza-Barea, A., Ruiz-Alonso, M., Pérez-Díaz, S., Fernández-Crespo, T., Goikoetxea, I., Martínez de Pancorbo, M.A., Palencia, L., Baeta, M., Núñez, C., Cardoso, S. and Mujika, J.A. (2017). Seasonal shepherds' settlements in mountain areas from Neolithic to present: Aralar e Gipuzkoa (Basque country, Spain). *Quaternary International*, 484: 44-59.

Albert, R.M., Bar-Yosef, O., Meignen, L. and Weiner, S. (2003). Quantitative phytolith study of hearths from the Natufian and Middle Palaeolithic levels of Hayonim Cave (Galilee, Israel). *Journal of Archaeological Science*, 30: 461-480.

Alday, A., Carretero, J.M., Anderung, C. and Götherström, A. (2012). Uros, genética, indígenas y colonos. A propósito de la neolitización de Europa. *Veleia*, 29: 335-358.

Alday, A., Macià, L., Portillo, M., Albert, R.M. and Perales, U. (2014). Agricultura neolítica: a propósito de un molino del yacimiento de Atxoste (Álava, País Vasco). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 65: 79-97.

Almagro, M. (2015). Aportaciones a los contactos etnoculturales de Navarra desde la Prehistoria a la Edad del Hierro. *Príncipe de Viana*, Año nº76 (261): 13-40.

Alrousan, M., Al-Shorman, A., Galbany, J. and Pérez-Pérez, A. (2013). Buccal dental microwear and stable isotopes of El Collado. A mesolithic site from Spain. *Bulletin-International Association for Paleodontology*, 7(1): 4-11.

Alt, K.W., Zesch, S., Garrido-Pena, R., Knipper, C., Szécsényi-Nagy, A., Roth, C., Tejedor-Rodríguez, C., Held, P., García-Martínez-de-Lagrán, I., Navitainuck, D., Arcusa Magallón, H. and Rojo-Guerra, M.A. (2016). A community in life and death: the Late Neolithic megalithic tomb at Alto de Reinoso (Burgos, Spain). *PloS One*, 11 (1): 146-176.

Altuna, J. (1967) Fauna de mamíferos del yacimiento prehistórico de Marizulo (Urnieta), Guipúzcoa. *Munibe*, 19 (3-4): 271-297.

- Altuna, J. (1972). Fauna de mamíferos de los yacimientos prehistóricos de Guipúzcoa. *Munibe*, 24: 1-464.
- Altuna, J. (1980). Historia de la domesticación animal en el País Vasco, desde sus orígenes hasta la romanización. *Munibe*, 32 (1-2).
- Altuna, J. (1982). Bases de subsistencia en los pobladores del yacimiento de Ekain a lo largo de su ocupación. *Sociedad de Estudios Vascos, Cuadernos de sección*, 1: 33-42.
- Altuna, J. (1998). Las investigaciones prehistóricas en el País Vasco. *Revista Internacional de los Estudios Vascos*, 43 (2): 481-514.
- Altuna, J. and Mariezkurrena, K. (1985). Bases de subsistencia de los pobladores de Erralla: Macromamíferos. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 37: 87-117.
- Altuna, J. and Mariezkurrena, K. (2007-2008). Restos de alimentación de origen animal de los pobladores de la cueva de Arenaza I (País Vasco) durante la Edad del Bronce. *Veleia*, 24-25: 843-877.
- Altuna, J., Mariezkurrena, K., Armendariz, A., Barrio, L. del, Ugalde, T. and Peñalver, X. (1982). Carta Arqueológica de Guipúzcoa. *Munibe*, 34: 242.
- Álvarez, G. and Ramos, J. (1991). Estrategias alimentarias del ciervo (*Cervus elaphus L.*) en Montes de Toledo. *Doñana, Acta Vertebrata*, 18: 63-99.
- Álvarez, J. (1989). *Euskal Autonomi Elkarteko Ornodunak-Vertebrados de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Eusko Jaurlaritza, Hirigintza, Etxebizitza eta Ingurugiro Saila.
- Álvarez-Fernández, E. (2001). L'axe Rhin-Rhône au Paléolithique supérieur récent: l'exemple des mollusques utilisés comme objets de parure. *L'Anthropologie*, 105(4): 547-564.
- Álvarez-Fernández, E. (2002). Perforated *Homalopoma sanguineum* from Tito Bustillo (Asturias): Mobility of Magdalenian groups in northern Spain. *Antiquity*, 76 (293): 641-646.
- Álvarez-Fernández, E. (2003). Die Reise der Schnecke *Columbella rustica* während des Mesolithikums und zu Beginn des Neolithikums in Europa. *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 33(2): 157-166.
- Álvarez-Fernández, E. (2004). Azabache et alii. La utilización del lignito durante el Paleolítico Superior en Europa. In: Allué, E., Martín, J., Canals, A., Carboneli, E. (Eds.) *1º Congreso Peninsular de Estudiantes de Prehistoria (Tarragona, 8-11 abril 2003)*. Tarragona: Universitat Rovira I Virgili, pp.: 386-393.
- Álvarez-Fernández, E. (2005). La explotación de los moluscos marinos durante el Paleolítico superior y el Mesolítico en la Región Cantábrica y en el Valle del Ebro:

pasado y presente de la investigación. *Munibe Antropologia-Arkeologia (Homenaje a Jesús Altuna)*, 57: 259-368.

Álvarez-Fernández, E. (2006). *Los objetos de adorno-colgantes del Paleolítico Superior y del Mesolítico en la Cornisa Cantábrica y en el Valle del Ebro: una visión europea*. PhD Thesis. Universidad de Salamanca. Salamanca.

Álvarez-Fernández, E. (2007). La explotación de los moluscos marinos en la cornisa cantábrica durante el Gravetiense: primeros datos de los niveles E y F de la Garma A (Omoño, Cantabria). *Zephyrus*, 60: 4358.

Álvarez-Fernández, E. (2008). The use of *Columbella rustica* (Clase: Gastropoda) in the Iberian Peninsula and Europe during the Mesolithic and Early Neolithic. In: Hernández-Pérez, M., Soler García, J.A. and López Padilla, J.A. (Eds.), *IV Congreso del Neolítico Peninsular*, Tomo II: 103-111. Alicante.

Álvarez-Fernández, E. (2015). Las conchas marinas perforadas de Bolinkoba (Abadiño, Bizkaia). In: Iriarte-Chiapusso, M.J. and Arrizabalaga, A. (Dir.) *Bolinkoba (Abadiño) y su yacimiento arqueológico: Arqueología de la arqueología para la puesta en valor de su depósito, a la luz de las excavaciones antiguas y recientes*. Serie Kobie, Servicio de Patrimonio Cultural. Diputación Foral de Bizkaia, Bilbao, pp.: 159-164.

Álvarez-Fernández, E. and Altuna, J. (2013). La cueva de Marizulo (Urnieta, Gipuzkoa), 50 años después: revisión de los restos arqueozoológicos de los niveles mesolíticos. *Kobie, Serie Paleoantropología*, 32: 131-152.

Álvarez-Fernández, E. and Fernández-García, R. (2011). Marine resources exploitation in Cantabrian Spain during the Solutrean: molluscs, fish and sea mammals. *Bulletin-Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco*, 51: 87-97.

Álvarez-Fernández, E., Iriarte-Chiapusso, M.J., Arrizabalaga, Á., Barrera-Mellado, I., Carriol, R.P., Fernández-Gómez, M.J. and Gabriel, S. (2014). Entre lapas: primera valoración de los restos de origen marino del yacimiento holoceno de J3 (Hondarribia, País Vasco). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 65: 67-78.

Álvarez-Fernández, E., Peñalver Mollá, E. and Delclòs Martínez, X. (2005). La presencia de ámbar en los yacimientos prehistóricos (del Paleolítico Superior a la Edad del Bronce) de la Cornisa Cantábrica y sus fuentes de aprovisionamiento. *Zephyrus*, 58: 159-182.

Alzualde, A., Izagirre, N., Alonso, S. and de la Rúa, C. (2005). Temporal mitochondrial DNA variation in the Basque Country: influence of post-neolithic events. *Annals of Human Genetics*, 69: 665-679.

Ambrose, S.H. (1990). Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science*, 17: 431-451.

Ambrose, S.H. (1991). Effects on diet, climate and physiology on Nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs. *Journal of Archaeological Science*, 18: 293-318.

Ambrose, S.H. (1993). Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretative considerations. In: Stanford, M.K. (Ed.) *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology*. Gordon and Breach Science Publishers, Langhorne, pp.: 59-130.

Ambrose, S.H. (2000). Controlled diet and climate experiments on nitrogen isotope ratios of rat bone collagen, hair and muscle. In: Ambrose, S.H. and Katzenberg, M.A. (Eds.). *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. Nueva York, Kluwer Academic-Plenum, pp.: 243-259.

Ambrose, S.H. and Krigbaum, J. (2003). Bone Chemistry and Bioarchaeology. *Journal of Anthropological Archaeology*, 22: 191-304.

Ambrose, S.H. and 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. In: Lambert, J.B. and Gruppe, G. (Eds.) *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Berlín, Springer Verlag, pp.: 1-37.

Amundson, R., Austin, A.T., Schuur, E.A.G., Yoo, K., Matzek, V., Kendall, C., Uebersax, A., Brenner, D. and Baisden, W.T. (2003). Global patterns of isotopic composition of soil and plant nitrogen. *Global Biogeochemical Cycles*, 17: 1031-1042.

Andrés, M.T. (2009). Comportamiento funerario en el Neolítico y Eneolítico: sociedad e ideología. In: Santos, J. (Ed.) *Los tiempos antiguos en los territorios pirenaicos. Anejos de Veleia*. Series acta, 8: 11-36.

Anthony, D.W. (1997). Prehistoric migration as a social process. In: Chapman, J. and Hamerow, H. (Eds.) *Migrations and invasions in archaeological explanation*. Oxford, Archaeopress BAR International Series, 664: 21-32.

Apellaniz, J.M. (1973). Corpus de materiales de las culturas prehistóricas con cerámica de la población de cavernas del País Vasco Meridional. *Munibe Suplemento nº1*.

Apellaniz, J.M. (1975). El grupo de Santimamiñe durante la Prehistoria con cerámica. *Munibe*, 17.

Aranburu-Mendizabal, A., Sarasketa-Gartzia, I., Arrizabalaga, A., Salazar-García, D.C., Antxieta Jakintza Taldea and Iriarte-Chiapusso, M.J. (2018). El yacimiento calcolítico de Karea (Aia) en el contexto de las cuevas sepulcrales guipuzcoanas. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 69.

Aranzadi, T. and Barandiaran, J.M. (1935a). *Exploraciones en la Caverna de Santimamiñe, 2ª memoria; Exploraciones en la Caverna de Lumentxa*. Diputación de Vizcaya, Bilbao.

Aranzadi, T. and Barandiaran, J.M. (1935b). *Exploraciones de la caverna de Santimamiñe (Basondo: Cortézubi). 3ª Memoria-Yacimientos azilienses y paleolíticos*. Diputación de Vizcaya, Bilbao.

Aranzadi, T., Barandiaran, J.M. and Eguren, E. (1919). *Exploración de nueve dólmenes del Aralar gipuzcoano*. Diputación Foral de Gipuzkoa. Donostia/San Sebastián.

Aranzadi, T., Barandiaran, J.M. and Eguren, E. (1931). *Exploraciones de la caverna de Santimamiñe (Basondo: Cortézubi). 2ª Memoria-Los niveles con cerámica y el conchero*. Diputación de Vizcaya, Bilbao.

Arias, P. (1992). Estrategias económicas de las poblaciones del Epipaleolítico avanzado y el Neolítico en la Región Cantábrica. In: Moure Romanillo, A. (Ed.) *Elefantes, ciervos y ovicaprinos: economía y aprovechamiento del medio en la Prehistoria de España y Portugal*. Universidad de Cantabria, Servicio de Publicaciones, pp.: 163-183.

Arias, P. (2005). Determinaciones de isótopos estables en restos humanos de la Región Cantábrica. Aportación al estudio de la dieta de las poblaciones del Mesolítico y del Neolítico. *Munibe Antropología-Arkeologia (Homenaje a Jesús Altuna)*, 57 (3): 359-374.

Arias, P., Altuna, J., Armendariz, Á., González-Urquijo, J.E., Ibáñez, J.J., Ontañón, R. and Zapata, L. (1999). Nuevas aportaciones al conocimiento de las primeras sociedades productoras de la región Cantábrica. II Congrès del Neolític a la Península Ibèrica. *Saguntum Extra*, 2: 549-557.

Arias, P., Fernández-Tresguerres Velasco, J.A.; Álvarez-Fernández, E., Armendariz Gutiérrez, A., Cueto Rapado, M., Fano Martínez, M.A., Fernández García, R., Garralda Benajes, M.D., Mensua Calzado, C. and Teira Mayolini, L.C. (2007). Excavación arqueológica de urgencia en la cueva de La Poza l'Egua (Lledías, Llanes). *Excavaciones Arqueológicas en Asturias*. Oviedo: Principado de Asturias, pp.: 227-239.

Arias, P. and 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. In: Vidal Encinas, J.M. and Prada Marcos, M.E. (Eds). *Los Hombres Mesolíticos de la Cueva de La Braña-Arintero (Valdelugeros, León)*. Museo de León, Estudios y Catálogos 18, Junta de Castilla y León, pp. 130-137.

Armendariz, A. (1989). Excavación de la cueva sepulcral Urtao II (Oñati, Guipúzcoa). *Munibe Antropología-Arkeologia*, 41: 45-86.

Armendariz, A. (1990). Las cuevas sepulcrales en el País Vasco. *Munibe Antropología-Arkeologia*, 42: 153-160.

Armendariz, A. and Etxeberria, F. (1983). Las cuevas sepulcrales de la Edad de Bronce en Guipúzcoa. *Munibe Antropología-Arkeologia*, 35: 247-354.

- Armendariz, A., Etxeberria, F., Herrasti, L., Mujika, J.A. and Zumalabe, F. (1987). Excavación de la cueva sepulcral Iruaxpe I (Aretxabaleta, Gipuzkoa). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 39: 67-92.
- Armendariz, J. and Irigay, S. (1993). Resumen de las excavaciones arqueológicas en el hipogeo de Longar (Viana, Navarra) 1991-1993. *Trabajos de Arqueología de Navarra*, 11: 270-275.
- Arrizabalaga, Á. (2007). Frontières naturelles, administratives et épistémologiques: L'unité d'analyse dans l'archéologie du Paléolithique (dans le cas basque). In: Cazals, N., González, J., Terradas, X. (Eds.) *Frontières naturelles et frontiers culturelles dans les Pyrénées préhistoriques*. PubliCan-Ediciones de la Universidad de Cantabria. Santander, pp.: 27-37.
- Arrizabalaga, Á., Álvarez-Fernández, E. and Iriarte-Chiapusso, M.J. (2011). Spondylus sp. at Lezetxiki Cave (Basque Country, Spain). First evidence of its use in symbolic behaviour during the Aurignacian in Europe. In: Ifantidis, F. and Nikolaidou, M. (Coord.), *Spondylus in Prehistory: New data and approaches contributions to the Archaeology of shell technologies*. BAR International Series S2216, Oxford, pp.: 11-16.
- Arrizabalaga, Á., Prieto, A., Garcia-Ibaibarriaga, N., Calvo, A., Domínguez-Ballesteros, E., Ochoa, B., Ordoño, J., Romero, A., Villaluenga, A., Tapia, J., Ayerdi, M., Echazarreta-Gallego, A., Hernández-Beloqui, B., Medina, M.A., Bradtmöller, M., Suarez, A., Sarasketa-Gartzia, I. and Iriarte-Chiapusso, M.J. (2016). En la ruta occidental del poblamiento de la Península Ibérica. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 67: 227-234.
- Aseginolaza, C., Gómez, D., Lizaur, X., Montserrat, G., Morante, G., Salaverria, M.R., Uribe-Echebarria, P.M. and Alexandre, J.A. (1985). *Catálogo Florístico de Álava, Vizcaya y Guipúzcoa*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.
- Aseginolaza, C., Gómez, D., Lizaur, X., Montserrat, G., Morante, G., Salaverria, M.R. and Uribe-Echebarria, P.M. (1989). *Vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Bilbao.
- Ayerdi, M., Echazarreta-Gallego, A., de Francisco-Rodríguez, S., Hernández, H.H. and Sarasketa-Gartzia, I. (2016). Acorn cake during the Holocene: experimental reconstruction of its preparation in the western Pyrenees, Iberia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 25(5): 443-457.
- Baceta, J.I., Berreteaga, A., Ortega, L. and Murelaga, X. (2013). Anatomy of a Danian (Lower Paleocene) Reef-rimmed Carbonate Shelf: Interrelationships between high-resolution Stratigraphy and Large-scale secondary Diagenetic Modifications. *Internal Research Report, BG International LTD*, pp.: 50.

Bailey, G.N. (1978). Shell middens as indicators of postglacial economies: a territorial perspective. In: Mellars, P. (Ed.), *The early postglacial settlement of northern Europe*. Duckworth, London, pp.: 37-63.

Baker, G. (1985). *Prehistoric farming in Europe*. Cambridge University Press.

Balasse, M., Ambrose, S., Smith, A. and Price, D. (2002). Reconstructing dietary and mobility model for prehistoric herders in the South-Western cape of South Africa assessed by isotopic analysis of sheep tooth enamel. *Journal of Archaeological Science*, 29: 917-932.

Balasse, M. and Tresset, A. (2002). Early weaning of Neolithic domestic cattle (Bercy, France) revealed by intra-tooth variation in nitrogen isotope ratios. *Journal of Archaeological Science*, 32: 691-702.

Balasse, M., Tresset, A. and Ambrose, S.H. (2006). Stable isotope evidence ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) for winter feeding on seaweed by Neolithic sheep of Scotland. *Journal of Zoology*, 270(1): 170-176.

Baldeón, A., García, E., Ortiz, L. and Lobo, P. (1983). Excavaciones en el yacimiento de Fuente Hoz (Anúcita, Álava). Informe preliminar. I campaña de excavaciones. *Estudios de Arqueología alavesa*, 11. Diputación Foral de Álava, Consejo de Cultura.

Ballesteros Arias, P. (2004). Arquitectura tradicional ganadeira na Sierra do Suido. *Cuadernos de Estudios Gallegos*, 51(117): 9-48.

Ballesteros Arias, P. (2008). *A paixase ganaderia na serra do Suido*. El Museo de Pontevedra, 62: 109-143.

Barandiaran, I. (1995). Los establecimientos de cazadores de la Prehistoria de Navarra. Del Paleolítico Medio a inicios del Neolítico. *Cuadernos de Arqueología de la Universidad de Navarra*, 3: 53-84.

Barandiaran, I. (2012). El Paleolítico y el Mesolítico. In: Barandiaran, I., Martí, B., del Rincón, M.Á. and Maya, J.L. (Eds.), *Prehistoria de la Península Ibérica*. Ariel Historia.

Barandiaran, I. and Cava, A. (2000). A propósito de unas fechas del Bajo Aragón: reflexiones sobre el Mesolítico y el Neolítico en la cuenca del Ebro. *SPAL*, 9: 293-326.

Barandiaran, I. and Cava, A. (2002). *Cazadores-recolectores en el Pirineo Navarro: el sitiode Aizpea entre 8000 y 6000 años antes de ahora*. Bruguera.

Barandiaran, J.M. (1921). *Eusko-Folklore*. Materiales y cuestionarios, 6 (22).

Barandiaran, J.M. (1927). Contribución al estudio de los establecimientos humanos y zonas pastoriles en el País Vasco. Anuario de Eusko Folklore, VIII. In: Barandiaran J.M. (Ed.), *Obras completas de J.M. Barandiaran, II. La Gran Enciclopedia Vasca*. Bilbao, pp.: 273-279.

- Barandiaran, J.M. (1953). El hombre prehistórico en el País Vasco. In: Barandiaran J.M. (Ed.), *Obras completas de J.M. Barandiaran, XIII. La Gran Enciclopedia Vasca*. Bilbao, pp.: 258-265.
- Barandiaran, J.M. 1962: Exploraciones de la caverna de Santimamiñe (Basondo, Cortézubi). 5ª Memoria. Campaña de 1961. Reeditado en Barandiaran, J.M. (1976): *Obras Completas*. Tomo IX. Bilbao: 369-403.
- Baraybar, J.P. and de la Rúa, C. (1995). Estudio antropológico de la población de Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). Consideraciones sobre la demografía, salud y subsistencia. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 47: 151-175.
- Baraybar, J.P. and de la Rúa, C. (1997). Reconstruction of Diet with Trace Elements of Bone at the Chalcolithic Site of Pico Ramos, Basque Country, Spain. *Journal of Archaeological Science*, 24: 355-364.
- Barnolas, A. and Pujalte, V. (2004). Pirineos: rasgos distintivos y subdivisión. In: J.A. Vera (Ed.), *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, pp. 233-237.
- Basabe, J.M. (1971). Restos humanos del yacimiento de Marizulo. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 23: 105-124.
- Basabe, J.M. and Bennassar, I. (1983). Estudio antropológico del yacimiento de Fuente Hoz (Anúcita, Álava). *Estudios de arqueología alavesa*, 11: 77-120.
- Bentley, A. (2006). Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 13(3): 135-187.
- Bentley, R.A. and Knipper, C. (2005). Transhumance at the early Neolithic settlement at Vaihingen (Germany). *Antiquity*, 79 (306).
- Bentley, R.A., Price, T.D., Lüning, J., Gronenborn, D., Wahl, J. and Fullagar, P.D. (2002). Prehistoric migration in Europe: Strontium isotope analysis of Early Neolithic Skeletons. *Current Anthropology*, 43(5): 799-804.
- Bentley, R.A., Price, T.D. and Stephan, E. (2004). Determining the "local"  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  range for archaeological skeletons: a case study from Neolithic Europe. *Journal of Archaeological Science*, 31(4): 365-375.
- Bernabeu, J., Orozco, T. and Diez Castillo, A. (2002). El poblamiento neolítico: desarrollo del paisaje agrario en Les Valls de l'Alcoi. In: Hernández, M. and Segura, J.M. (Eds.), *La Sarga. Arte rupestre y territorio*. Alcoi, pp.: 171-184.
- Bernaldo de Quirós, F. (1992). Estrategias económicas en el Pleistoceno Superior de la región cantábrica. In: Moure Romanillo, A. (Ed.), *Elefantes, ciervos y ovicaprinos: economía y aprovechamiento del medio en la Prehistoria de España y Portugal*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, pp.:117-128.



- Binford, L.R. (1980). Willow smoke and dog's tails: hunter-gatherer settlement systems and archaeological site formation. *American Antiquity*, 45(1): 4-20.
- Blum, J.D., Taliaferro, E.H., Weisse, M.T. and Holmes, R.T. (2000). Changes in Sr/Ca, Ba/Ca and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios between trophic levels in two forest ecosystems in the northeastern USA. *Biogeochemistry*, 49: 87-101.
- Bocherens, H. (1999). Isotopes stables et reconstitution du régime alimentaire des Hominidés fossils: une revue. *Bulletin et Mémoire de la Société d' Anthropologie de Paris*, 11: 261-287.
- Bocherens, H. (2009). Neanderthal dietary habits: review of the isotopic evidence. In: Hublin, J.J. and Richards, M.P. (Eds.), *The Evolution of Hominid Diets: Integrating Approaches to the Study of Palaeolithic Subsistence*. Nueva York, Springer, pp. 241-250.
- Bocherens, H. and Drucker, D. (2003). Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13: 46-53.
- Bocherens, H. and Mariotti, A. (2002). Paléoenvironnements et paléo alimentations: biogéochimie isotopique des vertébrés. In: Miskovsky, J.C. (Ed.), *Géologie de la Préhistoire*. Perpinyà, GEOPRE Presses Universitaires de Perpignan, pp. 1323-1344.
- Bocherens, H., Polet, C. and Toussaint, M. (2007). Palaeodiet of Mesolithic and Neolithic populations of Meuse Basin Belgium): evidence from stable isotopes. *Journal of Archaeological Science*, 34: 10-27.
- Bogaard, A. (2004). *Neolithic farming in Central Europe: an archaeobotanical study of crop husbandry practices*. Routledge, Taylor and Francis Group. London and New York.
- Bogaard, A., Heaton, T.H., Poulton, P. and Merbach, I. (2007). The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *Journal of Archaeological Science*, 34 (3): 335-343.
- Böhlke, J.K. and Horan, M. (2000). Strontium isotope geochemistry of groundwaters and streams affected by agriculture, Locust Grove, MD. *Applied Geochemistry*, 15: 599-609.
- Bonsall, C. (1980). The coastal factor in the Mesolithic Settlement of North-West England. *Veröffentlichungen des Museum für Ur- und Frühgeschichte Potsdam*, 14-15: 451-472.
- Bonsall, C., Cook, G.T., Lennon, R., Harkness, D., Scott, M., Bartosiewicz, L. and McSweeney, K. (2000). Stable isotopes, radiocarbon and the Mesolithic-Neolithic transition in the Iron Gates. *Documenta Praehistorica*, 27: 119-132.

Bonsall, C., Cook, G.T., Hedges, R.E.M., Higham, T.F.G., Pickard, C. and Radovanović, I. (2004). Radiocarbon and stable isotope evidence of dietary change from the Mesolithic to the Middle Ages in the Iron Gates: new results from Lepenski Vir. *Radiocarbon*, 46(1): 293-300.

Bonsall, C., Cook, G., Pickard, C., McSweeney, K. and Bartosiewicz, L. (2009). Neolithic trends at the Mesolithic-Neolithic transition in North-West Europe. In: Crombé, P., Van Strydonck, M., Sergant, J., Boudin, M. and Bats, M. (Eds.), *Chronology and evolution within the Mesolithic of North-West Europe. Proceeding of an International Meeting, Brussels, May 30th-June 1st 2007*. Cambridge Scholars Publishing, pp.: 539-562.

Bonsall, C., Lennon, R., McSweeney, K., Stewart, C., Harkness, D., Boroneant, V., Bartosiewicz, L., Payton, R. and Chapman, J. (1997). Mesolithic and early Neolithic in the Iron Gates: a palaeodietary perspective. *Journal of European Archaeology*, 5: 50-92.

Bonsall, C., Macklin, M.G., Anderson, D.E. and Payton, R.W. (2002). Climate change and the adoption of agriculture in north-west Europe. *European Journal of Archaeology*, 5(1): 9-23.

Borić, D., Grupe, G., Peters, J. and Mikić, Z. (2004). Is the Mesolithic-Neolithic subsistence dichotomy real? New stable isotope evidence from the Danube Gorges. *European Journal of Archaeology*, 7: 221-248.

Borić, D. and Price, T.D. (2013). Strontium isotopes document greater human mobility at the start of the Balkan Neolithic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(9): 3298-3303.

Boutton, T.W. (1991). Stable carbon isotope ratios of natural materials: I. sample preparation and mass spectrometric analysis. In: Coleman, D.C. and Fry, B. (Eds.), *Carbon Isotope Techniques. San Diego, Isotopic Techniques in Plant, Soil and Aquatic Biology*. Academic Press, pp.: 173-185.

Brinkmann, R. and Lögters, H. (1968). Diapirs in western Pyrenees and Foreland, Spain. In: Braunstein, J. and O'Brian, G.D. (Eds), *American Association of Petroleum Geologist Memories*, 8: 275-292.

Britton, K., Grimes, V., Dau, J. and Richards, M.P. (2009). Reconstructing faunal migrations using intra-tooth sampling and strontium and oxygen isotope analyses: a case study of modern caribou (*Rangifer tarandus granti*). *Journal of Archaeological Science*, 36 (5): 1163-1172.

Britton, K., Grimes, V., Niven, L., Steele, T.E., McPherron, S., Soressi, M., Kelly, T.E., Jaubert, J., Hublin, J.J. and Richards, M.P. (2011). Strontium isotope evidence for migration in late Pleistocene *Rangifer*: Implications for Neanderthal hunting strategies at the Middle Palaeolithic site of Jonzac, France. *Journal of Human Evolution*, 61(2): 176-185.

- Britton, K., Muldner, G. and Bell, M. (2008). Stable isotope evidence for salt-marsh grazing in the Bronze Age Severn Estuary, UK: implications for palaeodietary analysis at coastal sites. *Journal of Archaeological Science*, 35: 2111-2118.
- Bronk Ramsey, C. (2017). Methods for Summarizing Radiocarbon Datasets. *Radiocarbon*, 59(2), 1809-1833.
- Bronk Ramsey, C., Higham, T., Bowles, A. and Hedges, R.E.M. (2004). Improvements to the pretreatment of bone at Oxford. *Radiocarbon*, 46: 155-163.
- Brown, T.A., Nelson, D.E., Vogel, J.S. and Southon, J.R. (1988). Improved collagen extraction by modified Longin method. *Radiocarbon*, 30: 171-177.
- Buchanan, W.F. (1988). Shellfish in Prehistoric Diet. Elands Bay SW Cape Coast, South Africa. *BAR International Series*, 455. Archaeopress, Oxford.
- Budd, P., Montgomery, J., Barriero, B. and Thomas, R.G. (2000). Differential diagenesis of strontium in archaeological human dental tissues. *Applied Geochemistry*, 15: 687-694.
- Burger, J., Schoon, R., Zeike, B., Hummel, S. and Herrmann, B. (2002). Species determination using species-discriminating PCR-RFLP of Ancient DNA from Prehistoric skeletal remains. *Ancient Biomolecules*, 4(1): 19-23.
- Burton, J.H. and Price, T.D. (1990). The ratio of barium to strontium as a palaeodietary indicator of consumption of marine resources. *Journal of Archaeological Science*, 17: 547-557.
- Burton, J.H. and Price, T.D. (2000). The use and abuse of trace elements for paleodietary research. In: Ambrose, S.H. and Katzenberg, M.A. (Eds.), *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp.: 159-171.
- Burton, J.H., Price, T.D. and Middleton, W.D. (1999). Correlation of bone Ba/Ca and Sr/Ca due to biological purification of calcium. *Journal of Archaeological Science*, 26: 609-616.
- Butzer, K.W. (1986). Palaeolithic adaptations and settlement in Cantabrian Spain. *Advances in World Archaeology*, 5: 201-252.
- Butzer, K.W. (1989). *Arqueología – una ecología del hombre. Método y teoría para un enfoque contextual*. Barcelona: Bellaterra.
- Buxó, R. (1997). *Arqueología de las plantas*. Editorial Crítica, Barcelona.
- Buxó, R., Alonso, N., Canal, D., Echave, C. and González, I. (1997) Archaeobotanical remains of hulled and naked cereals in the Iberian Peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany*, 6: 15-23.

- Campillo, D. and Subirà, M.E. (2004). *Antropología física para arqueólogos*. Ariel Prehistoria. Barcelona.
- Capo, R.C., Stewert, B.W. and Chadwick, O.A. (1998). Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: Theory and methods. *Geoderma*, 82: 197-225.
- Carballo, J. and Larín, B. (1933). *Exploración de la gruta de El Pendo (Santander)*. Junta Superior de Excavaciones Arqueológicas, 23. Madrid.
- Cardoso, S., Valverde, L., Palencia, L., López-Quintana, J.C., Guenaga Lizasu, A. and Martínez de Pancorbo, M.A. (2011). Análisis de ADN mitocondrial en los restos humanos de la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia). In: López-Quintana, J.C. (Dir.) *La Cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*. Kobie, Serie BAI, 1: 383-392.
- Carvalho, A.F., Alves-Cardoso, F., Gonçalves, D., Granja, R., Cardoso, J.L., Dean, R.M., Gibaja Bao, J.F., Masucci, M.A., Arroyo-Pardo, E., Fernández-Domínguez, E., Petchey, F., Price, T.D., Mateus, J.E., Queiroz, P.F., Callapez, P., Pimienta, C. and Regala, F.T. (2016). The Bom Santo Cave (Lisbon, Portugal): Catchment, Diet, and Patterns of Mobility of a Middle Neolithic Population. *European Journal of Archaeology*, 10(2): 187-214.
- Castañares, L.M., Robles, S., Gimeno, D. and Vicente-Bravo, J.C. (2001). The submarine volcanic system of Errigoiti Formation the Basque-Cantabrian basin, northern Spain): stratigraphic framework, facies and sequences. *Journal of Sedimentary Research*, 71: 318-333.
- Castaños, P. (1984). Estudio de los macromamíferos de la cueva de Santimamiñe (Vizcaya). *Kobie (Serie Paleoantropología y Ciencias Naturales)*, XIV: 235-318.
- Castaños, P. (1997). El pastoreo, la ganadería durante la romanización en el País Vasco. *Isturitz*, 9: 659-668.
- Castaños, P. and Castaños, J. (2011). Estrategias de caza en la secuencia prehistórica de Santimamiñe. In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *Cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*. Kobie, Excavaciones Arqueológicas en Bizkaia, Monografía 1. Diputación Foral de Bizkaia. Bilbao, pp.: 197-206.
- Castaños, P. and Hernández, F. (1995). Estudio de la fauna de aves de la cueva de Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 47: 183-186.
- Cava, A. (1978). El depósito arqueológico de la cueva de Marizulo (Guipúzcoa). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 4: 155-172.
- Cava, A. (1988). El Neolítico en el País Vasco peninsular. *Congreso de Historia de Euskal Herria, I. De los orígenes a la cristianización*. Donostia-San Sebastian, pp.: 81-89.

- Cava, A. (1990). El Neolítico del País Vasco. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 42: 97-106.
- Cava, A. (1994). El Mesolítico en la Cuenca del Ebro: Un estado de la cuestión. *Zephyrus*, XLVII: 65-91.
- Cava, A., Alday, A. and Tarrío, A. (2007-2008). La circulación de materias primas líticas en la transición Mesolítico/Neolítico Antiguo en el País Vasco. Los abrigos de Mendandía, Kanpanoste y Aizpea. *Veleia*, 24-25: 581-609.
- Cava, A. and Beguiristain, M.A. (1991-1992). El yacimiento prehistórico del abrigo de la Peña (Marañón, Navarra). *Trabajos de arqueología navarra*, 10: 69-166.
- Chadwick, O.A., Derry, L.A., Vitousek, P.M., Huebert, B.J. and Hedin, L.O. (1999). Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, 397: 491-497.
- Chenery, C., Müldner, G., Evans, J., Eckardt, H. and Lewis, M. (2010). Strontium and stable isotope evidence for diet and mobility in Roman Gloucester, UK. *Journal of Archaeological Science*, 37: 150-163.
- Childe, G. (1936). *Man Makes Himself*. Oxford University Press.
- Chisholm, B.S. (1989). Variation in diet reconstructions based on stable carbon isotopic evidence. In: Price, T.D. (Ed.), *The chemistry of prehistoric human bone*. Cambridge University Press, pp. 10-37.
- Chisholm, B.S., Nelson, D.E., Hobson, K.A., Schwarcz, H.P. and Knyf, M. (1983). Carbon isotope measurements techniques for bone collagen: notes for the archaeologist. *Journal of Archaeological Science*, 10: 355-360.
- Chisholm, B.S., Nelson, D.E. and Schwarcz, H.P. (1982). Stable carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets. *Science*, 10: 355-360.
- Choi, W.J., Ro, H.M. and Hobbie, E.A. (2003). Patterns of natural <sup>15</sup>N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. *Soil Biology and Biochemistry*, 35: 1493-1500.
- Christian, L.N., Banner, J.L. and Mack, L.E. (2011). Sr isotopes as tracers of anthropogenic influences on atream water in the Austin, Texas, area. *Chemical Geology*, 282: 84-97.
- Clark, J.G.D. (1980). *Mesolithic prelude. The Palaeolithic-Neolithic transition in Old World prehistory*. Edinburgh, Edinburgh University Press.
- Clarke, D. (1978). *Mesolithic Europe: the economic basis*. Duckworth, Londres.

- Colledge, S. and Conolly, J. (2018). Plant domestication, production intensification and food storage at Pre-Pottery Neolithic A Dhra'. *Levant*. Doi: 10.1080/00758914.2018.1424746.
- Collins, M.J. and Galley, P. (1998). Towards an optimal method of archaeological collagen extraction: the influence of pH and grinding. *Ancient Biomolecules*, 2: 209-222.
- Comas, D., Luiselli, D. and Rickards, O. (2018). Human population genetics of the Mediterranean. *Annals of Human Biology*, 45(1): 1-4.
- Copeland, S.R., Cawthra, H.C., Fisher, E.C., Lee-Thorp, J.A., Richard, M.C., le Roux, P.J., Hodgkins, J., Marean, C.W. (2016). Strontium isotope investigation of ungulate movement patterns on the Pleistocene paleo-argulhas plain of the greater Cape floristic region, South Africa. *Quaternary Science Reviews*, 141: 65-84
- Copeland, S.R., Sponheimer, M., Le Roux, P.J., Grimes, V., Lee-Thorp, J.A., de Ruiter, D.J. and Richards, M.P. (2008). Strontium isotope ratios ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) of tooth enamel: a comparison of solution and laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry methods. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 22: 3187-3194.
- Copeland, S.R., Sponheimer, M., Lee-Thorp, J.A., Le Roux, P.J., de Ruiter, D.J. and Richards, M.P. (2010). Strontium isotope ratios in fossil teeth from South Africa: assessing laser ablation MC-ICP-MS analysis and the extent of diagenesis. *Journal of Archaeological Science*, 37: 1437-1446.
- Cortella, A.R. and Pochettino, M.L. (1994). Starch grain analysis as a microscopic diagnostic feature in the identification of plant material. *Economic Botany*, 48(2): 171-181.
- Craighead, A.S. (1995). *Marine mollusca as palaeoenvironmental and palaeoeconomic indicators in Cantabrian Spain*. PhD Thesis. University of Cambridge.
- Cristiani, E., Radini, A., Borić, D., Robson, H.K., Caricola, I., Carra, M., Mutri, G., Oxilia, G., Zupancich, A., Šlaus, M. and Vujević, D. (2018). Dental calculus and isotopes provide direct evidence of fish and plant consumption in Mesolithic Mediterranean. *Scientific reports*, 8. Doi: 10.1038/s41598-018-26045-9
- Cubas, M., Altuna, J., Álvarez-Fernández, E., Armendariz, A., Fano, M.A., López-Dóriga, I.L., Mariezkurrena, K., Tapia, J., Teira, L.C., Arias, P. (2016). Re-evaluating the Neolithic: The impact and the consolidation of farming practices in the Cantabrian Region (northern Spain). *Journal of World Prehistory*. Doi: 10.1007/s10963-016-9091-2
- De la Rúa, C., Baraybar, J.P., Iriondo, M. and Izagirre, N. (2001). Estudio antropológico del esqueleto mesolítico del yacimiento de Aizpea. In: Barandiaran, I. and Cava, A.

(Eds.), *Cazadores-recolectores en el Pirineo navarro. El sitio de Aizpea entre 8000 y 6000 años antes de ahora*. Anejos de Veleia. Series maior, 10: 363-429.

De la Rúa, C. and Hervella, M. (2013). Paleogenética humana. In: García-Díez, M. and Zapata, L. (Eds.), *Métodos y técnicas de análisis y estudio en arqueología prehistórica. De lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos*. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea, pp.: 427-438.

Delibes, G. (1996). Notas sobre el horizonte megalítico en el centro y este de la submeseta norte. *Gallaecia*, 14-15: 151-165.

Delibes, G., Alonso, M. and Rojo, M.A. (1987). Los sepulcros colectivos del Duero Medio y las Loras y su conexión con el foco dolménico riojano. *El megalitismo en la Península Ibérica*. Madrid (Ministerio de Cultura), pp.: 181-197.

Delibes, G., Rojo, M.A. and Sanz, C. (1986). Dólmenes de Sedano. El sepulcro de corredor de Las Arnillas (Moradillo de Sedano, Burgos). *Noticiario Arqueológico Hispánico*, 27: 7-39.

Deniel, C. and Pin, C. (2001). Single-stage method for the simultaneous isolation of lead and strontium from silicate samples for isotopic measurements. *Analytica Chimica Acta*, 426: 95-103

DeNiro, M.J. (1985) Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction, *Nature*, 317: 806-809.

DeNiro, M.J. and Epstein, S. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42: 495-506.

DeNiro, M.J. and Epstein, S. (1981). Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49: 97-115.

Dennell, R. (1983). *European economic prehistory: a new approach*. Academic Press. London.

Dequilloux, M.F., Leahy, R., Pemonge, M.H. and Rottier, S. (2012). European neolithization and ancient DNA: an assessment. *Evolutionary Anthropology*, 21(1): 24-37.

Díaz-del-Río, P., Waterman, A.J., Thomas, J.T., Peate, D.W., Tykot, R.H., Martínez-Navarrete, M.I. and Vicent, J.M. (2017). Diet and mobility patterns in the Late Prehistory of central Iberia (4000-1400 cal BC): the evidence of radiogenic ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) and stable ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) isotope ratios. *Archaeological and Anthropological Sciences*. Doi: 10.1007/s12520-017-0480-y.

Díaz-Zorita Bonilla, M. (2013). *The Copper Age in South-West Spain: a bioarchaeological approach to prehistoric social organisation*. PhD Thesis. University of Durham.

- Dijkstra, F.A. and Smits, M.M. (2002). Tree species effects on calcium cycling: the role of calcium uptake in deep soils. *Ecosystems*, 5: 385-398.
- Dorado, J., Maeztu, J.J. and Moreno, J. (2013). La catalogación de cavidades en la CAPV. *Karaitza*, 21:22-35.
- Downton, W.J.S., Grant, W.J.R. and Robinson, S.P. (1985). Photosynthetic and stomatal responses of spinach leaves to salt stress. *Plant Physiology*, 77: 85-88.
- Dupanloup, I., Bertorelle, G., Chikhi, L. and Barbujani, G. (2004). Estimating the impact of Prehistoric admixture on the genome of Europeans. *Molecular Biology and Evolution*, 21(7): 1361-1372.
- Dupras, T.L. and Tocheri, M.W. (2007). Reconstructing Infant Weaning Histories at Roman Period Kellis, Egypt, using stable isotope analysis of dentition. *American Journal of Physical Anthropology*, 134: 63-74.
- Dzieciolowski, R. (1969). *The quantity, quality and seasonal variation of food resources available to red deer in various environmental conditions of forest management*. Forest Research Institute. Warsaw.
- Ebbing, D.D. (1996). *General Chemistry*. Boston, Houghton Mifflin Company.
- Eby, G.N. (2004). *Principles of Environmental Geochemistry*. Waveland Press, Inc. Illinois.
- Echegaray, J., Illana, A., Hernando, A., Martínez de Lecea, F., Bayona, J., De la Torre, J.A., Paniagua, D. and Vilà, C. (2005). *El lobo (Canis lupus L. 1758) en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Uso del ADN fecal para el seguimiento de sus poblaciones*. Dirección de Biodiversidad del Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz. Informe inédito, pp.: 252.
- Edeso Fito, J.M. and Mujika Alustiza, J.A. (2017). Estudio de patrones espaciales y de reconstrucción paisajística mediante el uso de sistemas de información geográfica (Praileaitz I, Deba, Gipuzkoa). In: Peñalver, X., San José, S. and Mujika, J.A. (Coord.), *La Cueva de Praileaitz I (Deba, Gipuzkoa, Euskal Herria): intervención arqueológica 2000-2009*. Munibe Monographs: Anthropology and Archaeology Series 1, pp.: 171-191.
- Edwards, C.J., Bollongino, R., Scheu, A., Chamberlain, A., Tresset, Vigne, J.D., Baird, J.F., Larson, G., Ho, S.Y.W., Heupink, T.H., Shapiro, B., Freeman, A.R., Thomas, M.G., Arbogast, R.M., Arndt, B., Bartosiewicz, L., Bencke, N., Budja, M., Chaix, L., Choyke, A.M., Coqueugniot, E., Döhle, H.J., Göldner, H., Hartz, S., Helmer, D., Herzig, B., Hongo, H., Mashkour, M., Özdoğan, M., Pucher, E., Roth, G., Schade-Lindig, S., Schmölcke, U., Schulting, R.J., Stephan, E., Uerpman, H.P., Vörös, I., Voytek, B., Bradley, D.G. and Burger, J. (2007). Mitochondrial DNA analysis shows a



Near Eastern Neolithic origin for domestic cattle and no indication of domestication of European aurochs. *Proceedings of the Royal Society B*, 274 (1616).

Elias, R.W., Hirao, Y. and 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.

Elorza, M. (1989). Avifauna de la cueva sepulcral de Urtao II (Oñati, Gipuzkoa). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 41:79-80.

Elorza, M. and Sánchez, A. (1993). Postglacial fossil Great Auk and associated fauna from the Biscay Bay. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 45: 179-185.

Eriksson, G. (2003). *Norm and difference. Stone Age dietary practice in the Baltic region*. Theses and Papers in Scientific Archaeology, vol. 5. Estocolmo, Archaeological Research Laboratory. PhD thesis.

Eriksson, G. (2006). Stable isotope analysis of human and faunal remains from Zvejnieki. *Acta Archaeologica Lundensia*, 52: 183-215.

Eriksson, G., Frei, K.M., Howcroft, R., Gummesson, S., Molin, F., Lidén, K., Frei, R., Hallgren, F. (2016). Diet and mobility among Mesolithic hunter-gatherers in Motala (Sweden)-The isotope perspective. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 17:904-918.

Estremera, M.S. and Fabián, J.F. (2002). El túmulo de la Dehesa de Río Fortes (Mironcillo, Ávila): Primera manifestación del Horizonte Rechaba en la Meseta Norte. *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, 68: 9-41.

Etxeberria, F. (1987). Los restos humanos de la cueva sepulcral de Iruaxpe I (Aretxabaleta, Guipúzcoa). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 39: 77-79.

Etxeberria, F. (1989). Restos humanos de época calcolítica procedentes de la cueva sepulcral de Urtao II (Oñati, Gipuzkoa). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 41: 63-70.

Evans, J.A., Chenery, C.A., Mee, K., Cartwright, C.E., Lee, K.A., Marchant, A.P. and Hannaford, L. (2018). Biosphere Isotope Domains GB (V1): Interactive Website. *British Geological Survey. (Interactive Resource)*. Doi: 0.5285/3b141dce-76fc-4c54-96fa-c232e98010ea

Evans, J.A., Montgomery, J. and Wildman, G. (2009). Isotope domain mapping of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  biosphere variation on the Isle of Skye, Scotland. *Journal of Geological Society*. 166: 617-631.

Farquhar, G.D., Ehleringer, J.R. and Hubick, K.T. (1989). Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40: 503-537.

- Faure, G. (1986). *Principles of Isotope Geology*. New York, Wiley.
- Faure, G. and Mensing, T.M. (2005). *Isotopes: principles and applications*. Nueva Jersey, Wiley.
- Feng, X. (1998). Long-term  $\delta^{13}C$  response of trees in western North America to atmospheric CO<sub>2</sub> concentration derived from carbon isotope chronologies. *Oecologia*, 117: 19-25.
- Fernandes, P., Raynal, J.P. and Moncel, M.H. (2008). Middle Palaeolithic raw material gathering territories and human mobility in the southern Massif Central, France: first results from a petro-archaeological study on flint. *Journal of Archaeological Science*, 35(8): 2357-2370.
- Fernández-Crespo, T., Mujika, J.A. and Ordoño, J. (2016). Aproximación al patrón alimentario de los inhumados en la cista de la Edad del Bronce de Ondarre (Aralar, Guipúzcoa) a través del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno sobre colágeno óseo. *Trabajos de Prehistoria*, 73 (2): 325-334.
- Fernández-Crespo, T., Ordoño, J., Barandiarán, I., Andrés, M.T. and Schulting, R.J. (2018). The Bell Beaker multiple burial pit of La Atayuela (La Rioja, Spain): stable isotope insights into diet, identity and mortuary practices in Chalcolithic Iberia. *Archaeological and Anthropological Sciences*. Doi: 10.1007/s12520-018-0610-1.
- Fernández-Crespo, T. and Schulting, R.J. (2017). Living different lives: early social differentiation identified through linking mortuary and isotopic variability in Late Neolithic/Early Chalcolithic north-central Spain. *PLoS One*, 12(9):e0177881.
- Fernández de Ortega, I. (2007). *Hidrogeología de las sierras de Badaia y Arkamo (u.h. calizas de Subijana, País Vasco): investigación mediante aplicación conjunta de diversas técnicas con especial incidencia en la dinámica intra-pozo*. Departamento de Geodinámica, PhD Thesis, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. Leioa.
- Fernández-Eraso, J. (1997). *Peña Larga: memoria de las excavaciones arqueológicas*. Diputación Foral de Álava, Memorias de yacimientos alaveses 4, Vitoria-Gasteiz.
- Fernández-Eraso, J. (2004). El Neolítico Inicial en el País Vasco Meridional. Datos Recientes. *Kobie (Serie Anejos)*, 6(1): 181-190.
- Fernández-Eraso, J. (2006). El abrigo de Los Husos II (Elvillar). III Campaña. *Arkeoikuska*, 5: 50-55.
- Fernández-Eraso, J. (2007-2008). La secuencia del Neolítico en la Rioja Alavesa desde su origen hasta las primeras edades de los metales. *Veleia (Homenaje a Ignacio Barandiaran Maestu)*, 24-25 (Vol. II): 669-687.

Fernández-Eraso, J. (2011). Las cerámicas neolíticas de La Rioja Alavesa en su contexto. Los casos de Peña Larga y los Husos I y II. In: Bernabeu, J., Rojo, M. and Molina, L. (Eds.): Las primeras producciones cerámicas. El VI milenio cal AC en la Península Ibérica. *Saguntum Extra* (12): 117-130.

Fernández-Eraso, J., de Blas Cortina, M.A., Delibes de Castro, G., García Gazólaz, J., Iriarte Chiapusso, M.J. and Rodanés Vicente, J.M. (2009). Mesolítico y Neolítico: Pasado, presente y futuro de las investigaciones. In: Llanos, A. (Coord.) *Medio siglo de arqueología en el Cantábrico Oriental y su entorno. Actas del Congreso Internacional Medio Siglo de Arqueología en el Cantábrico Oriental y su entorno*. Diputación Foral de Álava, Vitoria-Gasteiz, pp.: 73-114.

Fernández-Eraso, J. and Mujika Alustiza, J.A. (Eds.) (2010). Actas del Congreso Internacional sobre Megalitismo y otras manifestaciones funerarias contemporáneas en su contexto social, económico y cultural. *Munibe*, Suplemento 32. Donostia-San Sebastián.

Fernández-Eraso, J. and Mujika Alustiza, J.A. (2013). La estación megalítica de la Rioja Alavesa: Cronología, orígenes y ciclos de utilización. *Zephyrus*, LXXI: 89-106.

Fernández-Eraso, J., Mujika Alustiza, J.A., Zapata, L., Iriarte-Chiapusso, M.J., Polo-Díaz, A., Castaños, P., Tarrío, A., Cardoso, S., Sesma-Sesma, J. and García-Gazólaz, J. (2015). Beginnings, settlement and consolidation of the production economy in the Basque region. *Quaternary International*, 364: 162-171.

Fernández-Eraso, J., Pérez-Díaz, S., Ruiz-Alonso, M., Alonso-Eguiluz, M., García-Rojas, M., Sánchez, A., Tarrío Vinagre, A., Camarero, C., García-Martínez de Lagrán, I., Arévalo Muñoz, E. and Polo-Díaz, A. (2017). Rediles y pastores en la Prehistoria Reciente de la Rioja Alavesa. In: Fernández-Eraso, J., Mujika Alustiza, J.A., Arrizabalaga, Á., García Diez, M. (Coord.): *Miscelánea en homenaje a Lydia Zapata Peña (1965-2015)*: 393-426.

Fernández-Eraso, J. and Polo Díaz, A. (2008-2009). Establos en abrigos bajo roca de la Prehistoria Reciente: su formación, caracterización y proceso de estudio. Los casos de Los Husos y de San Cristóbal. *Krei*, 10: 39-51.

Fernández-Giménez, J.M., Pérez-Rodríguez, F.J. and Puertas, F. (1990). Asentamientos del III milenio en el Bajo Ucieza. In: *Actas del II Congreso de Historia de Palencia*. Diputación de Palencia, Palencia, pp.: 71-93.

Fernández-López de Pablo, J., Salazar-García, D.C., Subirà, M.E., Roca de Togores, C., Gómez-Puche, M., Richards, M.P. and Esquembre-Bebíá, M.A. (2013). Late Mesolithic burials at Casa Corona (Villena, Spain): direct radiocarbon and palaeodietary evidence of the last forager populations in Eastern Iberia. *Journal of Archaeological Science*, 40: 671-680.

- Fernández-Mendiola, P.A. and García-Mondéjar, J. (2003). Carbonate platform growth influenced by contemporaneous basaltic intrusion (Albian of Larrano, Spain). *Sedimentology*, 50: 961-978.
- Fernández-Mier, M., López-Gómez, P. and González-Álvarez, D. (2013). Prácticas ganaderas en la Cordillera Cantábrica. Aproximación multidisciplinar al estudio de las áreas de pasto en la Edad Media. *Debates de Arqueología Medieval*, 3:167-219.
- Fischer, A., Olsen, J., Richards, M., Heinemeier, J., Sveinbjörnsdóttir, A.E. and Bennike, P. (2007). Coast-inland mobility and diet in the Danish Mesolithic and Neolithic: evidence from stable isotope values of humans and dogs. *Journal of Archaeological Science*, 34: 2125-2150.
- Flanagan, L.B. and Jefferies, R.L. (1989). Effects of increased salinity on CO<sub>2</sub> assimilation, O<sub>2</sub> evolution and the  $\delta^{13}\text{C}$  values of leaves of *Plantago maritima* L. developed at low and high NaCl. *Planta*, 178: 377-384.
- Flannery, K.V. (1969). Origins and Ecological Effects of Early Domestication in Iran and the Near East. In: Ucko, P.J. and Dimbleby, G.W. (Eds.), *The domestication and exploitation of plants and animals*. Chicago, Aldine, pp.: 73-100.
- Floss, H. (1994). *Rohmaterialversorgung im Paläolithikum des Mittelrheingebietes*. Römisch-germanisches Zentralmuseum. Bonn: Forschungsinstitut für Vor- und Frühgeschichte. Monographien Band 21. Dr. R. Habelt GMBH.
- Fogel, M., Tuross, N. and Owasley, D.W. (1989). Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. *Carneige Institute Year Book*, 88: 111-117.
- Fontanals-Coll, M. (2015). Estudi dels modes de subsistència de les comunitats neolítiques del nord-est de la Península Ibèrica : Reconstrucció paleodietètica a partir dels isòtops estables. PhD Thesis. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Fontanals-Coll, M., Díaz-Zorita Bonilla, M. and Subirà, M.E. (2016a). 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(3): 447-459.
- Fontanals-Coll, M., Subirà, M.E., Marín-Moratalla, N., Ruiz, J. and Gibaja, J.F. (2014). From Sado Valley to Europe: Mesolithic dietary practices through different geographic distributions. *Journal of Archaeological Science*, 50: 536-550.
- Fontanals-Coll, M., Subirà, M.E., Díaz-Zorita Bonilla, M., Duboscq, S. and Gibaja, J.F. (2015). 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, Reports*, 3: 160-170.

- Fontanals-Coll, M., Subirà, M.E., Díaz-Zorita Bonilla, M. and Gibaja, J.F. (2016b). First insight into the Neolithic subsistence economy in the north-east Iberian Peninsula: paleodietary reconstruction through stable isotopes. *American Journal of Physical Anthropology*, 162: 36-50.
- Francalacci, P. (1988). Comparison of archaeological, trace element and stable isotope data from two Italian coastal sites. *Rivista di Antropologia*, 66: 239-250.
- Fraser, R.A., Bogaard, A., Schäfer, M., Arbogast, R. and Heaton, T.H.E. (2013). Integrating botanical, faunal and human stable carbon and nitrogen isotope values to reconstruct land use and palaeodiet at LBK Vaihingen an der Enz, Baden-Württemberg. *World Archaeology*, 45(3): 492-517.
- Frayse, F., Pokrovsky, O.S., Schott, J. and Meunier, J.D. (2009). Surface chemistry and reactivity of plants phytoliths in aqueous solutions. *Chemical Geology*, 258: 197-206.
- Friedli, H., Lötshcer, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U. and Stauffer, B. (1986). Ice core record of the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio of the atmospheric  $\text{CO}_2$  in the past two centuries. *Nature*, 324: 237-238.
- Fry, B. (1988). Food web structure of Georges Bank from stable C, N, and S, isotopic compositions. *Limnology and Oceanography*, 33: 1182-1190.
- Fry, B. (2006). *Stable isotope ecology*. Nueva York, Springer.
- Fuller, B.T., Fuller, J.L., Sage, N.E., Harris, D.A., O'Connell, T.C. and Hedges, R.E.M. (2005a). Nitrogen balance and  $\delta^{15}\text{N}$ : why you're not what you eat during pregnancy. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 18: 2889-2896.
- Fuller, B.T., Fuller, J.L., Sage, N.E., Harris, D.A., O'Connell, T.C. and Hedges, R.E.M. (2005b). Nitrogen balance and  $\delta^{15}\text{N}$ : why you're not what you eat during nutritional stress. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 19 (18): 2497-2506.
- Fuller, B.T., Fuller, J.L., Harris, D.A. and 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.
- Fuller, B.T., Richards, M.P. and Mays, S.A. (2003). Stable carbon and nitrogen isotope variations in tooth dentine serial sections from Wharram Percy. *Journal of Archaeological Science*, 30(12): 1673-1684.
- Fuller, D.Q. (2007). Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: recent archaeological insights from the Old World. *Annals of Botany*, 100: 903-924.
- Galop, D. (1998). *La forêt, l'Homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6000 ans d'histoire l'environnement entre Garonne et Méditerranée*. Toulouse.

Galop, D. (2005). Les transformations de l'environnement pyrénéen durant l'Antiquité: l'état de la question à la lumière des données polliniques. *Aquitania Supplément*, 13: 317-327.

Gamble, C. (2001). *Las sociedades paleolíticas de Europa*. Ariel Prehistoria, Barcelona.

García-Borja, P., Pérez Fernández, Á., Biosca Cirujeda, V., Ribera i Gomes, A. and Salazar-García, D.C. (2013). Los restos humanos de la Coveta del Frare (La Font de la Figuera, València). In: García Borja, P., Revert Francés, E., Ribera i Gomes, A., Biosca Cirujeda, V. (Eds.), *El naixement d'un poble història i arqueologia de La Font de la Figuera*. Ajuntament de la Font de la Figuera, pp.: 47-60.

García-Gazólaz, J. and Sesma Sesma, J. (2001). Los Cascajos (Los Arcos, Navarra). Intervenciones 1996-1999. *Trabajos de Arqueología Navarra*, 15: 299-306.

García-Guixé, E., Martínez-Moreno, J., Mora, R., Núñez, M. and Richards, M.P. (2009). Stable isotope analysis of human and animal remains from the Late Upper Palaeolithic site of Balma Guilanyà, south eastern Pre-Pyrenees, Spain. *Journal of Archaeological Science*, 36(4): 1018-1026.

García-Guixé, E., Subirà, M.E. and Richards, M.P. (2006). Palaeodiets of humans and fauna from the Spanish Mesolithic site of El Collado. *Current Anthropology*, 47: 549-556.

García-Guixé, E., Subirà M.E., Marlasca, R. and Richards, M.P. (2010).  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in ancient and recent fish bones from the Mediterranean Sea. *Journal of Nordic Archaeological Science*, 17: 83-92.

García-Ibaibarriaga, N. (2015). *Los microvertebrados en el registro arqueopaleontológico del País Vasco: cambios climáticos y evolución paleoambiental durante el Pleistoceno Superior*. PhD Thesis. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.

García-Martínez-de-Lagrán, I. (2018). Review of the archaeological contexts and theoretical models of the Neolithisation of Spain: The North Meseta, The Ebro Valley and Catalonia as a case study. *Quaternary International*, 472: 172-194.

García-Moreno, A. (2010). *Patrones de asentamiento y ocupación del territorio en el Cantábrico Oriental al final del Pleistoceno. Una aproximación mediante SIG*. PhD Thesis. Santander.

Garin, I., Aldezabal, A., García-González, R. and Aihartza, J.R. (2001). Composición y calidad de la dieta del ciervo (*Cervus elaphus* L.) en el norte de la península ibérica. *Animal Biodiversity and Conservation*, 24 (1): 53-63.

Garrido, R. (2000). El Campaniforme en La Meseta Central de la Península Ibérica (c. 2500-2000 AC). *Archaeopress*, Oxford.

- Garvie-Lok, S.J., Varney, T. and Katzenberg, M.A. (2004). Preparation of bone carbonate for stable isotope analysis: the effects of treatment time and acid concentration. *Journal of Archaeological Science*, 31: 763-776.
- Gassiot, E. (2000). *Anàlisi arqueològica del canvi cap a l'explotació del litoral*. PhD Thesis. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Gassiot, E. and Jiménez Zamora, J. (2006). El poblament prefeudal de l'alta muntanya dels Pirineus occidentals catalans (Pallars Sobirà i Alta Ribagorça). *Tribuna d'Arqueologia*, 2004-2005: 89-122.
- Gassiot, E., Pelachs, D. and Astrou, A.C. (2009). Dynamiques des activités anthropiques sur un milieu montagnard dans les Pyrénées occidentales catalanes durant la Préhistoire: une approche multidisciplinaire. In: Txortzis, S., Delestre, X. (Eds.) *Archéologie della montagna européenne. Actes de la table ronde international de Cap, 29 septembre-1er octobre 2008*. Aiz en Provence, pp.: 33-44.
- Gassiot, E., Rodríguez D., Burjachs, F., Antolín, F. and Ballesteros, A. (2012). Poblamiento, explotación y entorno natural de los estadios alpinos y subalpinos del Pirineo central durante la primera mitad del Holoceno. *Cuaternario y Geomorfología*, 26(3-4): 29-45.
- Gibaja, J.F., Fontanals-Coll, M., Dubosq, S., Oms, F.X., Augé, A., Santos, F.J., Morell, B. and Subirà, M.E. (2017a). Human diet and the chronology of Neolithic societies in the north-east of the Iberian Peninsula: the necropolises of Puig d'en Roca and Can Gelats (Girona, Spain). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9: 903-913.
- Gibaja, J.F., Mazzucò, N., Ibáñez, J.J., Mineo, M., Rodríguez Rodríguez, A., Gassin, B., Perales, U., Martín-Lerma, I. and López Rodríguez, C. (2017b). Reconociendo el camino seguido por las primeras comunidades neolíticas asentadas en el Mediterráneo centro-occidental a través del análisis de sus hoces. *Arkeogazte*, 7: 41-57.
- Giblin, J.I., Knudson, K.J., Bereczki, Z., Pálfi, G. and Pap, I. (2013). Strontium isotope analysis and human mobility during the Neolithic and Copper Age: a case study from the Great Hungarian Plain. *Journal of Archaeological Science*, 40(1): 227-239.
- Giblin, J.I. and Yerkes, R.W. (2016). Diet, dispersal and social differentiation during the Copper Age in eastern Hungary. *Antiquity*, 90 (349): 81-94.
- Gilbert, R.I. and Mielke, J.H. (Eds.) (1985). *The analysis of prehistoric diets*. New York, Academic Press.
- Gilman, A. (1987). Unequal development in Copper Age Iberia. In: Brumfiel, E.M. and Earle, T.K. (Eds.), *Specialization, Exchange, and Complex Societies*. Cambridge University Press, Cambridge, pp.: 22-29.

- Giorgi, E., Bartoli, E., Iacumin, P. and Mallegni, E. (2005). Oligoelements and isotopic geochemistry: a multidisciplinary approach to the reconstruction of the paleodiet. *Human Evolution*, 20(1): 55-82.
- Giovannetti, L. (2004). Archeologia e storia della montagna della Garfagnana e delle sue risorse. Il caso di Gorfigliano nel più ampio contesto apuano e appenninico. In: Quirós Castillo, J.A. (Ed.), *Archeologia e storia di un castello apuano*. Florencia, pp.: 225-252.
- Gómez Alday, J.J., Ortega, L.A., Menendez, M. and Elorza, J. (2001). Inocerámidos y sedimento carbonatado (Maastrichtense inferior, Arco Vasco): comportamiento de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  durante la diagénesis (Parte 1). *Geogaceta*, 30: 163-166.
- González-Morales, M.R. (1992). Mesolíticos y megalíticos: la evidencia arqueológica de los cambios en las formas productivas en el paso al megalitismo en la costa cantábrica. In: Moure, A. (Ed.), *Elefantes, ciervos y ovicaprinos*. Universidad de Cantabria, pp.: 185-202.
- González-Morales, M.R., Straus, L.G., Díez Castillo, A. and Ruiz Cobo, J. (2004). Postglacial coast and inland: the Epipaleolithic-Mesolithic-Neolithic transitions in the vasco-cantabrian region. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 56: 61-78.
- González-Sainz, C., Cacho Toca, R. and Fukazawa, T. (2003). *Arte paleolítico en la región cantábrica*. Universidad de Cantabria, Servicio de Publicaciones: Consejería de Cultura, Turismo y Deporte del Gobierno de Cantabria.
- Goude, G., Binder, D. and Del Lucchese, A. (2011-2013). Alimentation et modes de vie néolithiques en Ligurie. *Rivista di Studi Liguri*, LXXVII-LXXIX: 371-381.
- Goude, G., Castorina, F., Herrscher, E., Cabut, S. and Tafuri, M.A. (2012). First strontium isotope evidence of mobility in the neolithic southern France. *European Journal of Archaeology*, 15 (3): 421-439.
- Goude, G., Rey, L., Toulemonde, F., Cervel, M. and Rottier, S. (2017). Dietary changes and millet consumption in northern France at the end of Prehistory: Evidence from archaeobotanical and stable isotope data. *Environmental Archaeology*, 22 (3): 268-282.
- Graf, M.T. and Chmura, G.L. (2006). Development of modern analogues for natural, mowed and grazed grasslands using pollen assemblages and coprophilous fungi. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 141(1-2): 139-149.
- Graustein, W.C. and Armstrong, R. (1983). The use of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios to measure atmospheric transport into forested watersheds. *Science*, 219: 289-292.
- Green, G.P., Bestland, E.A. and Walker, G.S. (2004). Distinguishing sources of base cations in irrigated and natural soils: evidence from strontium isotopes. *Biogeochemistry*, 68: 199-225.



- Grine, F.E. (1984). Deciduos molar microwear of South African australopithecines. In: Chivers, D.J., Wood, B.A. and Blisborough, A. (Eds.), *Food acquisition and processing in primates*. New York: Plenum Press, pp.: 525-534.
- Grine, F.E. (1986). Dental evidence for dietary differences in Australopithecus and Paranthropus: a quantitative analysis of permanent molar microwear. *Journal of Human Evolution*, 15: 783-822.
- Groot-Bruinderink, G.W.T.A. and Hazebroek, E. (1995). Ingestion and diet composition of red deer (*Cervus elaphus* L.) in the Netherlands from 1954 till 1992. *Mammalia*, 59: 187-195.
- Grupe, G. (2001). Archaeological Microbiology. In: Brothwell, D.R. and Pollard, A.M. (Eds.), *Handbook of Archaeological Sciences*. Nueva York, John Wiley and Sons, pp.: 351-358.
- Grupo de espeleología Aloña-Mendi (1974). *Trabajos sobre el karst del Sur-Oeste de Gipuzkoa*. Biblioteca Municipal de Oñate.
- Guerrero, L.A. and Lorenzo, J.L. (1981). Antropología física en Rascaño. In: González Echegaray, J. and Barandiarán, I. (Eds.), *El Paleolítico Superior de la Cueva de Rascaño (Santander)*. Centro de Investigación y Museo de Altamira, Santander, pp.: 278-321.
- Guiry, E.J., Hillier, M. and Richards, M.P. (2015). Mesolithic dietary heterogeneity on the European Atlantic Coastline: stable isotope insights into hunter-gatherer diet and subsistence in the Sado Valley, Portugal. *Current Anthropology*, 56(3): 460-470.
- Guráieb, A.G. (2001). La agregación en cazadores-recolectores: aportes desde la etnografía y la arqueología. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*, XXVI: 369-383.
- Gutiérrez Zugasti, I. (2005). *La explotación de moluscos en la cuenca baja del río Asón (Cantabria, España) a inicios del Holoceno (10.000-5.000 BP) y su importancia en las comunidades humanas del Aziliense y del Mesolítico*. Trabajo de Investigación de Doctorado. Santander: Departamento de Ciencias Históricas, Universidad de Cantabria.
- Gutiérrez Zugasti, I. (2009). *La explotación de moluscos y otros recursos litorales en la región cantábrica durante el Pleistoceno final y el Holoceno inicial*. PhD Thesis. Universidad de Cantabria.
- Gutiérrez Zugasti, I. (2011). Los moluscos alimenticios de la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia): Campañas de excavación 2004-2006. In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *Cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*. Kobie, Excavaciones Arqueológicas en Bizkaia, Monografía 1. Diputación Foral de Bizkaia. Bilbao, pp.: 247-266.

- Gutiérrez Zugasti, I., Andersen, S.H., Araújo, A.C., Dupont, C., Milner, N. and Monge-Soares, A.M. (2011). Shell midden research in Atlantic Europe: State of the art, research problems and perspectives for the future. *Quaternary International*, 239 (1-2): 70-85.
- Haak, W., Brandt, G., De Jong, H., Meyer, C., Ganslmeier, R., Heyd, V., Hawkesworth, C., Pike, A., Meller, H., and Alt, K. (2008). Ancient DNA, strontium isotopes and osteological analyses shed light on social kinship organization of the Later Stone Age. *Proceedings of the National Academy Sciences*, 105(47): 18226-18231.
- Handley, L.L., Austin, A.T., Stewart, G.R., Robinson, D., Scrimgeour, C.M., Raven, J.A., Heaton, T.H.E. and Schimdt, S. (1999). The  $^{15}\text{N}$  natural abundances ( $\delta^{15}\text{N}$ ) of ecosystem samples reflect measures of water availability. *Australian Journal of Plant Physiology*, 26: 185-199.
- Harbeck, M. and Grupe, G. (2009). Experimental chemical degradation compared to natural diagenetic alteration of collagen: implications for collagen quality indicators for stable isotope analysis. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1: 43-57.
- Harrison, R.G. and Katzenberg, M.A. (2003). Paleodiet studies using stable carbon isotopes from bone apatite and collagen: examples from Southern Ontario and San Nicolas Island, California. *Journal of Anthropological Archaeology*, 22: 227-244.
- Hartman, G. and 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.
- Heaton, T.H.E. (1987). The  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  ratios of plants in South Africa and Namibia: relationship to climate and coastal/saline environments. *Oecologia*, 74: 236-246.
- Hebert, B. and Mandl, F. (Eds.) (2009). *Almen im Visier*. Dachsteingebirge, Totes Gebirge, Silvretta, Haus i.E.
- Hedges, R.E.M. (2004). Isotopes and red herrings: comments on Milner et al. and Lidén et al. *Antiquity*, 78: 34-37.
- Hedges, R.E.M. and Reynard, L.M. (2007). Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 34: 1240-1251.
- Hedges, R.E.M., Clement, J.G., Thomas, C.D.L. and O'Connell, T.C. (2007). Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: modelled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. *American Journal of Physical Anthropology*, 133: 808-816.
- Hedges, R.E.M., Saville, A. and O'Connell, T. (2008). Characterizing the diet of individuals at the Neolithic chambered tomb of Hazleton North, Gloucestershire, England using stable isotopic analysis. *Archaeometry*, 50: 114-128.

- Hernández-Beloqui, B., Iriarte-Chiapusso, M.J., Echazarreta-Gallego, A. and Ayerdi, M. (2015). The Late Holocene in the western Pyrenees: a critical review of the current situation of palaeopalynological Research. *Quaternary International*, 364: 78-85.
- Hernández-Pacheco, E. (1923). *La vida de nuestros antecesores paleolíticos según los resultados de las excavaciones en la caverna de La Paloma (Asturias)*. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas. Memoria nº31 (Serie Prehistórica nº26), Madrid.
- Herrscher, E. and Le Bras-Goude, G. (2008). Viande, laitage, poisons ou végétaux. 7
- Herrscher, E., Goude, G., Lisfranc, R., Forest, V. and Vermeulen, C. (2013a). Pratiques alimentaires au Bronze ancien en Auvergne: Essai de restitution par l'analyse isotopique. *Préhistoires Méditerranéennes*, 4(4): 2-25.
- Herrscher, E., Lheureux, J., Goude, G., Dabernat, H. and Duranthon, F. (2013b). Les pratiques de subsistance de la grotte I des Treilles (commune de Saint-Jean-et-Saint-Paul, Aveyron). *Préhistoires Méditerranéennes*, 4 : 1-27.
- Hervella, M., Izagirre, N., Alonso, S., Fregel, R., Alonso, A., Cabrera, V.M. and de la Rúa, C. (2012). Ancient DNA from hunter-gatherer and farmer groups from Northern Spain supports a random dispersion model for the Neolithic expansion into Europe. *PloS One*, 7(4): e34417.
- Hicks, B.J., Wipfli, M.S., Lang, D.W. and Lang, M.E. (2005). Marine-derived nitrogen and carbon in freshwater-riparian food webs of the Copper River Delta, southcentral Alaska. *Oecologia*, 144: 558-569.
- Hillson, S. (1979). *Diet and dental disease*. *World Archaeology*, 11: 147-162.
- Hillson, S. (1996). *Dental Anthropology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hobson, K.A., Alisaukas, R.T. and Clark, R.G. (1993). Stable nitrogen isotope enrichment in avian tissues due to fasting and nutritional stress: implications for isotopic analysis of diet. *Condor*, 95: 388-394.
- Hobson, K.A. and Clark, R.G. (1992). Assessing avian diets using stable isotopes II: factors influencing diet-tissue fractionation. *Condor*, 94: 189-197.
- Hodell, D.A., Quinn, R.L., Brenner, M. and Kamenov, G. (2004). Spatial variation of strontium isotopes ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) in the Maya region: A tool for tracking ancient human migration. *Journal of Archaeological Science*, 31: 585-601.
- Hoefs, J. (1997). *Stable Isotope Geochemistry*. Berlín, Springer-Verlag.
- Hoffman, E. and Stroobant, V. (2007). *Mass Spectrometry: principles and applications*. John Wiley & Sons Ltd. England.

- Hoppe, K.A., Koch, P.L. and Furutani, T.T. (2003). Assessing the preservation of biogenic strontium in fossil bones and tooth enamel. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13: 20-28.
- Horwitz, L.K., Tchernov, E., Ducos, P., Becker, C., Von den Driesch, A., Martin, L. and Garrard, A. (1999). Animal domestication in the Southern Levant. *Paléorient*, 25(2): 63-80.
- Hublin, J.J. and Richards, M.P. (Eds) (2009). *The Evolution of Hominin Diets. Integrating Approaches to the Study of Palaeolithic Subsistence*. Nueva York, Springer.
- Huntley, B. and Birks, H.J.B. (1984). An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0-13,000 years ago. *Antiquity*, 58 (223): 154-155.
- Ibáñez, J.J. and Zapata, L. (2001). La función de los útiles en sílex del yacimiento de Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). *Isturitz*, 11: 245-257.
- Iriarte-Chiapusso, M.J. (1994). Estudio palinológico del nivel sepulcral del yacimiento arqueológico de Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). *Cuadernos de Sección. Prehistoria-Arqueología*, 5: 161-179. Eusko Ikaskuntza.
- Iriarte-Chiapusso, M.J. (1996). Antropización del Paisaje y primeros estadios de la economía productora en el País Vasco. In: Ramil Rego, P., Fernández Rodríguez, C. and Rodríguez Guitián, M. (Coord.), *Biogeografía Pleistocena-Holocena de la Península Ibérica*. Xunta de Galicia, pp.: 349-361
- Iriarte-Chiapusso, M.J. (2009). Informa del estudio palinológico del yacimiento arqueológico de Santa María la Real (Zarautz, Gipuzkoa). In: Ibáñez Etxeberria, A. (Ed.), *Santa María la Real de Zarautz (País Vasco). Continuidad y discontinuidad en la ocupación de la costa vasca entre lo siglos V a.C. y XIV d.C.* Sociedad de Ciencias Aranzadi. Donostia, pp.: 118-131.
- Iriarte-Chiapusso, M.J. (2010). El entorno vegetal del megalitismo en la encrucijada vasca. *Munibe: Actas del Congreso Internacional sobre Megalitismo y otras manifestaciones funerarias contemporáneas en su contexto social, económico y cultural*. Suplemento 32: 462-471.
- Iriarte-Chiapusso, M.J. (2011). Polen y vegetación en la secuencia estratigráfica de Santimamiñe (Kortzeubi, Bizkaia). In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *Cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*. Kobie, Excavaciones Arqueológicas en Bizkaia, Monografía 1. Diputación Foral de Bizkaia. Bilbao, pp.: 321-342.
- Iriarte-Chiapusso, M.J., Mujika, J. and Tarrío, A. (2005). Herriko Barra (Zarautz-Gipuzkoa): Caractérisation industrielle et économique des premiers groupes de producteurs sur le littoral basque”. In : Marchand, G. y Tresset, A. (Eds.), *Unité et*

*diversité des processus de néolithisation sur la façade atlantique de l'Europe.* Mémoires de la Société Préhistorique Française 36. Paris, pp.: 127-136.

Iriarte-Chiapusso, M.J., Muñoz Sobrino, C., Gómez-Orellana, L., Hernández-Beloqui, B., García-Moreiras, I., Fernández Rodríguez, C., Heiri, O., Lotter, A.F., Ramil-Rego, P. (2016). *Quaternary International*, 403: 211-236.

Iriarte-Chiapusso, M.J. and Zapata, L. (2004). La adopción de la economía de producción: la aportación de la arqueobotánica. *Kobie, Serie Anejos*, 6(1): 203-216.

Iyengar, W.E., Kollmer, W.E. and Bowen, H.J.M. (1978). *The elemental composition of human tissues and body fluids*. Nueva York, Verlag Chemie.

Izagirre, N. (1998). *Aplicación de la biología molecular en el estudio antropológico de las poblaciones humanas del pasado: análisis de ADN mitocondrial*. PhD Thesis. Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Bilbao, Spain.

Izagirre, N. and de la Rúa, C. (1999). An mtDNA analysis in Basque populations: implications for haplogroups V as a marker for a major Paleolithic expansion from south-western Europe. *American Journal of Human Genetics*, 65: 199-207.

Jacks M. and Meiklejohn, C. (2004). Building a method for the study of the Mesolithic-Neolithic transition in Portugal. *Documenta Praehistorica*, 31: 89-111.

Jarman, M.R., Bailey, G. and Jarman, H.N. (1982). *Early European agriculture: its foundations and development*. Cambridge: University Press.

Jarošová, I., Pérez-Pérez, A., Dočkalová, M., Drozdová, E. and Turbón, D. (2006). Buccal dental microwear as a dietary indicator in the Iron Age human population from Son Real, Spain. *Anthropologie*, XLIV (2): 181-192.

Jim, S., Ambrose, S.H. and Evershed, R.P. (2004). Stable carbon isotopic evidence for differences in the dietary origin of bone cholesterol, collagen and apatite: Implications for their use in paleodietary reconstruction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68: 61-72.

Johnson, C.M., Lipman, P.W. and Czamanske, G.K. (1990). H, O, Sr, Nd and Pb isotope geochemistry of the Latir volcanic field and cogenetic intrusions, New Mexico, and the relations between evolution of a continental magmatic center and modifications of the lithosphere. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104: 99-124.

Jones, S. (2008). Ethnicity: Theoretical approaches, methodological implications. In: Bentley, R.A., Maschner, H.D.G., Chippindale, C. (Eds.), *Handbook of Archaeological Theories*. Altamira Press, Rowman & Littlefield Publishers, Inc. United Kingdom, pp.: 321-333.

- Kador, T., Fibiger, L., Cooney, G. and Fullagar, P. (2014). Movement and diet in early Irish prehistory: first evidence from multi-isotope analysis. *The Journal of Irish Archaeology*, 23: 83-96.
- Kaestle, F.A. and Smith, D.G. (2001). Ancient mitochondrial DNA evidence for prehistoric population movement: The numic expansion. *American Journal of Physical Anthropology*, 115: 1-12.
- Kahila Bar-Gal, G., Khalaily, H., Mader, O., Ducos, P. and Kolska Horwitz, L. (2002). Ancient DNA Evidence for the Transition from Wild to Domestic Status in Neolithic Goats: a case study from the site of Abu Gosh, Israel. *Ancient Biomolecules*, 4(1): 9-17.
- Kaiser, T.M. and Brinkmann, G. (2006). Measuring dental wear equilibriums –the use of industrial surface texture parameters to infer the diets of fossil mammals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*, vol. 239 (3-4): 221-240.
- Katzenberg, M.A. (1989). Stable isotope analysis of archaeological faunal remains from Southern Ontario. *Journal of Archaeological Science*, 16: 319-329.
- Katzenberg, M.A. (1992). Advances in stable isotope analysis of prehistoric bones. In: Saunders, S.R. and Katzenberg, M.A. (Eds.), *Skeletal Biology of Past Peoples: Research Methods*. Nueva York, Willey- Liss, pp.: 105-119.
- Katzenberg, M.A. (2000). Stable isotope analysis: a tool for studying past diet, demography and life history. In: Katzenberg, M.A. and Saunders, S.R. (Eds.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. Nueva York, Willey-Liss, pp.: 305-328.
- Katzenberg, M.A. and Lovell, N.C. (1999). Stable isotope variation in pathological bone. *International Journal of Osteoarchaeology*, 9: 316-324.
- Katzenberg, M.A. and Saunders, S. (2008). *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. Wiley-Liss Jhon and Sons.
- Keegan, W.E. and DeNiro, M.J. (1988). Stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen used to study coral reef and terrestrial components of prehistoric Bahamian diet. *American Antiquity*, 53: 320-336.
- Keeling, C.D., Bollenbacher, A.F. and Whorf, T.P. (2005). *Monthly atmospheric  $^{13}C/^{12}C$  isotopic ratios for 10 SIO stations*. Trends: a compendium of data on global change. [https://gcmd.nasa.gov/records/GCMD\\_CDIA\\_C\\_ISO\\_SIO.html](https://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_CDIA_C_ISO_SIO.html)
- Keeling, C.D., Mook, W.G. and Tans, P.P. (1979). Recent trends in the  $^{13}C/^{12}C$  ratio of atmospheric carbon dioxide. *Nature*, 277: 121-123.
- Kennedy, M.J., Hedin, L.O. and Derry, L.A. (2002). Decoupling of unpolluted temperature forests from rock nutrient sources revealed by natural  $^{87}Sr/^{86}Sr$  and  $^{84}Sr$

tracer addition. *Proceeding of National Academy of Sciences of the United States of America*, 99: 9639-9644.

Kline, S.A. (2015). *From valley to coast: an isotopic study of diet in southern Albania across three millennia*. PhD Thesis. California State University.

Knudson, K.J., Williams, H.M., Buikstra, J.E., Tomczak, P.D., Gordon, G.W. and Anbar, A.D. (2010). Introducing  $\delta^{88/86}\text{Sr}$  analysis in archaeology: a demonstration of the utility of strontium isotope fractionation in paleodietary studies. *Journal of Archaeological Science*, 37: 2352-2364.

Koch, P.L., Halliday, A.N., Walter, L.M., Stearley, R.F., Huston, T.J. and Smith, G.R. (1992). Sr isotopic composition of hydroxyapatite from recent and fossil salmon: the record of lifetime migration and diagenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 108: 277-287.

Koch, P.L., Hoppe, K.A. and Webb, D.S. (1998). The isotopic ecology of late Pleistocene mammals in North America. Part 1: Florida. *Chemical Geology*, 152: 119-138.

Kohl, D.H., Shearer, G.B. and Commoner, B. (1973). Variation of  $^{15}\text{N}$  in corn and soil following application of fertilizer nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 37: 888-892.

Kootker, L.M. and Davies, G.R. (2016). Bones, teeth and invisible tracers. The current state of human bioarchaeological isotope geochemical research in The Netherlands. In: Kluiving, S., Kootker, L. and Hermans, R. (Eds.), *Interdisciplinarity between humanities and science, a festschrift in honour of Prof. Dr. Henk Kars*. Sidestone Press. Leiden, pp.: 55-74.

Korner, C., Farquhar, G.D. and Roksandic, Z. (1988). A global survey of carbon isotope discrimination in plants from high altitude. *Oecologia*, 74: 623-632

Krueger, H.W. and Sullivan, C.H. (1984). Models for carbon isotope fractionation between diet and bone. In: Turnlund, J.E. and Johnson, P.E., (Eds.), *Stable Isotopes in Nutrition*. Washington D.C., American Chemical Society Symposium Series, 258, pp.: 205-222.

Laborde, M., Barandiaran, J.M., Atauri, J.M. and Altuna, J. (1967). Excavaciones en Marizulo (Urnieta). Campañas de 1965-1967. *Munibe*, 19: 261-270.

Lajtha, K. and Marshall, J.D. (1994). Sources of variation in the stable isotopic composition in plants. In: Lajtha, K. and Michener, R.H. (Eds.), *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Londres, Blackwell Scientific Publications, pp.: 1-21.

Lajtha, K. and Michener, R.H. (1994). *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Oxford, Blackwell Scientific Publications.

Lalueza-Fox, C., and Pérez-Pérez, A. (1993). The diet of the Neanderthal child Gibraltar 2 (Devil's Tower) through the study of the vestibular striation pattern. *Journal of Human Evolution*, 24: 29-41.

Lange-Badré, B. and Le Mort, F. (1998). Isotopes stables du carbone et de l'azote et éléments traces indicateurs du régime alimentaire de la population néolithique de Khirokitia (Chypre). In: Camps, G. (Ed.), *L'homme préhistorique et la mer : actes du 120e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, section de pré-et protohistoire, Aix-en Provence (23-26 octobre 1995)*, pp. : 415-428.

Larsen, C.S. (1997). *Bioarchaeology. Interpreting behavior from the human skeleton*. Cambridge, Cambridge University Press.

Larson, G., Albarella, U., Dobney, K., Rowley-Conwy, P., Schibler, J., Tresset, A., Vigne, J.D., Edwards, C.J., Schlumbaum, A., Dinu, A., Bălăşescu, A., Dolman, G., Tagliacozzo, A., Manaseryan, N., Miracle, P., Van Wijngaarden-Bakker, L., Masseti, M., Bradley, D.G. and Cooper, A. (2007). Ancient DNA, pig domestication, and the spread of the Neolithic into Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(39): 15276-15281.

Larson, G. and Fuller, D.Q. (2014). The evolution of animal domestication. *Annual review of ecology, evolution and systematics*, 45: 115-136.

Le Bras-Goude, G. and Claustre, F. (2009). Exploitation of domestic mammals in the eastern Pyrenees during the Neolithic human dietary patterns at the site of Montou (Corbères-les-Cabanès) using bone collagen stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ). *Vie et Milieu- Life and Environment*, 59: 219-225.

Le Bras-Goude, G., Billy, I., Charlier, K. and Loison, G. (2006a). Contribution des méthodes isotopiques pour l'étude de l'alimentation humaine au Néolithique moyen méridional: le cas du site Chasséen ancien du Crès (Béziers, Hérault, France). *Antropo*, 11: 167-175.

Le Bras-Goude, G., Binder, D., Formicola, C., Duday, H., Couture-Veschambre, C., Hublin, J.J. and Richards, M. (2006b). Stratégies de subsistance et analyse culturelle de populations Néolithiques de Ligurie: approche par l'étude isotopique ( $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$ ) des restes osseux. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 18: 45-55.

Le Bras-Goude, G., Binder, D., Simon, P. and Richards, M. (2006c). L'Homme du Rastel (Peillon, Alpes-Maritimes, France). Nouvelles données isotopiques ( $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{15}\text{N}$ ), radiométriques et archéologiques. *Bulletin Museu Anthropologie préhistorique*, 46: 84-88.

Le Bras-Goude, G., Binder, D., Zémour, A. and Richards, M.P. (2010). New radiocarbon dates and isotope analysis of human and animal bone from the Fontbrégoua (Salernes, Var, France). *Journal of Anthropological Science Reports*, 88: 167-178.



- Le Bras-Goude, G., Herrscher, E. and Vaquer, J. (2013). Funeral practices and foodstuff behaviour: What does eat meat mean? Stable isotope analysis of Middle Neolithic populations in the Languedoc region (France). *Journal of Anthropological Archaeology*, 32(3), 280-287.
- Le Bras-Goude, G., Schmitt, A. and Loison, G. (2009). Comportements alimentaires, aspects biologiques et sociaux au Néolithique: le cas du Crès (Hérault, France). *Comptes Rendus Palevol*, 8 (1): 79-91.
- Lee-Thorp, J.A. and Sponheimer, M. (2006). Contributions of Biogeochemistry to Understanding Hominin Dietary Ecology. *Yearbook of Physical Anthropology*, 49: 131-148.
- Lee-Thorp, J.A., Sealy, J.C. and Van der Merwe, N.J. (1989). Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. *Journal of Archaeological Science*, 16: 585-599.
- Leizaola Calvo, F. (2011). Cabañas tumulares en la Sierra de Andía (Navarra). In: García Orellán, R., Leizaola, A., Sánchez Martín, I. (Eds.), *En recuerdo de Joxemartin Apalategi Begiristain*. Donostia-San Sebastián, pp.: 153-171.
- Lelli, R., Allen, R., Biondi, G., Calattini, M., Conati Barbaro, C., Gorgoglione, M.A., Manfredini, A., Martínez-Labarga, C., Radina, F., Silvestrini, M., Tozzi, C., Rickards, O. and Craig, O.E. (2012). Examining dietary variability of the earliest farmers of South-Eastern Italy. *American Journal of Physical Anthropology*, 149: 380-390.
- Lerman, J.C. and Troughton, J.H. (1975). Carbon isotope discrimination by photosynthesis: Implications for the bio- and geo- sciences. In: Kline, E.R. and Kline, P.D. (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Stable Isotopes*. Oak Brook, Illinois. Argonne National Laboratory, Argonne, pp.: 630-644.
- Létolle, R. (1980). Nitrogen-15 in the natural environment. In: Fritz, P. and Fontes, J.C. (Eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry volume 1: The Terrestrial Environment*. Amsterdam, Elsevier, pp.: 407-433.
- Lidén, K. (1995). *Prehistoric diet transitions*. PhD Thesis. Theses and Papers in Scientific Archaeology, vol. 1. Stockholm, Archaeology Research Laboratory.
- Lidén, K., Eriksson, G., Nordqvist, B., Gotherström, A. and Bendixen, E. (2004). The wet and the wild followed by the dry and the tame – or did they occur at the same time? Diet in Mesolithic- Neolithic southern Sweden. *Antiquity*, 78: 23-33.
- Lightfoot, E., Boneva, B., Miracle, P.T., Slaus, M. and O'Connell, T.C. (2011). Exploring the Mesolithic and Neolithic transition in Croatia through isotopic investigations. *Antiquity*, 85: 73-86.
- Likovský, J., Urbanová, M., Hájek, M., Černý, V. and Čech, P. (2006). Two cases of leprosy from Žatec (Bohemia), dated to the turn of the 12th century confirmed by DNA

analysis for *Mycobacterium leprae*. *Journal of Archaeological Science*, 33(9): 1276-1283.

Lillie, M.C. (1997). Women and children in prehistory: resource sharing and social stratification at the Mesolithic-Neolithic transition in Ukraine. In: Moore, J. and Scott, E. (Eds.), *Invisible People and Processes: Writing Gender and Childhood into European Archaeology*. Leicester University Press, London, pp. 213-228.

Lillie, M.C. and Jacobs, K. (2006). Stable isotope analysis of 14 individuals from the Mesolithic cemetery of Vasilyevka II, Dnieper Rapids region, Ukraine. *Journal of Archaeological Science*, 33: 880-886.

Lillie, M.C. and Richards, M.P. (2000). Stable Isotope analysis and Dental Evidence of diet at the Mesolithic-Neolithic transition in Ukraine. *Journal of Archaeological Science*, 27: 965-972.

Lillie, M.C., Richards, M.P. and Jacobs, K. (2003). Stable isotope analysis of 21 individuals from the Epipalaeolithic cemetery of Vasilyevka III, Dnieper Rapids region, Ukraine. *Journal of Archaeological Science*, 30: 743-752.

Lillios, K.T., Waterman, A.J., Alan Artz, J. and Josephs, R.L. (2010). The Neolithic-Early Bronze Age mortuary rockshelter of Bolores, Torres Vedras, Portugal. *Journal of Field Archaeology*, 35(1): 19-39.

LKS Ingeniería (2011). *Euskadiko Paisaia: Catálogo del Paisaje de Urola Costa. Avance de objetivos, criterios y acciones*. Documento de trabajo. Eusko Jaurlaritz-Gobierno Vasco.

Lobo, P.J. (1986). El yacimiento al aire libre de El Albardón (Tobera, Álava). *Estudios de Arqueología Alavesa*, 13: 63-111.

Loidi, J., Biurrun, I., Campos, J.A., García-Mijangos, I. and Herrera, M. (2011). *La vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Facultad de ciencia y Tecnología. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. Eusko Jaurlaritz.

Loidi, J., Herrera, M., Salcedo, I., Galarza, A. and Iturrondobeitia, J.C. (2005). *Los bosques de Bizkaia. Instituto de Estudios Territoriales de Bizkaia*. Diputación Foral de Bizkaia.

Longin, R. (1971). New Method of Collagen Extraction for Radiocarbon Dating. *Nature*, 230: 241-242.

López-Borobia, K. (1985). *Vegetación en el País Vasco*. Cuadernos de Sección. Historia-Geografía. Eusko Ikaskuntza, Donostia-San Sebastián.

- López-Costas, O., Müldner, G. and 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.
- López-Quintana, J.C. (2011). La ocupación humana de Santimamiñe (Kortezubi): paisaje, recursos y estrategias de explotación del medio desde el Magdaleniense Inferior al Calcolítico-Edad del Bronce. In: J.C. López-Quintana (Ed.), *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*. Kobie, Serie BAI 1: 421-446.
- López-Quintana, J.C. and Guenaga, A. (2011). Revisión estratigráfica del depósito arqueológico de la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia): Campañas de 2004 a 2006. Cronoestratigrafía y paleoambiente. In: J.C. López-Quintana (Ed.), *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*. Kobie, Serie BAI 1: 7-70.
- López-Quintana, J.C. and Guenaga, A. (2014). La cueva de Santimamiñe. In: R. Sala-Ramos, E. Carbonell, J.M. Bermúdez de Castro, J.L. Arsuaga (Eds.), *Pleistocene and Holocene Hunter-Gatherers in Iberia and the Gibraltar Strait: the current archaeological record*. Universidad de Burgos and Fundación Atapuerca, Burgos, pp.: 114-121.
- López-Quintana, J.C., Guenaga Lizasu, A., Etxeberria, F., Herrasti, L., Martínez de Pancorbo, M., Palencia, L., Valverde, L. and Cardoso, S. (2015). Nuevo datos sobre la secuencia de uso sepulcral de la Cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia). *Arpi (Homenaje a Rodrigo de Balbín Behrmann)*, 3: 180-196.
- Lösch, S., Grupe, G. and Peters, J. (2006). Stable Isotopes and Dietary Adaptations in Humans and Animals at Pre-Pottery Neolithic Neval Çori, Southeast Anatolia. *American Journal of Physical Anthropology*, 131: 181-193.
- Lowe, J.J. and Walker, M.J.C. (1997). *Quaternary Environments*. Longman, Essex.
- Loy, T.H., Spriggs, M. and Wickler, S. (1992). Direct evidence for human use of plants 28000 years ago: starch residues on stone artifacts from the northern Solomon Islands. *Antiquity*, 66: 898-912.
- Lubell, D., Jackes, M., Swarcz, H., Knyf, M. and Meiklejohn, C. (1994). The Mesolithic-Neolithic transition in Portugal: isotopic and dental evidence of diet. *Journal of Archaeological Science*, 21: 201-216.
- Lucas, P.W. and Omar, R. (2012). Review article: new perspectives on tooth wear. *International Journal of Dentistry*, 2012: 287-573.
- MacHugh, D.E., Edwards, C.J., Bailey, J.F., Bancroft, D.R. and Bradley, D.G. (2000). The extraction and analysis of Ancient DNA from bone and teeth: a survey of current methodologies. *Ancient Biomolecules*, 3(2): 81-102.
- Madhavan, S., Treichel, I. and O'Leary, M.H. (1991). Effects of relative humidity on carbon isotope fractionation in plants. *Botanica Acta*, 104: 292-294.

- Makarewicz, C.A. and Sealy, K. (2015). Dietary reconstruction, mobility, and the analysis of ancient skeletal tissues: expanding the prospects of stable isotope research in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 21: 146-158.
- Malgosa Morera, A. and Subirà, M.E. (1996). Antropología i dieta: metodologies per a la reconstrucció de l'alimentació de poblacions antigues. *Cota Zero*, 12: 15-27.
- Mannino, M.A., Catalano, G., Talamo, S., Mannino, G., Di Salvo, R., Schimmenti, V., Lalueza-Fox, C., Messina, A., Petruso, D., Caramelli, D., Richards, M.P. and Sineo, L. (2012). Origin and diet of the prehistoric hunter-gatherers on the Mediterranean Island of Favignana (Ègadi Islands, Sicily). *PLoS One*, 7(11): e49802.
- Mannino, M.A. and Thomas, K.D. (2001). Intensive Mesolithic exploitation of coastal resources? Evidence from a shell deposit on the Isle of Portland (Southern England) for the impact of human foraging on populations of intertidal rocky shore molluscs. *Journal of Archaeological Science*, 28: 1101-1114.
- Mannino, M.A. and Thomas, K.D. (2002). Depletion of a resource? The impact of prehistoric human foraging on intertidal mollusk communities and its significance for human settlement, mobility and dispersal. *World Archaeology*, 33 (3): 452-474.
- Mannino, M.A., Thomas, K.D., Leng M.J., Di Salvo, R. and Richards, M.P. (2011). Stuck to the shore? Investigating prehistoric hunter-gatherer subsistence, mobility and territoriality in a Mediterranean coastal landscape through isotope analyses on marine mollusc shell carbonates and human bone collagen. *Quaternary International*, 244: 88-104.
- Mariezkurrena, K. (1983). Fauna del yacimiento prehistórico de Fuente Hoz (Álava) (Informe preliminar). *Estudios de Arqueología Alavesa*, 11: 69-75.
- Mariezkurrena, K. (1987). Macromamíferos asociados a los enterramientos calcolíticos de la Cueva de Iruaxpe I (Gipuzkoa). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 39: 80-84.
- Mariezkurrena, K. (1990). Caza y domesticación durante el Neolítico y la Edad de los Metales en el País Vasco. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 42: 241-252.
- Martí Oliver, B. (2012). Economía y medio ambiente en el Neolítico del País Valenciano. In: Moure Romanillo, A. (Ed.), *Elefantes, ciervos y ovicaprinos: economía y aprovechamiento del Medio en la Prehistoria de España y Portugal*. Universidad de Cantabria, pp.: 229-241.
- Mason, S. (1996). *Hazelnut (Corylus spp.) as a past food resource?* UCL, Institute of Archaeology, Bioarchaeology Discussion Group. London.
- Mattson, W.J.J. (1980). Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11: 119-161.

- Maurer, A.F., Galer, S.J.G., Knipper, C., Beierlein, L., Nunn, E.V., Peters, D., Tütken, T., Alt, K.W. and Schöne, B.R. (2012). Bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in different environmental samples- Effects of anthropogenic contamination and implications for isoscapes in past migration studies. *Science of the Total Environment*, 433: 216-229.
- Mays, S. and Faerman, M. (2001). Sex identification in some putative infanticide victims from Roman Britain using ancient DNA. *Journal of Archaeological Science*, 28(5): 555-559.
- Mays, S.A., Richards, M.P. and Fuller, B.T. (2002). Bone stable isotope evidence for infant feeding in Mediaeval England. *Antiquity*, 76(293): 654-656.
- Mazurié de Keroualin, K. (2007). *El origen del neolítico en Europa: agricultores, cazadores y pastores*. Ariel.
- McClure, S.B., García, O., Roca de Togores, C., Culleton, B.J. and Kennett, D.J. (2011). Osteological and paleodietary investigation of burials from Cova de la Pastora, Alicante, Spain. *Journal of Archaeological Science*, 38(2): 420-428.
- McCutchan, J.H., Lewis, W.M.J., Kendall, C. and McGrath, C.C. (2003). Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen and sulphur. *Oikos*, 102: 378-390.
- McKinney, A.R., McCrea, J.M., Epstein, S., Allen, H.A. and Urey, H.C. (1950). Improvements spectrometry for the measurement of small differences in isotope abundance ratios. *Review of Scientific Instruments*, 21: 724-730.
- Meier-Augenstein, W. (2002). Stable isotope analysis of fatty acids by gas chromatography-isotope ratio mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 465: 63-79.
- Meiggs, D.C. (2007). Visualizing the seasonal round: a theoretical experiment with strontium isotope profiles in ovicaprine teeth. *Anthropozoologica*, 42: 107-127.
- Meiklejohn, C. 2009. Radiocarbon dating of Mesolithic human remains in Spain. *Mesolithic Miscellany*, 20 (2): 2-20.
- Mekota, A.M., Grupe, G., Ufer, S. and Cuntz, U. (2006). Serial analysis of stable nitrogen and carbon isotopes in hair: monitoring starvation and recovery phases of patients suffering from anorexia nervosa. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 20: 1604-1610.
- Michelsen, A., Jonasson, S., Sleep, D., Havstrom, M. and Calaghan, T.V. (1996). Shoot biomass,  $\delta^{13}\text{C}$ , nitrogen and chlorophyll responses of two arctic dwarf shrubs to in situ shading, nutrient application and warming simulating climatic change. *Oecologia*, 105: 1-12.
- Milner, N., Craig, O.E. and Bailey, A. (Ed.) (2007). *Shell middens in Atlantic Europe*. Oxbow Books.

- Milner, N., Craig, O.E., Bailey, G.N., Pedersen, K. and Andersen, S.H. (2004). Something fishy in the Neolithic? A re-evaluation of stable isotope analysis of Mesolithic and Neolithic coastal populations. *Antiquity*, 78 (299): 9-22.
- Minagawa, M. and Wada, E. (1984). Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1135-1140.
- Mitchell, B., Staines, B.W. and Welch, D. (1977). *Ecology of red deer: a research review relevant to their management in Scotland*. Institute of Terrestrial Ecology, NERC, Banchory. Scotland.
- Montgomery, J. and Evans, J.A. (2006). Immigrants on the Isle of Lewis – combining traditional funerary and modern isotope evidence to investigate social differentiation, migration and dietary change in the Outer Hebrides of Scotland. In: Gowland, R., and Knüsel, C. (Eds.), *The Social Archaeology of Funerary Remains*. Oxbow, Oxford, pp. 122-142.
- Montgomery, J., Evans, J.A. and Roberts, C.A. (2003). The mineralization, preservation and sampling of teeth: Strategies to optimize comparative study and minimize age-related change for lead and strontium analysis. *American Journal of Physical Anthropology Supplement*, 36: 153-154.
- Montgomery, J., Evans, J.A. and Wildman, G. (2006). Sr-87/Sr-86 isotope composition of bottled British mineral waters for environmental and forensic purposes. *Applied Geochemistry*, 21: 1626-1634.
- Moreno, A., Teira-Brión, A., Sopelana-Salcedo, I., Arranza-Otaegui, A. and Zapata, L. (2015). Ethnobotany of millet cultivation in the north of the Iberian Peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany*, 24(4): 541-554.
- Mörseburg, A., Alt, K.W. and Knipper, C. (2015). Same old in Middle Neolithic diets? A stable isotope study of bone collagen from the burial community of Jechtingen, southwest Germany. *Journal of Anthropological Archaeology*, 39: 210-221
- Mujika, J.A. (2004). La investigación sobre las culturas prehistóricas con cerámica en el País Vasco. Estado de la cuestión (1972-2002). *Kobie (Serie Anejos)*, 6(1): 161-180.
- Mujika, J.A. (2009). Cronología y secuencias de uso funerario en el megalitismo del Pirineo Occidental. In: López-Quinta, J.C. (Ed.), *XIX Jornadas de Arqueología de Urdaibai*. Illunzar, 7. Gernika-Lumo, pp.: 13-38.
- Mujika, J.A. and Armendáriz, A. (1991). Excavaciones en la estación megalítica de Murumendi (Beasain, Gipuzkoa). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 43: 105-165.
- Müldner, G., Britton, K. and Ervynck, A. (2014). Inferring animal husbandry strategies in coastal zones through stable isotope analysis: a new evidence from the Flemish

coastal plain (Belgium, 1st-15th century AD). *Journal of Archaeological Science*, 41: 322-332.

Murelaga, X., Bailon, S., Saez de Lafuente, X., Castaños, P., López Quintana, J.C., Guenaga Lizasu, A., Ortega, L.A., Zuluaga, M.C. and Alonso-Olazabal, A. (2011). La fauna de microvertebrados de Santimamiñe (Pleistoceno superior-Holoceno) (Kortezubi, Bizkaia). In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *Cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*. Kobie, Excavaciones Arqueológicas en Bizkaia, Monografía 1. Diputación Foral de Bizkaia. Bilbao, pp.: 291-320.

Murillo-Barroso, M. and Martínón, M. (2012). Amber sources and trade in the Prehistory of the Iberian Peninsula. *European Journal of Archaeology*, 15: 187-216.

Murillo-Barroso, M., Peñalver, E., Bueno, P., Barroso, R., de Balbín, R. and Martínón-Torres, M. (2018). Amber in prehistoric Iberia: New data and a review. *PLoS ONE*, 13(8): e0202235. Doi: 10.1371/journal.pone.202235

Murrieta-Flores, P. (2012). Space and temporality in herding societies: exploring dynamics of movement during Iberian Late Prehistory. In: Souvatzi, S., Hadji, A. (Eds.) *Space and Time in Mediterranean Prehistory*. Routledge Taylor and Francis Group. New York and London, pp.: 196-213.

Murrieta-Flores, P., García Sanjuán, L. and Wheatley, D. (2012). Modelando la movilidad y el movimiento en la Prehistoria reciente a través de los SIG. Estudios de caso en Sierra Morena occidental. *II Congreso de Prehistoria de Andalucía: Movilidad, Contacto y Cambio. Antequera*. Junta de Andalucía, Consejería de Educación, Cultura y Deporte.

Nagel, M.C. (1982). Frederick Soddy: from alchemy to isotopes. *Journal of Chemical Education*, 59: 739-740.

Naito, Y.I., Bocherens, H., Chikaraishi, Y., Drucker, D.G., Wißing, C., Yoneda, M. and Ohkouchi, N. (2016). Delta N-15 of individual amino acids in archaeological materials: a review with a special focus on aquatic food resources. *Journal of Archaeological Science Reports*, 6: 720-732.

Nájera Colino, T., Molina González, F., Jiménez-Brobeil, S., Sánchez Romero, M., Al Oumaoui, I., Aranda Jiménez, G., Delgado-Huertas, A. and Laffranchi, Z. (2010). La población infantil de la Motilla del Azuer: Un estudio bioarqueológico. *Complutum*, 21(2): 69-102.

Nehlich, O. (2015). The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: a review. *Earth-Science Reviews*, 142: 1-17.

Nehlich, O., Montgomery, J., Evans, J., Schade-Lindig, S., Pichler, S.L., Richards, M.P. and Alt, K.W. (2009). Mobility or migration: a case study from the Neolithic settlement

- of Nieder-Mörlen (Hessen, Germany). *Journal of Archaeological Science*, 36: 1791-1799.
- Nelson, D.E., DeNiro, M.J., Schöeninger, M.J., De Paolo, D.J. and Hare, P.E. (1986). Effects of diagenesis on strontium, carbon, nitrogen, and oxygen concentration and isotopic composition of bone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50: 1941-1949.
- Németh, T., Kiss, Z., Kismányoky, T. and Lehoczky, E. (2006). Effect of long-term fertilization on the strontium content of soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 2751-2758.
- Nicol, H. (1957). *The word "isotope"*. *Lancet*, 269: 1358-1359.
- Nolte, E. (1984). *Miscelánea Arqueológica (VII)*. *Kobie*, 14: 1-205.
- Núñez, M., García Guixé, E., Liden, K. and Eriksson, G. (2006). Diferencias dietéticas entorno al Mar Báltico (10000-200 BP). In: Martínez Almagro, A. (Ed.), *Diversidad Biológica y Salud Humana*. Universidad Católica de Murcia. Murcia, pp.: 337-344.
- O'Connell, T.C., Kneale, C.J., Tasevska, N. and Kuhnle, G.G.C. (2012). The diet-body offset in human nitrogen isotopic values: a controlled dietary study. *American Journal of Physical Anthropology*, 149 (3): 426-434.
- O'Leary, M. (1981). Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*, 20 (4): 553-567.
- O'Leary, M. (1988). Carbon isotopes in photosynthesis. *BioScience*, 38: 328-336.
- O'Leary, M. (1995). Environmental Effects on Carbon Isotope Fractionation in Terrestrial Plants. In: Wada, E., Yoneyama, T., Minagawa, M., Ando, T. and Fry, B.D. (Eds.), *Stable Isotopes in the Biosphere*. Kyoto, Kyoto University Press, pp.: 78-91.
- Obermaier, H. (1925). *El Hombre Fósil*. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas. Madrid, 2ªed.
- Oelze, V., Siebert, A., Nicklisch, N., Meller, H., Dresley, V. and Alt, K.W. (2011). Early Neolithic diet and animal husbandry: stable isotope evidence from three linearbandkeramik (LBK) sites in Central Germany. *Journal of Archaeological Science*, 38: 270-279.
- Ogrinc, N. (1999). Stable isotope evidence of the diet of the Neolithic population in Slovenia – a case study: Ajdovska jama. *Documenta Praehistorica*, XXVI: 193-200.
- Ogrinc, N. and Budja, M. (2005). Paleodietary reconstruction of a Neolithic population in Slovenia: A stable isotope approach. *Chemical Geology*, 218: 103-116.
- Olalde, I., Brace, S., Allentoft, M.E., Armit, I., Kristiansen, K., Booth, T., Rohland, N., Mallick, S., Szécsényi-Nagy, A., Mittnik, A., Altena, E., Lipson, M., Lazaridis, I., Harper, T.K., Patterson, N.J., Broomandkshobacht, N., Diekmann, Y., Faltyskova, Z.,



Fernandes, D.M., Ferry, M., Harney, E., de Knijff, P., Michel, M., Oppenheimer, J., Stewardson, K., Barclay, A., Alt, K.W., Liseau, C., Ríos, P., Blasco, C., Vega Miguel, J., Menduiña García, R., Avilés Fernández, A., Bánffy, E., Bernabò-Brea, M., Billoin, D., Bonsall, C., Bonsall, L., Allen, T., Büster, L., Carver, S., Castells Navarro, L., Craig, O.E., Cook, G.T., Cunliffe, B., Denaire, A., Dinwiddy, K.E., Dodwell, N., Ernée, M., Evans, C., Kuchařík, M., Farré, J.F., Fowler, C., Gazenbeek, M., Garrido Pena, R., Haber-Uriarte, M., Haduch, E., Hey, G., Jowett, N., Knowles, T., Massy, K., Pfrengle, S., Lefranc, P., Lemerrier, O., Lefebvre, A., Heras, C., Galera, V., Bastida, A., Lomba, J., Majó, T., McKinley, J.I., McSweeney, K., Gusztáv, M.B., Modi, A., Kulcsár, G., Kiss, V., Czene, A., Patay, R., Endródi, A., Köhler, K., Hajdu, T., Szeniczey, T., Dani, J., Bernert, Z., Hoole, M., Cheronet, O., Velemínský, P., Dobeš, M., Candilio, F., Brown, F., Flores, R., Herrero-Corral, A.M., Tusa, S., Carnieri, E., Lentini, L., Valenti, A., Zazini, A., Waddington, C., Delibes, G., Guerra-Doce, E., Neil, B., Brittain, M., Luke, M., Mortimer, R., Desideri, J., Besse, M., Brücken, G., Furmanek, M., Haluszko, A., Mackiewicz, M., Rapiński, A., Leach, S., Soriano, I., Lillios, K.T., Cardoso, J.L., Pearson, M.P., Włodarczak, P., Price, T.D., Prieto, P., Rey, P.J., Risch, R., Rojo Guerra, M.A., Schmitt, A., Serrallongue, J., Silva, A.M., Smrčka, V., Vergnaud, L., Zilhão, J., Caramelli, D., Higham, T., Thomas, M.G., Kennett, D.J., Fokkens, H., Heyd, V., Sheridan, J.A., Sjögren, K.G., Stockhammer, P.W., Krause, J., Pinhasi, R., Haak, W., Barnes, I., Lalueza-Fox, C. and Reich, D. (2018) The Beaker phenomenon and the genomic transformation of Northwest Europe. *Nature*, 555:190–196.

Ontañón, R. (2002). Las puntas líticas con retoque plano del Calcolítico Cantábrico: análisis tecnotipológico y contextual. *Zephyrus*, 55: 199-229.

Ontañón, R. (2003). *Caminos hacia la complejidad: el Calcolítico en la región cantábrica*. Universidad de Cantabria, Santander.

Ontañón, R. and Armendariz, A. (2005). Cuevas y megalitos: los contextos sepulcrales colectivos en la Prehistoria reciente cantábrica. *Munibe Antropologia-Arkeologia (Homenaje a Jesús Altuna)*, 57: 275-286.

Ordoño, J. (2008). Apuntes sobre la evolución del concepto de “territorio” en la investigación del Paleolítico Cantábrico. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 59: 81-99.

Ortea, J.A. (1986). The malacology of La Riera cave. In: Straus, L.G. and Clark, G.A. (Eds.), *La Riera cave. Stone Age hunter-gatherer adaptations in northern Spain*. Arizona State University, Tempe, pp.: 289-313.

Ortega, L.A., Guede, I., Zuluaga, M.C., Alonso-Olazabal, A., Murelaga, X., Niso, J., Loza, M. and Quirós-Castillo, J.A. (2013). Strontium isotopes of human remains from the San Martín de Dulantzi graveyard (Alegría-Dulantzi, Álava) and population mobility in the Early Middle Ages. *Quaternary International*, 303: 54-63.

Paine, C., O'Connell, T.C. and Miracle, P.T. (2009). Stable isotope reconstruction of early Mesolithic diet at Pupicina Cave. In: McCartan, S., Schulting, R., Warren, G., Woodman, P. (Eds.), *Mesolithic Horizons*. Oxford, Oxbow Books, pp.: 210-216.

Palencia, L. (2015). *Arqueogenética de linajes mitocondriales prehistóricos del País Vasco desde el Mesolítico hasta la Edad del Bronce y su continuidad hasta la población autóctona vasca actual*. PhD Thesis. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.

Palomo, A., Piqué, R., López, O., Bosch, A., Chinchilla, J. and Tarrús, J. (2011). Análisis de los artefactos de madera del yacimiento neolítico lacustre de la Draga: aproximación experimental. In: Morgado, A., Baena, J. and García, D. (Eds.), *La investigación experimental aplicada a la arqueología*, pp.: 245-254.

Papathanasiou, A. (2003). Stable isotope analysis in Neolithic Greece and possible implications on human health. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13: 314-324.

Papathanasiou, A., Larsen, C.S. and Norr, L. (2000). Bioarchaeological inferences from a Neolithic ossuary from Alepotrypa Cave, Diros, Greece. *International Journal of Osteoarchaeology*, 10: 210-228.

Paz Cortés, M. (2011). *Maduración y desarrollo dental de los dientes permanentes en niños de la Comunidad de Madrid. Aplicación a la estimación de la edad dentaria*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

Pellegrini, m., Donahue, R.E., Chenery, C., Evans, J., Lee-Thorp, J., Montgomery, J. and Mussi, M. (2008). Faunal migration in late-glacial central Italy: implications for human resource exploitation. *Rapid communications in mass spectrometry*, 22: 1714-1726.

Peman, E. (1987). Los micromamíferos del yacimiento de Iruaxpe I (Gipuzkoa). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 39: 85-86.

Peman, E. (1989). Los micromamíferos del yacimiento de Urtao II (Gipuzkoa). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 41: 77-78.

Peña-Chocarro, L., Zapata, L., García Gazólaz, J., González Morales, M., Sesma Sesma, J. and Straus, L.G. (2005a). The spread of agricultura in northern Iberia: new archaeobotanical data from El Mirón Cave (Cantabria) and the open-air site of Los Cascajos (Navarra). *Vegetation History and Archaeobotany*, 14: 268-278.

Peña-Chocarro, L., Zapata, L., Iriarte-Chiapusso, M.J., González Morales, M., Straus, L.G. (2005b). The oldest agriculture in northern Atlantic Spain: new evidence from El Mirón Cave (Ramales de la Victoria, Cantabria). *Journal of Archaeological Science*, 32(4): 579-587.

- Peñalba, M.C. (1989). *Dynamique de vegetation Tardiglaciaire et Holocene du centre-nord de l'Espagne d'après l'analyse pollinique*. PhD Thesis. Universidad d' Aix-Marseille III.
- Peñalba, M.C. (1994). The history of Holocene vegetation in northern Spain from pollen analysis. *Journal of Ecology*, 82: 815-832.
- Peñalver, E., Álvarez-Fernández, E., Arias, P., Delclòs, X. and Ontañón, R. (2007). Local amber in a Palaeolithic Context in Cantabrian Spain: the case of La Garma A. *Journal of Archaeological Science*, 34: 843-849.
- Peñalver, X. (2005). *Orígenes*. Editorial Txalaparta. Tafalla. Nafarroa.
- Perales, U. (2015). *Traceología de la industria lítica de Atxoste (Alava): Aproximación a la gestión económico-social del asentamiento en el final del Mesolítico e inicio del Neolítico*. PhD Thesis. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.
- Perales, U., Soto, A. and Alday, A. (2016). El análisis tecno-funcional y la gestión de la industria lítica del nivel IIIb2 de Atxoste (Álava, España). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 67: 313-323.
- Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlachs, A., Iriarte, M<sup>a</sup>J., Otto, T. and Hernández-Beloqui, B. (2010). Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene, Special Issue*, 31(1): 75-93. .
- Pérez-Pérez, A., Bermúdez de Castro, J.M. and Arsuaga, J.L. (1999). Non occlusal dental microwear analysis of 300.000 year old Homo Heidelbergensis teeth from Sima de los Huesos (Sierra de Atapuerca, Spain). *American Journal of Physical Anthropology*, 108: 433-457.
- Pericot, L. (1925). *La civilización megalítica catalana y la cultura pirenaica*. Universidad de Barcelona.
- Pettitt, P.B., Richards, M.P., Maggi, R. and Formicola, V. (2003). The Gravettian burial known as the Prince ("Il Principe"): new evidence for his age and diet. *Antiquity*, 77: 15-19.
- Pin, C. Briot, D., Bassin, C. and Poitrasson, F. (1994). Concomitant separation of strontium and samarium-neodymium for isotopic analysis in silicate samples, based on specific extraction chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 298: 209-217.
- Piperno, D. (2006). *Phytoliths: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*. Maryland: Altamira Press.
- Polloni, A. (2008). Parures individuelles et sépultures collectives à la fin du Néolithique en Bassin parisien. *Préhistoires Méditerranéennes*, 14: 75-89.

- Portero Hernández, R. (2017). *La movilidad de los grupos humanos en el Valle del río de Urola a finales del Paleolítico Superior (ca. Del 19500 y del 140000 calBP): Ekain, Erralla y Amalda*. Gerust Creaciones, S.L.
- Portillo-Ramírez, M., and Albert, R.M. (2014). Microfossil, evidence for grinding activities. *Revista d'arqueologia de Ponent*, 24: 103-112.
- Post, D.M. (2002). Using stable isotope methods to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83: 703-718.
- Poszwa, A., Ferry, B., Dambrine, E., Pollier, B., Wickman, T., Loubet, M. and Bishop, K. (2004). Variations in bioavailable Sr concentration and  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  ratio in boreal forest ecosystems: Role of biocycling, mineral weathering and depth of root uptake. *Biochemistry*, 67: 1-20.
- Power, R.C., Salazar-García, D.C., Straus, L.G., González Morales, M.R. and Henry, A.G. (2015). Microremains from El Mirón Cave on human dental calculus suggest a mixed plant/animal subsistence economy during the Magdalenian in Northern Iberia. *Journal of Archaeological Science*, 60: 39-46.
- Power, R.C., Salazar-García, D.C., Wittig, R.M. and Henry, A.G. (2014). Assessing use and suitability of scanning electron microscopy in the analysis of micro remains in dental calculus. *Journal of Archaeological Science*, 49: 160-169.
- Prevedorou, E., Díaz-Zorita Bonilla, M., Romero, A., Buikstra, J.E., de Miguel-Ibáñez, M.P., and Knudson, K.J. (2010). Residential mobility and dental decoration in Early Medieval Spain: Results from eight century site of Plaza del Castillo, Pamplona. *Dental Anthropology*, 23 (2): 42-52.
- Price, T.D., Biltz, J. and Ezzo, J.A. (1992). Diagenesis in prehistoric bone: Problems and solutions. *Journal of Archaeological Science*, 19: 513-529.
- Price, T.D., Burton, J.H. and Bentley, R.A. (2002). The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. *Archaeometry*, 44 (1): 117-135.
- Prieto, A., García-Rojas, M., Sánchez, A., Calvo, A., Domínguez-Ballesteros, E., Ordoño, J. and García-Collado, M.I. (2016). Stones in Motion: cost units to understand Flint procurement strategies during the Upper Palaeolithic in the south-western Pyrenees using GIS. *Journal of lithic studies*, 3(1). Doi: 10.2218/jls.v3il.1310
- Puech, P.F. (1979). The diet of early man: evidence from abrasion of teeth and tools. *Current Anthropology*, 20: 590-592.
- Puech, P.F., Cianfarani, F. and Albertini, H. (1986). Dental microwear features as an indicator for plant food in early hominids: a preliminary study of enamel. *Human Evolution*, 1: 507-515.

Ramírez del Pozo, J. (1973). *Síntesis geológica de la provincia de Álava*. Obra cultural de la caja de ahorros municipal de la ciudad de Vitoria. Vitoria.

Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Haflidason, H., Hajdas, I., HattŽ, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M. and van der Plicht, J. (2013). IntCal 13 and Marine 13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50, 000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4): 1869-1887.

Rendu, C. (2003). *La montagne d'Enveig. Une estive purénéenne dans la longue durée*. Perpignan.

Rendu, C. (2006). "Transhumance": prélude à l'histoire d'un mot voyageur. In: Transhumance et estivage en Occident des origins aux enjeux actuels. *Actes des 26e journées internationales d'histoire de l'Abbaye de Flaran (2004)*. Toulouse, pp.: 7-29.

Rey, L., Goude, G. and Rottier, S. (2016). Comportements alimentaires au Néolithique: nouveaux résultats dans le Bassin parisien à partir de l'étude isotopique ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) de la nécropole de Gurgy "Les Noisats" (Yonne, Vmillénaire av. J.C.). *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris*, 29: 54-69.

Richards, M.P., Harvatia, K., Grimes, V., Smith, C., Smith, T., Hublin, J., Karkanas, P. and Panagopoulou, E. (2008). Strontium isotope evidence of Neanderthal mobility at the site of Lakonis, Greece using laser-ablation PIMMS. *Journal of Archaeological Science*, 35: 1251-1256.

Richards, M.P. and Hedges, R.E.M. (1999a). A Neolithic revolution? New evidence of diet in the British Neolithic. *Antiquity*, 73: 891-897.

Richards, M.P. and Hedges, R.E.M. (1999b) Stable Isotope Evidence for Similarities in the Types of Marine Foods Used by Late Mesolithic Humans at Sites Along the Atlantic Coast of Europe. *Journal of Archaeological Science*, 26: 717-722.

Richards, M.P., Hedges, R.E.M., Walton, I., Stoddart, S. and Malone, C. (2001). Neolithic Diet at the Brochtorff Circle, Malta. *European Journal of Archaeology*, 4: 253-262.

Richards, M.P. and Hedges, R.E.M. (2003). Variations in bone collagen  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  values of fauna from Northwest Europe over the last 40,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193: 261-267.

Richards, M.P. and Hedges, R.E.M. (2008). Stable isotope evidence of past human diet at the sites of the Neolithic cave of Gerani; the Late Minoan III cemetery of Armenoi; grave circles A and B at the palace site of Mycenae; and Late Helladic chamber tombs. In: Tzedakis, Y., Martlew, H. and Jones, M.K. (Eds.), *Archaeology meets science*. Oxford, Oxbow Books, pp. 220-230.

- Richards, M.P., Mays, S. and Fuller, B.T. (2002). Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the Medieval Wharram Percy site, Yorkshire, UK. *American Journal of Physical Anthropology*, 119: 205-210.
- Richards, M.P. and Mellars, P. (1998). Stable isotopes and the seasonality of the Oronsay middens. *Antiquity*, 72: 178-184.
- Richards, M.P., Pearson, J.A., Molleson, T.I., Russell, N. and Martin, L. (2003b). Stable Isotope Evidence of Diet at Neolithic Çatalhöyük, Turkey. *Journal of Archaeological Science*, 30: 67-76.
- Richards, M.P., Pettit, P.B., Trinkaus, E., Smith, F.H., Paunovic, M. and Karavanic, I. (2000). Neandertal diet at Vindija and Neandertal predation: The evidence from stable isotopes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97: 7663-7666.
- Richards, M.P., Price, T.D. and Koch, E. (2003a). Mesolithic and Neolithic subsistence in Denmark: new isotope data. *Current Anthropology*, 44: 288-295.
- Richards, M.P. and Schulting, R.J. (2006). Against the grain? A response to Milner et al. (2004). *Antiquity*, 80: 444-458.
- Richards, M.P., Schulting, R.J. and Hedges, R.E.M. (2003c). Sharp shift in diet at onset of Neolithic. *Nature*, 425: 366.
- Roberts, C. and Manchester, K. (2005). *The Archaeology of Disease*. Sutton Publishing.
- Robles, S. (2014). Evolución geológica de la Cuenca Vasco-Cantábrica. In: Bodego, A., Mendia, M., Aranburu, A., Apraiz, A. (Eds.), *Geología de la Cuenca Vasco-Cantábrica*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, pp.: 9-104.
- Rockman, M. and Steele, J. (Eds.) (2003). *Colonization of unfamiliar landscapes. The archaeology of adaptation*. Taylor and Francis Group.
- Roksandić, M. (2006). Analysis of burials from the new excavations of the sites Cabeço da Amoreira and Cabeço da Arruda (Muge, Portugal). In: Ferreira Bicho, N., Veríssimo, H. and Rolão, J.M. (Eds.), *Do Epipaleolítico ao Calcolítico na Península Ibérica. Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular*. Faro, Universidade do Algarve, Promontoria Monografica, 4: 43-54.
- Romero, A., Martínez-Ruiz, N. and de Juan, J. (2005). Análisis de microdesgaste dentario-vestibular en sujetos humanos actuales. *Revista Española de Antropología Física*, 25: 68-69.
- Roselló Izquierdo, E. and Morales Muñiz, A. (2011). Evidencias de pesca en las ocupaciones de Santimamiñe. In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *Cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*. Kobie, Excavaciones Arqueológicas en Bizkaia, Monografía 1. Diputación Foral de Bizkaia. Bilbao, pp.: 239-246.

- Rosman, K.J.R. and Taylor, P.D.P. (1998). Isotopic compositions of the elements 1997 (Technical report). *Pure and Applied Chemistry*, 7 (1): 217-235.
- Rosy, M., Azambre, B. and Albarède, F. (1992). REE and Sr/1bNd isotope geochemistry of the alkaline magmatism from the Cretaceous North Pyrenean Rift Zone (France-Spain). *Chemical Geology*, 97 (1-2): 33-46.
- Rubines, J. (2017). *Guía de mamíferos de Euskal Herria*. Sua Edizioak.
- Ruiz Urrestarazu, E. and Galdos Urrutia, R. (2008). *Geografía del País Vasco*. Editorial Nerea.
- 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. In: Flors, E. (Coord.) *Torre la Sal (Ribera de Cabanes, Castellón): Evolución del paisaje antrópico desde la Prehistoria hasta el Medioevo*. Castelló, Diputación de Castelló, Monografies de Prehistòria i Arqueologia Castellonenques, 8: 411-418.
- Salazar-García, D.C. (2010). Estudio de la dieta en poblaciones Mesolíticas y Neolíticas del sur del País Valenciano. Resultados preliminares de análisis de isótopos estables del C y del N. In: Gutiérrez-Redomero, E., Sánchez, A. and Galera, V. (Eds.), *Diversidad Humana y Antropología Aplicada*. Madrid, Universidad de Alcalá-Sociedad Española de Antropología Física, pp.: 145-155.
- Salazar-García, D.C. (2011). *Isótopos, dieta y movilidad en el País Valenciano. Aplicación a restos humanos del Paleolítico Medio al Neolítico Final*. PhD Thesis. Universidad de Valencia.
- Salazar-García, D.C. (2014). 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. In: Aguilera, G., Roman in Monroig, D. and García Borja, P. (Eds.), *La Cova dels Siablets (Alcalà de Xivert, Castelló), prehistòria a la Serra d'Irta*. Castellón, pp.: 67-78.
- Salazar-García, D.C. (2017). Estudio de la dieta en la población del Tossal del Mortórum mediante análisis de isótopos estables del Carbono y del Nitrógeno en colágeno óseo. In: Aguilera Arzo, G. (Coord.) *Tossal del Mortórum. Un assentament de l'Edat del Bronze y del Ferro Antic a la Ribera de Cabanes (Castelló)*. Servei d'Investigacions Arqueològiques i Prehistòriques. Castelló, pp.: 189-196.
- Salazar-García, D.C., Benítez de Lugo Enrich, L.B., Álvarez García, H.J. and Benito Sánchez, M. (2013). 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., Emili-Aura, J., Olària, C.R., Talamo, S., Morales, J.V. and Richards, M.P. (2014a). Isotope evidence for the use of marine resources in the Eastern Iberian Mesolithic. *Journal of Archaeological Science*, 42: 231-240.

Salazar-García, D.C., Fontanals-Coll, M., Goude, G. and Subirà, M.E. (2018). To 'seafood' or not to 'seafood'? An isotopic perspective on dietary preferences at the Mesolithic-Neolithic transition in the Western Mediterranean. *Quaternary International*, 470: 497-510.

Salazar-García, D.C. and Henry, A. (2013). Aliados de la arqueozoología: estudio de la dieta paleolítica mediante análisis isotópicos y de micro-restos vegetales. In: Sanchis Serra, A. and Pascual Benito, J.L. (Eds.), *Animals I arqueologia hui I jornades d'arqueozoologia del Museu de Prehistòria de València*. Museu de Prehistòria de València, pp. 133-158.

Salazar-García, D.C., Pérez-Ripoll, M., García-Borja, P., Jordá Pardo, J.F. and Aura Tortosa, E. (2017). A Terrestrial diet close to the coast: a case study from the Neolithic levels of Nerja Cave (Málaga, Spain). In: García-Puchol, O. and Salazar-García, D.C. (Eds.), *Times of Neolithic Transition along the Western Mediterranean*. *Fundamental Issues in Archaeology*, pp.: 281-307.

Salazar-García, D.C., Richards, M.P., Nehlich, O. and Henry, A.G. (2014b). 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.

Salazar-García, D.C., Romero, A., García-Borja, P., Subirà, M.E. and Richards, M.P. (2016). A combined dietary approach using isotope and dental buccal-microwear analysis of human remains from the Neolithic, Roman and Medieval periods from the archaeological site of Tossal de les Basses (Alicante, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 6: 610-619.

Sánchez-Quinto, F., Schroeder, H., Ramírez, O., Ávila-Arcos, M.C., Pybus, M., Olalde, I., Velazquez, A.M., Marcos, M.E., Encinas, J.M., Bertranpetit, J., Orlando, L., Gilbert, M.T. and Lalueza-Fox, C. (2012). Genomic affinities of two 7000-year-old Iberian hunter-gatherers. *Current Biology*, 22 (16): 1494-1499.

Sandford, M.K. (Ed.) (1993). *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology*. Nueva York, Gordon and Breach Science Publishers.

Santiago, L.S., Silvera, K., Andrade, J.L. and Dawson, T.E. (2005). El uso de isótopos estables en biología tropical. *Interciencia*, 30: 536-542.

Sarasketa-Gartzia, I. (2015). Las primeras necrópolis en la Europa Atlántica: prácticas funerarias y dieta durante el Mesolítico. *CKQ* 5, 157:174.



Sarasketa-Gartzia, I., Villalba-Mouco, V., Le Roux, P., Arrizabalaga, Á. and Salazar-García, D.C. (2017). Late Neolithic-Chalcolithic socio-economical dynamics in Northern Iberia. A multi-isotope study on diet and provenance from Santimamiñe and Pico Ramos archaeological sites (Basque Country, Spain). *Quaternary International*, 481: 14-27.

Sarasketa-Gartzia, I., Villalba-Mouco, V., Le Roux, P., Arrizabalaga, Á. and Salazar-García, D.C. (2018). Anthropic resource exploitation and use of the territory at the onset of social complexity in the Neolithic-Chalcolithic Western Pyrenees: a multi-isotope approach. *Archaeological and Anthropological Sciences*. Doi: 10.1007/s12520-018-0678-7

Sarobe, O. (2012). La investigación de las cuevas sepulcrales de Gipuzkoa. Pasado, presente y futuro. In: Fernández-Eraso, J. and Mujika, J.A. *Actas del Congreso Internacional sobre Megalitismo y otras manifestaciones funerarias contemporáneas en su contexto social, económico y cultural*. Munibe, Suplemento 32: 598-605

Scheu, A. (2017). Neolithic animal domestication as seen from ancient DNA. *Quaternary International*. Doi: 10.1016/j.quaint.2017.02.009

Schoeller, D.A. (1999). Isotope fractionation: why aren't we what we eat? *Journal of Archaeological Science*, 26: 667-673.

Schöeninger, M.J. and DeNiro, M. (1984). Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 625-639.

Schöeninger, M.J. and Moore, K. (1992). Bone stable isotope studies in Archaeology. *Journal of World Prehistory*, 6: 247-296.

Schöeninger, M.J., DeNiro, M.J. and Tauber, H. (1983). Stable Nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science*, 220: 1381-1383.

Schuhmacher, T.X. (2012). El marfil en España desde el Calcolítico al Bronce Antiguo. In: Banerjee, A., López-Padilla, J.A., Schuhmacher, T.X. (Eds.), *Marfiles y elefantes en la península Ibérica y el Mediterráneo Occidental. Actas Del coloquio internacional en Alicante el 26 y 27 de noviembre 2008*. Verlag Philipp von Zabern, Mainz, pp.: 45-68.

Schulting, R.J. and Richards, M.P. (2001). Dating women and becoming farmers: a new palaeodietary and AMS dating evidence from the Breton Mesolithic cemeteries of Teviec and Hoedic. *Journal of Anthropological Archaeology*, 20: 314-344.

Schulting, R.J. and Richards, M.P. (2002a). Finding the coastal Mesolithic in Southwest Britain: AMS dates and stable isotope results on human remains from Caldey Island, South Wales. *Antiquity*, 76: 1011-1025.

- Schulting, R.J. and Richards, M.P. (2002b). The wet, wild and the domesticated: The Mesolithic-Neolithic transition on the West coast of Scotland. *European Journal of Archaeology*, 5: 147-189.
- Schulting, R.J. and Richards, M.P. (2002c). Dogs, Ducks, Deer and Diet: New Stable Isotope Evidence on Early Mesolithic Dogs from the Vale of Pickering, North-east England. *Journal of Archaeological Science*, 29: 327-333.
- Schulting, R.J., Blockley, S.M., Bocherens, H., Drucker, D. and Richards, M.P. (2008). Stable carbon and nitrogen isotope analysis on human remains from the Early Mesolithic site of La Vergne (Charente-Maritime, France). *Journal of Archaeological Science*, 35: 763-772.
- Schulting, R.J., Vaiglova, P., Crozier, R. and Reimer, P.J. (2017). Further isotopic evidence for seaweed-eating sheep from Neolithic Orkney. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 11: 463-470.
- Schwarcz, H.P. (1991). Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies. *Journal of Archaeological Science*, 18: 261-276.
- Schwarcz, H.P. and Schoeninger, M.J. (1991). Stable isotope analysis in human nutritional ecology. *Yearbook of Physical Anthropology*, 34: 283-321.
- Schwarcz, H.P. and Schöeninger, M.J. (2011). Stable isotopes of carbon and nitrogen as tracers for paleo-diet reconstruction. In: Baskaran, M. (Ed.), *Handbook of Environment Isotope Geochemistry, Advances in Isotope Geochemistry*. Springer, pp.: 725-742.
- Schwarcz, H.P., Dupras, T.L. and Fairgrieve, S.I. (1999).  $^{15}\text{N}$  enrichment in the Sahara: In Search of a Global Relationship. *Journal of Archaeological Science*, 26: 629-636.
- Schwertl, M., Auerswald, K., Schäufele, R. and Schnyder, H. (2005). Carbon and nitrogen stable isotope composition of cattle hair: ecological fingerprints of production systems? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109: 153-165.
- Sealy, J., Johnson, M., Richards, M. and Nehlich, O. (2014). Comparison of two methods of extracting bone collagen for stable carbon and nitrogen isotope analysis: comparing whole bone demineralization with gelatinization and ultrafiltration. *Journal of Archaeological Science*, 47: 64-69.
- Sección de Espeleología de Aranzadi (1969). Catálogo espeleológico de Gipuzkoa. *Munibe*, 21: 1-161
- Seibt, U., Rajabi, A., Griffiths, H. and Berry, J.A. (2008). Carbon isotopes and water use efficiency: sense and sensitivity. *Oecologia*, 155: 411-454.
- Semal, P. and Orban, R. (1995). Collagen extraction from recent and fossil bones: quantitative and qualitative aspects. *Journal of Archaeological Science*, 22: 463-467.

- Sillen, A. and Lee-Thorp, J.A. (1994). Trace element and isotopic aspects of predator-prey relationships in terrestrial foodwebs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 107: 243-255.
- Sillen, A., Hall, G., Richardson, S. and Armstrong, R. (1998).  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios in modern and fossil food-webs of the Sterkfontein Valley: implications for early hominid habitat preference. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62: 2463-2478.
- Simmons, A.H. (2011). *The Neolithic Revolution in the Near East. Transforming the Human Landscape*. The University of Arizona Press. Tucson.
- Sjögren, K.G., Price, T.D. and Ahlström, T. (2009). Megalithis and mobility in south-western Sweden. Investigating relationships between a local society and its neighbours using strontium isotopes. *Journal of Anthropological Archaeology*, 28: 85-101.
- Sjögren, K.G., Price, T.D. and Kristiansen, K. (2016). Diet and Mobility in the Corded Ware of Central Europe. *PloS ONE*, 11(5): e0155083.
- Slovak, N. and Paytan, A. (2012). Applications of Sr isotopes in archaeology. In: Baskaran, M. (Ed.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. Advances in Isotope Geochemistry, pp.: 743-768.
- Smith, B.N. and Epstein, S. (1971). Two categories of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios for higher plants. *Plant Physiology*, 47: 380-384.
- Smith, E.A. (1983). Anthropological applications of optimal foraging theory: a critical review. *Current Anthropology*, 24: 625-651
- Smits, L. and Van der Plicht, H. (2009). Mesolithic and Neolithic human remains in the Netherlands: physical anthropological and stable isotope investigations. *Journal of Archaeology in the Low Countries*, 1(1): 55-85.
- Snoeck, C., Pouncett, J., Ramsey, G., Meighan, I.G., Mattielli, N., Goderis, S., Lee-Thorp, J.A. and Schulting, R.J. (2016). Mobility during the Neolithic and Bronze Age in Northern Ireland explored using strontium isotope analysis of cremated human bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 160: 397-413.
- Soddy, F. (1913). Intra-atomic charge. *Nature*, 92: 399-400.
- Soto, A., Alday, A., Montes, L., Utrilla, P., Perales, U. and Domingo, R. (2015). Epipaleolithic assemblages in the Western Ebro Basin (Spain): The difficult identification of cultural entities. *Quaternary International*, 364: 144-152.
- Steadman, L.T., Brudevold, F. and Smith, F.A. (1958). Distribution of strontium in teeth from different geographic areas. *Journal of the American Dental Association*, 57: 340-244.

Steele, J.D. and Pushkar, P. (1973). Strontium isotope geochemistry of the Scioto River basin and the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of the underlying lithologies. *The Ohio Journal of Science*, 73: 331-338.

Straus, L.G. (1979). Mesolithic adaptations along the northern coast of Spain. *Quaternaria*, 21: 305-327.

Straus, L.G. (1986). The end of Paleolithic in Cantabrian Spain and Gascony. In: Straus, L.G. (Ed.), *The End of the Paleolithic in the Old World*. Oxford, J. and Hedges, E. BAR, International Series, 284: 81-116.

Straus, L.G. (2008). The Mesolithic of Atlantic Iberia. In: Bailey, G., Spikins P. (Eds.), *Mesolithic Europe*. Cambridge University Press. Cambridge.

Straus, L.G. (2018). The Pleistocene-Holocene Transition in Cantabrian Spain: current reflections on culture change. *Journal of Quaternary Science*, 33(3): 346-352.

Subías, I., Moritz, R. and Fernández-Nieto, C. (1998). Isotopic composition of strontium in the Valle de Tena (Spanish Central Pyrenees) fluorite deposits: relevance for the source of elements and genetic significance. *Mineralium Deposita*, 33: 416-424.

Sweeney, R.E., Liu, K.K. and Kaplan, I.R. (1976). *Oceanic nitrogen isotopes and their uses in determining the source of sedimentary nitrogen*. International symposium on stable isotope geochemistry. New Zealand, August 4-6 (1976).

Szécsényi-Nagy, A., Roth, C., Brandt, G., Rihuete-Herrada, C., Tejedor-Rodríguez, C., Held, P., García-Martínez-de-Lagrán, I., Arcusa Magallón, H., Zesch, S., Knipper, C., Bánffy, E., Friederich, S., Meller, H., Bueno, P., Barroso, R., Balbín, R., Herrero-Corral, A.M., Flores, R., Alonso, C., Jiménez, J., Rindlisbacher, L., Oliart, C., Fregeiro, M.I., Soriano, I., Vicente, O., Micó, R., Lull, V., Soler, J., López, J.A., Roca de Togores, C., Hernández, M.S., Jover, F.J., Lomba, J., Avilés, A., Lillios, K.T., Silva, A.M., Magalhães, M., Oosterbeek, L.M., Cunha, C., Waterman, A.J., Roig, J., Martínez, A., Ponce, J., Hunt, M., Mejías-García, J.C., Carlos, Pecero, J.C., Cruz-Auñón, R., Tomé, T., Carmona, E., Cardoso, J.L., Araújo, A.C., Liesau von Lettow-Vorbeck, C., Blasco, C., Ríos, P., Pujante, A., Royo-Guillén, J.I., Esquembre, M.A., Dos Santos, V.M., Parreira, R., Morán, E., Méndez, E., Vega y Miguel, J., Menduiña, R., Martínez, V., López, O., Krause, J., Pichlerf, S.L., Garrido-Pena, R., Kunst, M., Risch, R., Rojo-Guerra, M.A., Haak, W. and Alt, K.W. (2017). The maternal genetic make-up of the Iberian Peninsula between the Neolithic and the Early Bronze Age. *Science Reports*, 7: 15644.

Szpak, P. (2014). Complexities of nitrogen isotope biogeochemistry in plant-soil systems: implications for the study of ancient agricultural and animal management practices. *Frontiers in Plant Science*, 5: 288.

Tafuri, M.A., Fullagar, P.D., O'Connell, T.C., Belcastro, M.G., Iacumin, P., Conati Barbaro, C., Sanseverino, R. and Robb, J. (2015). Life and death in Neolithic

Southeastern Italy. The strontium isotopic evidence. *International Journal of Osteoarchaeology*, 26: 1045-1057.

Taiz, L. and Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. Publicacions de la Universitat Jaume I, D.L. Castelló de la Plana.

Tapia, J., Álvarez-Fernández, E., Cubas, M., Cueto, M., Etxeberria, F., Gutiérrez, I., Herrasti, L., Ruiz-Alonso, M. (2008). La cueva de Linatzeta (Lastur, Deba, Gipuzkoa). Un nuevo contexto para el estudio del Mesolítico en Gipuzkoa. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 59: 119-131.

Tarriño, A. (2000). Estudio de la procedencia de los sílex recuperados en el yacimiento de Labeko Koba (Arrasate, País Vasco). In: Arrizabalaga, A. and Altuna, J. (Eds.), *Labeko Koba (País Vasco): Hienas y Humanos en los albores del Paleolítico Superior*. Munibe, pp.: 345-354.

Tarriño, A. (2006). *El sílex en la Cuenca Vasco-Cantábrica y Pirineo Navarro: Caracterización y su aprovechamiento en la Prehistoria*. Monografías del Museo Nacional y Centro de Investigación de Altamira, nº21. Ministerio de Cultura, Madrid.

Tarriño, A. (2011a). Procedencia de los sílex de la cueva de Aitzbitarte-III (Rentería, Gipuzkoa). In: Altuna, J., Mariezkurrena, K. and Rios, J. (Eds.), *Ocupaciones humanas en Aitzbitarte III (País Vasco) 33.600-18.400BP*. Vitoria: EKOB 5: 353-373.

Tarriño, A. (2011b). Procedencia de los sílex de la industria lítica del yacimiento en la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia). In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *La Cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*. Serie Kobie, pp. 281-290. BAI 1. Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia.

Tarriño, A., Benito-Calvo, A., Lobo, P., Junguitu, I. and Larreina, D. (2011). Evidence of Flint mining in the Treviño syncline (Basque-Cantabrian Basin, Western Pyrenees, Spain). In: Capote, M., Consuegra, S., Díaz del Río, P. and Terradas, X. (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric Times*. BAR International Series, vol. 2260: 171-182.

Tarriño, A., Elorrieta, I. and García-Rojas, M. (2015). Flint as raw material in prehistoric times: Cantabrian Mountain and Western Pyrenees data. *Quaternary International*, 364: 94-108.

Tarriño, A., Lobo, P.J., García-Rojas, M., Elorrieta, I., Orúe, I., Benito-Calvo, A. and Karampanglidis, T. (2012). Introducción al estudio de las minas neolíticas de sílex de la sierra de Araico (Condado de Treviño). Campaña de excavación del 2011. *Estudios de Arqueología Alavesa*, 27: 4-81.

Tarriño, A. and Mujika, J.A. (2004). La gestión del sílex como uno de los elementos articuladores del territorio en el megalitismo vasco. *Kobie (Serie Anejos)*, 6(1): 191-202.

- Tarriño, A., Muñoz-Fernández, E., Elorrieta, I., Normand, C., Rasines del Río, P., García-Rojas, M., Pérez-Bartolomé, M. (2016). El sílex en la cuenca vasco-cantábrica y el Pirineo Occidental: materia prima lítica en la Prehistoria. *CPAG*, 26: 191-228.
- Tarriño, A. and Terradas, X. (2013). Materias primas líticas. In: García-Díez, M. and Zapata, L. (Eds.), *Métodos y técnicas de análisis y estudio en Arqueología Prehistórica. De lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos*. Universidad del País Vasco, pp.: 439-452.
- Tauber, H. (1981).  $^{13}\text{C}$  evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark. *Nature*, 292: 332-333.
- Tauber, H. (1983).  $^{13}\text{C}$  dating of human beings in relation to dietary habits. *PACT*, 8: 365-375.
- Tauber, H. (1986). Analysis of stable isotopes in prehistoric populations. In: Herrmann, B. (Ed.), *Innovative Trends in Prehistoric Archaeology*. Berlin, Mitteilungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte, 7, pp.: 31-38.
- Teaford, M.F. (1991). Dental microwear: What can it tell us about diet and dental function? In: Kelley, M.A. and Larsen, C.S. (Eds.), *Advances in Dental Anthropology*. New York, pp.: 17-31.
- Terakado, Y., Shimizu, H. and Masuda, A. (1988). N and Sr isotopic variations in acidic Rocks formed under a peculiar tectonic environment in Miocene Southwest Japan. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 99: 1-10.
- Terradas Batlle, X. (1996). *La gestió dels recursos minerals entre les comunitats caçadores-recol·lectors: vers una representació de les estratègies de proveïment de matèries primeres*. PhD Thesis. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.
- Tieszen, L.L. (1991). Natural variations in the carbon isotope values of plants; implications for archaeology, ecology and paleoecology. *Journal of Archaeological Science*, 18: 227-248.
- Tieszen, L.L. and Fagre, T. (1993). Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO<sub>2</sub> bone collagen, bioapatite and soft tissues". En: Lambert, J.B., Grupe, G. (Eds.), *Prehistoric Human Bone: Archaeology at the Molecular Level*. Berlin, Springer-Verlag, pp.: 121-155.
- Tiwari, M., Singh, A.K. and Sinha, D.K. (2015). Stable isotopes: tools for understanding past climatic conditions and their applications in Chemostratigraphy. In: Ramkumar, M. (Ed.), *Chemostratigraphy, concepts, techniques and applications*. Elsevier, pp.: 65-92.
- Toots, H. and Voorhies, M.R. (1965). Strontium in fossil bones and the reconstruction of food chains. *Science*, 149: 854-855.

- Torroni, A., Bandelt, H.J., D'Urbano, L., Lahermo, P., Moral, P., Sellitto, D., Rengo, C., Forster, P., Savontaus M.L., Bonne-Tamir, B. and Scozzari, R. (1998). mtDNA analysis reveals a major late Paleolithic population expansion from southwestern to northeastern Europe. *American Journal of Human Genetics*, 62: 1137-1152.
- Torroni, A., Huoponen, K., Francalacci, P., Petrozzi, M., Morelli, L., Scozzari, R., Obinu, D. and Savontaus, M.L. (1996). Classification of European mtDNAs from an analysis of three European population. *Genetics*, 144: 1835-1850.
- Trancho Gayo, G.J. and Prieto Carrero, J.L. (2005). Paleoestomatología accidental: marcas y huellas en los dientes. In: Cañelias Trohat, A. (Ed.), *Actas del VII Congreso Nacional de Paleopatología: Nuevas perspectivas del diagnóstico diferencial en Paleopatología*. Mahón, Menorca-Illes Balears, pp.: 590-598.
- Trickett, M.A., Budd, P., Montgomery, J. and Evans, J. (2003). An assessment of solubility profiling as a decontamination procedure for the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  analysis of archaeological human skeletal tissue. *Applied Geochemistry*, 18: 653-658.
- Ugent, D., Pozorski, S. and Pozorski, T. (1982). Archaeological potato tuber remains from the Casma Valley of Peru. *Economic Botany*, 36: 182-192.
- Ugent, D., Pozorski, S. and Pozorski, T. (1986). Archaeological manioc (Manihot) from Coastal Peru. *Economic Botany* 40, 78-102.
- Umbelino, C. (2006). *Outros sabores do Passado. As análises de oligoelementos e de isótopos estáveis na reconstrução da dieta das comunidades humanas do Mesolítico Final do Neolítico Final/Calcolítico do território português*. PhD Thesis. Universidade de Coimbra.
- Underwood, E.J. (1977). *Trace elements in human and animal nutrition*. Academic Press, London.
- Utrilla, P. (1981). *El Magdaleniense Inferior y Medio en la Costa Cantábrica*. Monografías del Centro de Investigación y Museo de Altamira, 4. Santander.
- Valenzuela-Lamas, S., Jiménez-Manchón, S., Evans, J., López, D., Jornet, R., Albarella, U. (2016). Analysis of seasonal mobility of sheep in Iron Age Catalonia (north-eastern Spain) based on Strontium and oxygen isotope analysis from tooth enamel: First results. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 6: 828-836.
- Van der Klift, M.A. and Ponsard, S. (2003). Sources of variation in consumer-diet  $\delta^{15}\text{N}$  enrichment: a meta-analysis. *Oecologia*, 146: 169-182.
- Van der Merwe, N.J. (1982). Carbon isotopes, photosynthesis and archaeology: different pathways of photosynthesis cause characteristic changes in carbon isotope ratios that make possible study of prehistoric human diets. *American Science*, 70 (6): 596-606.

- Van der Merwe, N.J. and Vogel, J.C. (1978).  $^{13}\text{C}$  content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland North America. *Nature*, 276: 815-816.
- Van der Shrieck, T., Passmore, D.G., Rolão, J. and Stevenson, A.C. (2007). Estuarine-fluvial floodplain formation in the Holocene Lower Tagus valley (central Portugal) and implications for Quaternary fluvial system evolution. *Quaternary Science Reviews*, 26: 2937-2957.
- Van Geel, B. (2003). Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *Journal of Archaeological Science*, 30, 873–883.
- Van Groeningen, J.W. and Van Kessel, C. (2002). Salinity-induced patterns of natural abundance carbon-13 and nitrogen-15 in plant and soil. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 489-498.
- Van Klinken, G.J. (1999). Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *Journal of Archaeological Science* 26, 687-695.
- Van Soest, P. E. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press, New York.
- Vásquez Sánchez, V.F. and Rosales Tham, T.E. (2014). Malacofauna de la cueva de Santa Catalina. *Kobie, Serie BAI*, 4: 119-150.
- Vázquez Varela, J.M. (1994). El cultivo del mijo (*Panicum miliaceum*, L.), en la cultura castreña del noroeste de la Península Ibérica. *Cuadernos de Estudios Gallegos XLI* (106): 65-73.
- Vegas Aramburu, J.I. (1981). Túmulo-dolmen de Kurtzebide en Letona. Memoria de excavación. *Estudios de Arqueología Alavesa*, 10: 19-67.
- Venero, J.L. (1984). Dieta de los grandes fitófagos silvestres del Parque Nacional de Doñana-España. *Acta Vertebrata*, 11: 93-112.
- Vidal Encinas, J.M. and Prada Marcos, M.E. (Coord.) (2010). *Los Hombres mesolíticos de la cueva de la Braña-Arintero (Valdelugueros, León)*. Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Turismo.
- Vigne, J.D. (2004). Accumulations de lagomorphes et de rongeurs dans les sites mésolithiques corso-sardes: origines taphonomiques, implications anthropologiques". In: Brugal, J.P. and Desse, J. (Dirs.) *Petits animaux et sociétés humaines. Du complément alimentaire aux ressources utilitaires. XXIX rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*. Antibes, Éditions APDCA, pp.: 261-280.
- Villalba-Mouco, V., Sarasketa-Gartzia, I., Utrilla, P., Oms F.X., Mazo, C., Mendiola, S., Cebrià, A. and Salazar-García, D.C. (2018a). Stable isotope ratio analysis of bone collagen as indicator of different dietary habits and environment conditions in



northeastern Iberia during the 4th and 3rd millennium cal B.C. *Archaeological and Anthropological Sciences*. Doi: 10.1007/s12520-018-0657-z

Villalba-Mouco, V., Utrilla, P.

Villalba-Mouco, V., Sauqué, V., Sarasketa-Gartzia, I., Pastor, M<sup>a</sup>V., Le Roux, P.J., Vicente, D., Utrilla, P. and Salazar-García, D.C. (2017). Territorial mobility and subsistence strategies during the Ebro Basin Late Neolithic-Chalcolithic: A multi-isotope approach from San Juan cave (Loarre, Spain). *Quaternary International*, 481: 28-41.

Villalobos, R. and Odriozola, C.P. (2016). Organizing the production of varisciete personal ornaments in Later Prehistoric Iberia: The Mines of Aliste and the production sites of Quiruelas de Vidriales (Zamora, Spain). *European Journal of Archaeology*, 19(4): 631-651.

Villalobos, R. and Odriozola, C.P. (2017). Circulación de hachas prehistóricas de jade alpino en el centro-occidente de la Península Ibérica. ¿Modelo “directional trade” o “down-the-line/prestige chain”? *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 68: 197-216.

Virginia, R.A. and Delwiche, C.C. (1982). Natural <sup>15</sup>N abundance of presumed N<sub>2</sub>fixing and non N<sub>2</sub> fixing plants from selected ecosystems. *Oecologia*, 54: 317-325.

Vogel, J.C. and Van der Merwe, N.J. (1977). Isotopic Evidence for Early Maize Cultivation in New York State. *American Antiquity*, 42: 238-242.

VV.AA. (2009). *Diccionario Oxford-Complutense de Ciencias de la Tierra*. Editorial Complutense.

Walker, M.J.C., Berkelhammer, M., Björck, S., Cwynar, L.C., Fisher, D.A., Long, A.J., Lowe, J.J., Newnham, R.M., Rasmussen, S.O. and Weiss, H. (2012). Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*, 27(7): 649-659.

Walsh, K. and Mocci, F. (2011). Mobility in the Mountains: Late Third and Second Millennia Alpine societies' engagements with the high-altitude zones in the Southern French Alps. *European Journal of Archaeology*, 14 (1-2): 88-115.

Walsh, K., Mocci, F. and Palet-Martinez, J. (2007). Nine thousand years of human/landscape dynamics in a high altitude zone in the southern French Alps (Parc National des Ecrins, Hautes-Alpes). *Preistoria Alpina*, 42: 9-22.

Walsh, K., Richer, S. and De Beaulieu, J.L. (2006). Attitude to altitude: changing meanings and perceptions within a “marginal” Alpine landscape- the integration of

palaeoecological and archaeological data in a high-altitude landscape in the French Alps. *World Archaeology*, 38(3): 436-454.

Warinner, C., Hendy, J., Speller, C., Cappellini, E., Fischer, R., Trachsel, C., Arneborg, J., Lynnerup, N., Craig, O.E., Swallow, D.M., Fotakis, A., Christensen, R.J., Olsen, J.V., Liebert, A., Montalva, N., Fiddyment, S., Charlton, S., Mackie, M., Canci, A., Bouwman, A., Rühli, F., Gilbert, M.T.P. and Collins, M.J. (2014). Direct evidence of milk consumption from ancient human dental calculus. *Scientific Reports*, 4: 7104.

Warinner, C., Rodrigues, J.F.M., Vyas, R., Trachsel, C., Shved, N., Grossmann, J., Radini, A., Hancock, Y., Tito, R.Y., Fiddyment, S., Speller, C., Hendy, J., Charlton, S., Luder, H.U., Salazar-García, D.C., Eppler, E., Seiler, R., Hansen, L.H., Castruita, J.A.S., Barkow-Oesterreicher, S., Teoh, K.Y., Kelstrup, C.D., Olsen, J.V., Nanni, P., Kawai, T., Willerslev, E., von Mering, C., Lewis, C.D., Collins, C.M., Gilbert, M.T.P., Rühli, F. and Cappellini, E. (2014). Pathogens and host immunity in the ancient human oral cavity. *Nature Genetics*, 46 (4): 336-344.

Waterman, A.J., Peate, D.W., Silva, A.M. and Thomas, J.T. (2014). In search of homelands: using strontium isotopes to identify biological markers of mobility in late prehistoric Portugal. *Journal of Archaeological Science*, 42: 119-127.

Waterman, A.J., Tykot, R.H. and Silva, A.M. (2015). Stable isotope analysis of diet-based social differentiation at late prehistoric collective burials in South-Western Portugal. *Archaeometry*, 58: 131-151.

Webb, S.C., Hedges, R.E.M. and Simpson, S.J. (1998). Diet quality influences the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of locusts and their biochemical components. *Journal of Experimental Biology*, 201: 2903-2911.

Weyrich, L.S., Duchene, S., Soubrier, J., Arriola, L., Llamas, B., Breen, J., Morris, A.G., Alt, K.W., Caramelli, D., Dresely, V., Farrell, M., Farrer, A.G., Francken, M., Gully, N., Haak, W., Hardy, K., Harvati, K., Held, P., Holmes, E.C., Kaidonis, J., Lalueza-Fox, C., de la Rasilla, M., Rosas, A., Semal, P., Soltysiak, A., Townsend, G., Usai, D., Wahl, J., Huson, D.H., Dobney, K. and Cooper, A. (2017). Neanderthal behaviour, diet, and disease inferred from ancient DNA in dental calculus. *Nature*, 544: 357-361.

Whipkey, C.E., Capo, R.C., Chadwick, O.A. and Stewart, B.W. (2000). The importance of sea spray to the cation budget of a coastal Hawaiian soil: A strontium isotope approach. *Chemical Geology*, 168: 37-48.

White, W.M. (2013). *Geochemistry*. John-Hopkins University Press.

Wilhelmson, H. and Price, T. (2017). Migration and integration on the Baltic Island of Öland in the Iron Age. *Journal of Archaeological Science, Reports*, 12: 183-196.

- Willmes, M., Bataille, C.P., James, H.F., Moffat, I., McMorrow, L., Kinsley, L., Armstrong, R.A., Eggins, S. and Grün, R. (2018). Mapping of bioavailable strontium isotope ratios in France for archaeological provenance studies. *Applied Geochemistry*, 90: 75-86.
- Wing, E.S. and Brown, A.B. (1979). *Paleonutrition: method, theory in prehistoric foodways*. New York. Academic Press.
- Wolter, R. (1997). *Alimentation de la vachelaitière*. France Agricole éditions.
- Wright, L.E. and 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: 1-18.
- Wright, L.E. and Schwarcz, H.P. (1999). Correspondence between stable carbon, oxygen and nitrogen in human tooth enamel and dentine: Infant diets and weaning at Kaminaljuyú. *Journal of Archaeological Science*, 26: 1159-1170.
- Yoneyama, T. (1990). Variation of natural  $^{15}\text{N}$  abundance of crops and soils in Japan with special reference to the effect of soil conditions and fertilizer application. *Soil Science and Plant Nutrition*, 36: 667-675.
- Yravedra, J., Álvarez-Alonso, D., Estaca, V., López-Cisneros, P., Andrés-Chaín, M., Arrizabalaga, Á., Jordá Pardo, J.F., Elorza, M., Iriarte-Chiapusso, M.J., Sesé, C. and Uzquiano, P. (2017). Selection and exploitation of macro-vertebrate resources during the Upper Palaeolithic in Northern Spain. New evidence from Coímbre Cave (Peñamellera Alta, Asturias). *Oxford Journal of Archaeology*, 36 (4): 331-354.
- Zapata, L. (1995a). El yacimiento arqueológico de la cueva Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). *Cuadernos de Sección. Prehistoria-Arqueología*, 6: 251-257.
- Zapata, L. (1995b). Modos de subsistencia en el Cantábrico Oriental durante el cuarto milenio B.C. I Congreso del Neolítico a la Península Ibérica. Gavà-Bellaterra, *Rubricatum*, 1(1): 101-108.
- Zapata, L. (1999). El combustible y la agricultura prehistórica. Estudio arqueobotánico de los yacimientos de Arenaza, Kanpanoste Goikoa y Kobaederra. *Isturitz*, 10: 305-337.
- Zapata, L. (2000). La recolección de plantas silvestres en la subsistencia Mesolítica y Neolítica. Datos arqueobotánicos del País Vasco. *Complutum*, 11: 157-169.
- Zapata, L. (2002a). El origen de las sociedades agrícolas en el País Vasco litoral: datos arqueológicos. *Actas del XV Congreso de Estudios Vascos*, pp.: 153-159.
- Zapata, L. (2002b). Origen de la agricultura en el País Vasco y transformaciones en el paisaje: análisis de restos vegetales arqueológicos. *Serie Kobie, Anejo 4*. Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia.

Zapata, L. (2017). Level 4 of the cave of Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia): excavation, stratigraphy, chronology and materials. In: Zapata, L. (Ed.), *The shell midden of Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia): Humans on the Basque coast during the 6th and 5th millennium B.C.* TRRRES. Bilbao.

Zapata, L., Milner, N. and Roselló, E. (2007). Pico Ramos shell midden: the Mesolithic-Neolithic transition in the Bay of Biscay. In: Milner, N., Craig, O.E. and Bailey, G.N. (Eds.), *Shell middens in Atlantic Europe.* Oxbow Books, pp.: 28-36.

Zeder, M.A. (2012). The Broad Spectrum Revolution at 40: Resource diversity, intensification, and an alternative to optimal foraging explanations. *Journal of Anthropological Archaeology*, 31: 241-264.

Zurro, D., Lancelotti, C. and Madella, M. (2013). Fitólitos, almidones y fibras. In: García-Diez, M. and Zapata, L. (Eds.), *Métodos y técnicas de análisis y estudio en Arqueología prehistórica: de lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos.* Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibersitatea, pp.: 291-306.

Zvelebil, M. (1994). Plant use in the Mesolithic and its role in the transition to farming. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 60: 35-74.

Zvelebil, M. and Rowley-Conwy, P. (1986). Foragers and farmers in Atlantic Europe. In: Zvelebil, M. (Ed.), *Hunters in Transition.* Cambridge University Press. Cambridge, pp.: 67-93.

# 10. Anexos-Appendices

## 10.1. Anexo 1-Appendix 1.

Tablas con los resultados de los Run A y B de las muestras de esta Tesis Doctoral.

S-UCT	Specie and site	RUN A $\delta^{13}\text{C}$	RUN A $\delta^{15}\text{N}$	RUN A A %C	RUN A A % N	RUN A C:N	RUN B $\delta^{13}\text{C}$	RUN B $\delta^{15}\text{N}$	RUN B B %C	RUN B B % N	RUN B C:N
18429	H.PRA	-20.6	9.4	38.5	12.4	3.6	-20.8	9.1	30.6	9.4	3.8
18430	H.PRA	-20.6	8.2	42.4	14.7	3.4	-20.4	8.2	41.8	14.6	3.4
18431	H.PRA	-23.2	10.1	14	2.2	7.3	-23.5	7.4	10.8	2.1	6
18432	H.PRA	-20.3	9.3	42.8	14.9	3.3	-20.2	9.3	42.9	15	3.3
18433	H.PRA	-21	8.4	42.5	14.9	3.3	-21	8.4	42	14.8	3.3
18434	H.PRA	-20.5	9	41.7	14.5	3.4	-20.4	9.1	42.9	15	3.3
18435	H.PRA	-20.8	8.5	42.2	14.7	3.4	-20.8	8.5	40.9	14.3	3.3
18436	H.PRA	-20.6	8.5	41.3	14.2	3.4	-20.8	8.6	40.7	14.2	3.4
18437	H.PRA	-19.9	8.8	42.8	14.7	3.4	-19.9	8.8	42.4	14.6	3.4
18438	H.PRA	-20.6	9	37.4	12.7	3.4	-20.5	9	36.9	12.7	3.4
18439	H.PRA	-20.9	9.3	37.5	12.1	3.6	-20.6	9.2	35.3	11.6	3.5

S-UCT	Specie and site	RUN A $\delta^{13}\text{C}$	RUN A $\delta^{15}\text{N}$	RUN A %C	RUN A % N	RUN A C:N	RUN B $\delta^{13}\text{C}$	RUN B $\delta^{15}\text{N}$	RUN B %C	RUN B % N	RUN B C:N
18440	H-PRA	-20.8	8.6	38.6	13.6	3.3	-20.7	8.5	61.3	21.6	3.3
18441	H-PRA	-20.3	9.7	35.9	12.3	3.4	-20.1	9.6	35.9	12.5	3.4
18442	H-PRA	-20.1	9.8	38.2	13.0	3.4	-20.2	9.8	38.9	13.4	3.4
18443	H-PRA	-20.5	9.2	40.6	13.1	3.6	-20.6	9.1	40.6	13.1	3.6
18444	H-PRA	-20.2	9.3	40.4	14.1	3.4	-20.3	9.3	41	14.4	3.3
18445	H-PRA	-20	8.7	40.3	13.7	3.4	-20	8.7	39.5	13.5	3.4
18446	H-PRA	-20.3	8.8	33.2	11.2	3.5	-20.5	8.7	29.8	10.1	3.4
18447	H-PRA	-20.3	9.3	42.1	14.4	3.4	-20.2	9.3	42.6	14.8	3.4
18448	H-PRA	-19.9	9.4	40.5	14.1	3.4	-20.2	9.5	40.5	14.1	3.3
18449	H-PRA	-20.4	9.1	42.1	14.7	3.3	-20.3	9	42.4	14.9	3.3
18450	H-PRA	-20.4	9.5	39.6	13.5	3.4	-20.4	9.3	40.6	13.8	3.4

S-UCT	Specie and site	RUN A $\delta^{13}\text{C}$	RUN A $\delta^{15}\text{N}$	RUN A A %C	RUN A % N	RUN A C:N	RUN B $\delta^{13}\text{C}$	RUN B $\delta^{15}\text{N}$	RUN B %C	RUN B % N	RUN B C:N
18451	Canis f. PRA	-16.4	9.6	44.9	16.2	3.2	-16.2	9.5	44.1	15.9	3.2
18452	Oa/Ch PRA	-20.4	3.6	42	15.1	3.3	-20.2	3.4	41.9	15	3.3
18453	Sus scr. PRA	-21.4	4.9	43	15.3	3.3	-20.7	4.9	42.9	15.3	3.3
18454	Cervus el. PRA	-20.7	3.3	33.4	11.3	3.5	-20.4	3.2	33.1	11.2	3.5
18455	Bos t. PRA	-21.5	4.9	35.6	12.3	3.4	-21.9	4.7	33.4	11.4	3.4
18456	H-Karea	-19.9	8.9	38.1	13.5	3.3	-20.2	8.9	38.6	13.7	3.3
18457	Bos sp. Karea	-21.5	4.2	34.8	12.3	3.3	-21.6	4.1	35.9	12.7	3.3
18458	H- Sant	-21.2	9.2	23.1	7.7	3.5	-21	9	23	7.7	3.5
18459	H- Sant	-18.6	7.9	42.5	15.4	3.2	-18.5	7.8	42.5	15.4	3.2
18460	H- Sant	-20.7	9.2	38.4	13.4	3.3	-20.6	9.2	38.5	13.6	3.3
18461	H- Sant	-17.9	11.1	41.3	14.5	3.3	-17.7	11.1	42.3	14.8	3.3

S-UCT	Specie and site	RUN A $\delta^{13}\text{C}$	RUN A $\delta^{15}\text{N}$	RUN A A %C	RUN A % N	RUN A C:N	RUN B $\delta^{13}\text{C}$	RUN B $\delta^{15}\text{N}$	RUN B %C	RUN B % N	RUN B C:N
18462	H- Sant	-21.4	8.7	41.1	14.3	3.4	-21.2	8.5	41	14.5	3.3
18463	H- Sant	-20.6	9.3	36.5	12.8	3.3	-20.6	9.4	36.3	12.8	3.3
18464	Oa/Ch Sant	-20.8	3.3	39.2	13	3.5	-20.4	3.3	36.8	12.8	3.3
18465	Oa/Ch Sant	-21.4	5.8	42.9	15	3.3	-21.4	5.7	43.9	15.3	3.3
18466	Capra pyr. Sant	-20.1	2.8	39.2	14	3.3	-20	2.7	39.2	14	3.3
18467	Capra pyr. Sant	-20.1	2.7	40.1	14.4	3.3	-20.1	2.6	39.7	14.3	3.2
18468	Cervus el. Sant	-21.6	2.2	41.6	15	3.2	-21.7	2.3	41.3	14.9	3.2
18469	Oa/Ch Sant	-20	3.2	36.4	12.9	3.3	-19.8	3.1	36.5	13.1	3.3
18470	Sus scr. Sant	-20.2	3.9	38.8	13.9	3.3	-20.1	3.9	39.1	14	3.3
18471	Cervus el. Sant	-21	2.6	41	14.4	3.3	-21.1	2.7	41.3	14.5	3.3
18606	H- UII	-20.2	9	43.2	15.6	3.2	-20.3	9	42.9	15.5	3.2



S-UCT	Specie and site	RUN A $\delta^{13}C$	RUN A $\delta^{15}N$	RUN A %C	RUN A % N	RUN A C:N	RUN B $\delta^{13}C$	RUN B $\delta^{15}N$	RUN B %C	RUN B % N	RUN B C:N
18607	H-UII	-20.6	8.9	42.4	15.4	3.2	-20.7	8.8	43.1	15.7	3.2
18608	H-UII	-20.1	9.2	43	15.4	3.3	-20.2	9.2	43.1	15.4	3.3
18609	H-UII	-20.5	8.4	41.7	15.1	3.2	-20.5	8.5	41.6	15.1	3.2
18610	H-UII	-20.8	9.3	43.1	15.6	3.2	-20.8	9.1	43.2	15.6	3.2
18611	H-UII	-19.7	8.2	42.7	15.4	3.2	-19.9	8.1	43	15.5	3.2
18612	H-UII	-21.1	9.2	42.9	15.4	3.3	-21	9.2	42.5	15.3	3.3
18613	Cervus el. UII	-20.6	4.5	39.9	14.1	3.3	-20.6	4.3	39.9	14.1	3.3
18614	Sus scr. UII	-18.8	9	36.2	12.8	3.3	-18.7	8.8	35.8	12.8	3.3
18615	Equus cab. UII	-21	2.9	39.6	14.3	3.2	-21.1	2.7	39.1	14.2	3.2
18616	Capreolus UII	-22.1	4	34.9	11.2	3.6	-21.5	4.1	32.9	11.4	3.4
18617	Oa/Ch UII	-20.1	3	37.6	13.6	3.2	-20	2.9	37.5	13.6	3.2

S-UCT	Specie and site	RUN A $\delta^{13}\text{C}$	RUN A $\delta^{15}\text{N}$	RUN A %C	RUN A % N	RUN A C:N	RUN B $\delta^{13}\text{C}$	RUN B $\delta^{15}\text{N}$	RUN B %C	RUN B % N	RUN B C:N
18618	Capra pyr. UPII	-19.8	2	42	15.1	3.3	-19.8	1.8	40.5	14.7	3.2
18619	H-IxP	-21	8.9	44.7	15	3.5	-2.5	8.7	42	15	3.3
18620	H-IxP	-20.6	8.5	41.7	14.4	3.3	-20.4	8.6	43.3	15	3.4
18621	H-IxP	-20.4	8.3	42.4	15.3	3.2	-20.4	8.1	42.7	15.5	3.2
18622	H-IxP	-20.5	7.9	43.6	15.6	3.3	-20.5	7.9	42.4	15.2	3.3
18623	H-IxP	-20.5	8.9	43.3	15	3.4	-20.5	8.9	42.9	15	3.4
18624	H-IxP	-20.5	8.9	42.2	15	3.3	-20.5	9	41.9	15	3.3
18625	H-IxP	-20.8	8.8	43.5	15.7	3.2	-20.9	8.8	42.8	15.4	3.2
18626	H-IxP	-20.5	8.4	41.1	14.6	3.3	-20.5	8.5	41	14.6	3.3
18627	H-IxP	-20.7	9	42	15.2	3.2	-20.8	8.8	43.6	15.8	3.2
18628	H-IxP	-20.2	9.1	42.9	15.3	3.3	-20.2	9	44.5	15.8	3.3

S-UCT	Specie and site	RUN A $\delta^{13}\text{C}$	RUN A $\delta^{15}\text{N}$	RUN A %C	RUN A % N	RUN A C:N	RUN B $\delta^{13}\text{C}$	RUN B $\delta^{15}\text{N}$	RUN B %C	RUN B % N	RUN B C:N
18629	Oa/Ch Ixp	-20.7	8.8	43.4	15.7	3.2	-20.7	8.8	42.6	15.4	3.2
19630	Bos taurus IxP	-22.1	4.5	43.7	15.3	3.3	-22.1	4.4	42.3	14.8	3.4
19631	Sus dom. IxP	-21.2	3.6	42.6	14.8	3.4	-21.2	3.5	42.8	14.	3.4
18632	Cervus el. IxP	-20.4	2.5	44.1	15.3	3.4	-20.4	2.4	42.4	14.7	3.4
18633	H- Marizulo	-20.3	9	43.6	15.5	3.3	-20.5	8.9	43.4	15.5	3.3
18634	Mels m. Marizulo	-19.2	6.36	44.1	15.6	3.3	-19	6.4	40.9	14.8	3.2
18635	Canis f. Marizulo	-19.7	6.6	41.2	14.2	3.4	-19.5	6.4	38.5	13.4	3.4
18636	Capreolus Marizulo	-20.1	3.9	42	15	3.3	-20.1	3.6	40.2	14.5	3.2
18637	Oa/Ch Marizulo	-19.7	7.9	41.3	14.9	3.2	-19.7	7.7	37	13.6	3.2
18638	Sus scr. Marizulo	-20.7	3.8	44	15.8	3.3	-20.7	3.4	40	14.6	3.2
18639	Rupicapra Marizulo	-21.7	4.3	41.9	14.9	3.3	-21.6	3.9	39.1	14.1	3.2

S-UCT	Specie and site	RUN A $\delta^{13}\text{C}$	RUN A $\delta^{15}\text{N}$	RUN A %C	RUN A % N	RUN A C:N	RUN B $\delta^{13}\text{C}$	RUN B $\delta^{15}\text{N}$	RUN B %C	RUN B % N	RUN B C:N
18640	Cervus el. Marizulo	-20.2	9.7	43.7	15.5	3.3	-20.1	9.6	40.5	14.5	3.3
18641	Oa/Ch TBI	-21.1	2.7	43	14.9	3.4	-21.1	2.3	40.3	14.1	3.3
18462	H- TBI	-19.9	8.6	39.8	13.8	3.4	-19.8	8.3	37.4	13.2	3.3
18643	H- TBI	-19.8	9.1	41.8	14.7	3.3	-19.8	8.9	38.9	13.9	3.3
18644	H- TBI	-20.3	9.4	41.7	14.3	3.4	-20.2	9.3	39.2	13.5	3.4
18645	H- TBI	-20.1	9.2	44.7	15.5	3.4	-20.1	9	40.2	14.2	3.3
18646	H- TBI	-20.1	8.8	40.4	13.8	3.4	-20.1	8.6	36.6	12.7	3.4
18647	H- TBI	-20	9.2	39.4	13.6	3.4	-20.1	8.9	36.8	12.9	3.3
18648	H- TBI	-20	9.1	42.1	14.8	3.3	-20	8.9	39.3	14	3.3
18649	H- TBI	-20.3	8.7	33.6	11.6	3.4	-20.2	8.5	30.9	10.8	3.3
18650	H- TBI	-19.9	9.5	42.8	14.8	3.4	-19.9	9.3	39.7	14	3.3

S-UCT	Specie and site	RUN A $\delta^{13}\text{C}$	RUN A $\delta^{15}\text{N}$	RUN A %C	RUN A % N	RUN A C:N	RUN B $\delta^{13}\text{C}$	RUN B $\delta^{15}\text{N}$	RUN B %C	RUN B % N	RUN B C:N
18651	H- TBI	-19.9	8.8	39.8	14	3.3	-20	8.7	37.4	13.4	3.3
18652	H- FH	-19.9	8.6	36.3	12.3	3.5	-19.9	8.5	36.5	12.2	3.5
18653	H- FH	-19.5	9.3	33.6	11.6	3.4	-19.6	9.2	36.8	12.6	3.4
18654	H- FH	-19.5	9.1	42.5	14.5	3.4	-19.5	8.9	39.9	13.6	3.4
18655	H- FH	-19.8	8.2	40.8	14.3	3.3	-19.8	8.3	40.1	13.9	3.4
18656	H- FH	-19.9	9.4	29	9.6	3.5	-20	9.3	30.8	10.3	3.5
18657	H- FH	-19.5	9.5	43.2	15	3.4	-19.5	9.4	43.6	15.2	3.4
18658	H- FH	-19.6	9.3	39.9	14.2	3.3	-19.5	9.2	39.7	14.2	3.3
18659	Cervus el. FH	-20.9	3.6	29.7	9.2	3.8	-20.8	3.2	22.9	7.1	3.8
18660	Cervus el. FH	-20.3	4.5	40.8	13.9	3.4	-20.2	4	0.04	0.01	3.4

## 10.2. Anexo 2-Appendix 2

Esta Tesis Doctoral ha desembocado en varios artículos de impacto tanto a nivel nacional como internacional que se exponen y adjuntan a continuación. Algunos de los apartados de esta Tesis Doctoral se han basado en estas publicaciones integra o parcialmente, aunque se han modificado con el objetivo de complementar la información necesaria que quedó fuera de los artículos.

- Sarasketa-Gartzia, I., Villalba-Mouco, V., Le Roux, P., Arrizabalaga, Á., Salazar-García, D.C. (2017). Late Neolithic-Chalcolithic socio-economical dynamics in Northern Iberia. A multi-isotope study on diet and provenance from Santimamiñe and Pico Ramos archaeological sites (Basque Country, Spain). *Quaternary International*, 481: 14-27.
- Sarasketa-Gartzia, I., Villalba-Mouco, V., Le Roux, P., Arrizabalaga, Á., Salazar-García, D.C. (2018). Anthropoc resource exploitation and use of the territory at the onset of social complexity in the Neolithic-Chalcolithic Western Pyrenees: a multi-isotope approach. *Archaeological and Anthropological Science*, Special Issue: Iberian Paleodiet. Doi:10.1007/s12520-018-0678-716
- Aranburu-Mendizabal, A., Sarasketa-Gartzia, I., Arrizabalaga, Á., Salazar-García, D.C., Antxieta Jakintza Taldea, Iriarte-Chiapusso, M.J. (In Press). El yacimiento calcolítico de Karea (Aia) en el context de las cuevas sepulcrales guipuzcoanas. *Munibe*, 69. Doi: 10.21630/maa.2018.69.09



Contents lists available at ScienceDirect

# Quaternary International

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/quaint](http://www.elsevier.com/locate/quaint)

## Late Neolithic-Chalcolithic socio-economical dynamics in Northern Iberia. A multi-isotope study on diet and provenance from Santimamiñe and Pico Ramos archaeological sites (Basque Country, Spain)



Izaskun Sarasketa-Gartzia <sup>a,\*</sup>, Vanessa Villalba-Mouco <sup>b</sup>, Petrus le Roux <sup>c</sup>,  
Álvaro Arrizabalaga <sup>a</sup>, Domingo C. Salazar-García <sup>d,e,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Universidad del País Vasco- Euskal Herriko Unibertsitatea, C/Francisco Tomás y Valiente s/n, 01006, Vitoria-Gasteiz, Spain

<sup>b</sup> Departamento de Ciencias de la Antigüedad, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, Spain

<sup>c</sup> Department of Geology, University of Cape Town, Upper Campus, University Avenue, 7701, Cape Town, South Africa

<sup>d</sup> Department of Archaeology, University of Cape Town, Upper Campus, Beattie Building, University Avenue 5, 7701, Cape Town, South Africa

<sup>e</sup> Grupo de Investigación en Prehistoria IT-622-13 (UPV-EHU)/IKERBASQUE-Basque Foundation for Science, Vitoria, Spain

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 13 December 2016

Received in revised form

23 May 2017

Accepted 24 May 2017

Available online 16 June 2017

#### Keywords:

Carbon, nitrogen and strontium isotopes

Palaeodiet

Mobility

Mesolithic

Neolithic

Chalcolithic

### ABSTRACT

There are few carbon and nitrogen isotope ratio studies for prehistoric periods in the northern part of the Iberian Peninsula, none of strontium isotopes. While most of the questions so-far addressed have been concerned with the transition to farming, the transition to social complexity has been greatly ignored even if multi-isotope studies could shed new light on internal socioeconomic dynamics during the emergence of complex societies in the region. The present study analyses a total of 67 archaeological samples (28 from human bones, 13 from animal bones and 26 from human tooth enamel) obtained from the deposits at Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia) and Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia) dated to the Mesolithic, Late-Neolithic and Chalcolithic periods, and samples from different geological areas to characterize the bioavailable strontium of the region. These analyses provide new data about the diet on the coast of the Basque Country, confirming that the consumption of seafood was irrelevant already during the later stages of the Neolithic. The first <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr analyses suggest the possibility of migration movements from other parts of Northern Iberia (i.e. Navarra) to the sites being studied.

© 2017 Elsevier Ltd and INQUA. All rights reserved.

### 1. Introduction

The dialectic between the use of marine and terrestrial resources in Prehistory has motivated considerable literature in recent decades (e.g. Arias, 2005; Colonese et al., 2011; Salazar-García et al., 2014a). At the same time, lines of research have been opened to define and determine hunting areas, grazing land and migrations of prehistoric communities. Through the analysis of

carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ), nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) and strontium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) isotopes, we report here new data from the eastern sector of the northern coast of the Iberian Peninsula; specifically, from the Basque sites of Santimamiñe and Pico Ramos. Few isotope studies have been carried out in this area, and the nearest cases are represented by the research of P. Arias and R. Schulting (Arias, 2005; Arias and Schulting, 2010). Their studies examined the sites of La Poza l'Egua, Colomba and Los Canes (Asturias), Cotero de la Mina and La Garma A (Cantabria), J3 (Basque Country) and Braña Arinterro (León). The age of these sites is quite diverse, ranging from the Mesolithic (Poza l'Egua, Colomba, Los Canes, J3 and Braña Arinterro) to the Neolithic (Cotero de la Mina) and the Bronze Age (La Garma A). Most of them, and differently to this study, where mainly focused on the transition to farming in the region. The results of their analyses indicated the importance of seafood in the diet of

\* Corresponding author.

\*\* Corresponding author. Department of Archaeology, University of Cape Town, Upper Campus, Beattie Building, University Avenue 5, 7701, Cape Town, South Africa.

E-mail addresses: [izaskun.sarasketa@ehu.es](mailto:izaskun.sarasketa@ehu.es) (I. Sarasketa-Gartzia), [domingocarlos.salazar@uv.es](mailto:domingocarlos.salazar@uv.es) (D.C. Salazar-García).

coastal Mesolithic populations, and an abandonment of the use of marine resources during the Neolithic. The authors additionally proposed the hypothesis of territorial behaviour in the Mesolithic, based on differential access to marine resources (Arias, 2005). On the other hand, more studies have been developed in the neighbouring region of southern France both for the Mesolithic (e.g. Meiklejohn et al., 2010) and Neolithic (e.g. Le Bras-Goude et al., 2013). Additionally, we can find several other studies in Portugal, mainly from the Muge, Sado and Tagus regions (e.g. Umbelino, 2006; Lubell et al., 1994).

The present study seeks to determine whether this behavioural pattern is equally valid in other geographic areas and chronologies, and thus obtain insight into the dietary patterns and provenance at the onset of the Age of Metals amongst Late Neolithic-Chalcolithic populations in the Basque Country. The main handicap to achieve this goal is the scarcity of faunal remains at funerary sites dated to those periods, coupled with the difficulty in finding analysable human remains in habitat sites, where more faunal remains are present (Ontañón, 2003). Complementary to this study,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  analysis will be used to assess mobility patterns diachronically. This constitutes a pioneering line of research in prehistoric studies in Northern Iberia and it is therefore able to provide valuable information about the mobility and provenance of farming communities at the onset of metallurgy. To date in the Basque Country, the mobility patterns have mainly been studied through flint or other material culture distribution patterns, from the Palaeolithic onwards (Tariño, 2011; Arrizabalaga et al., 2016; Utrilla et al., 2015).

## 1.1. Isotope studies

### 1.1.1. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotope studies

One of the most-often used tools to reconstruct prehistoric diets in recent decades has been the analysis of stable isotope ratios of carbon and nitrogen (e.g. Schwarcz and Schoeninger, 2011; Makarewicz and Sealy, 2015). This technique is based on the premise that the isotopic composition of foodstuffs is reflected in the consumer's tissue and changes only through the phenomenon known as isotopic fractionation, according to which the  $\delta^{13}\text{C}$  data will vary between 0 and 1‰ and the  $\delta^{15}\text{N}$  data between 3 and 5‰ from foods to consumer (DeNiro and Epstein, 1978, 1981; Schoeninger and De Niro, 1984; Bocherens and Drucker, 2003). Several more recent studies, however, suggest the increment of nitrogen through fractionation could be higher (Hedges and Reynard, 2007; O'Connell et al., 2012). Although other skeletal substrates, such as bone apatite (e.g. Tieszen and Fagre, 1993) and dental calculus (e.g. Salazar-García et al., 2014b), have been used and evaluated as dietary markers, collagen is still the preferred material for this type of analysis since it allows studying both isotopes and has internationally accepted quality controls to evaluate the degree of diagenesis (e.g. Van Klinken, 1999). The  $\delta^{13}\text{C}$  values on bone collagen are able to determine the relative weight of protein depending on its source, in particular between plants following the  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  photosynthetic pathways and the products of animals feeding on these plants (Van der Merwe, 1982; Chenery et al., 2010). In the region and period in which this study is framed,  $\text{C}_4$  plants (mainly tropical plants) practically did not exist, being therefore carbon isotope ratio analysis mainly useful for discriminating for the consumption of terrestrial and marine resources (Arias, 2005). Furthermore, these  $\delta^{13}\text{C}$  values are lower in estuarine and brackish fish, giving rise to what has been defined as the “fish paradox” when interpreting human fish consumption in the past (Salazar-García et al., 2014a). Concerning nitrogen stable isotope ratio analyses, the  $\delta^{15}\text{N}$  values are related to the complexity of the trophic chain in which the analysed specimen is integrated. Marine ecosystems have a higher number of trophic levels than terrestrial

environments, leading this to an overall higher level of  $\delta^{15}\text{N}$  in their organisms compared to their terrestrial counterparts (Minawaga and Wada, 1984).

Even more information is obtained by correlating the data of the two isotope systems, not only in connection with dietary habits but also about the exploitation of the environment and possible differences in access to biotic resources according to, for example, the age or sex of the individual (e.g. Lillie and Richards, 2000; Lillie et al., 2003). This type of information could also shed light into social structure and be indicative of social inequality (e.g. Lillie, 1997). At the same time, the interpretation of the results of these analyses must take into account that plant proteins are masked by animal proteins, mainly because of their different density in each of them (e.g. Richards et al., 2003; Bocherens, 2009). Similarly, if the analysed individual is infantile, nitrogen isotope values may be higher than expected because during breast-feeding the child is, literally, feeding from the mother and therefore taking on her nitrogen values, to which the isotopic fractionation phenomenon aforementioned would be added (e.g. Fuller et al., 2004). Finally, as the isotopic composition of the bone is continually regenerated, it should always be considered that stable isotope results refer only to protein diet in the last years of the individual's life, depending on the collagen turnover for each different type and part of bone (Hedges et al., 2007; Meiklejohn, 2009).

### 1.1.2. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopes

Strontium isotope ratio values ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) depend on geographical location due to variations in their proportions in the different geologies. Each geological zone possesses a particular value, of between ca. 0.700 and 0.750, as the radiogenic isotope of strontium ( $^{87}\text{Sr}$ ) is derived from the decomposition of rubidium ( $^{87}\text{Rb}$ ) and therefore will depend on the age of the rock. Consequently, older rocks have higher levels of  $^{87}\text{Sr}$ , as they have experienced the decomposition of  $^{87}\text{Rb}$  for a longer time (Bentley, 2006). Strontium isotopic values in the rock go through the trophic chain from the lithosphere to plants and animals, and finally to the body tissue of humans, without isotopic fractionation. However, this incorporation is not so straightforward. Effects such as weathering, hydrological cycles, biopurification and diagenesis will also affect the ultimate bioavailable Sr ratio in a specific location, and should be thus considered when designing the geological sampling strategy and discussing the interpretation (Bentley, 2006; Slovak and Paytan, 2012). Because of the mentioned strontium incorporation into humans and fixation during enamel mineralization, the studies of this isotope system have been shown to provide useful evidences about mobility, both in humans and fauna, by reflecting were the analysed individuals potentially lived during the mineralization process (e.g. Britton et al., 2009; Goude et al., 2012). Even if there are no strontium isotope studies in the investigated region for prehistoric periods yet, we can find relevant data from other chronologies in Western European regions (e.g. Ortega et al., 2013). In this archaeological study, samples of human tooth enamel have been analysed to obtain strontium isotope ratio data corresponding to the time each dental piece mineralized. At the same time, it is necessary to obtain data on bioavailable strontium in order to determine the strontium isotopic ratios incorporated into living organisms at each area (Price et al., 2002). We should also keep in mind for interpretations that, regardless of geological characteristics, coastal areas usually present marine-influenced bioavailable strontium values due to the sea spray effect (Bentley, 2006; Hartman and Richards, 2014).

## 2. Description of the sites

Both of the assemblages studied here are located in caves (Fig. 1)



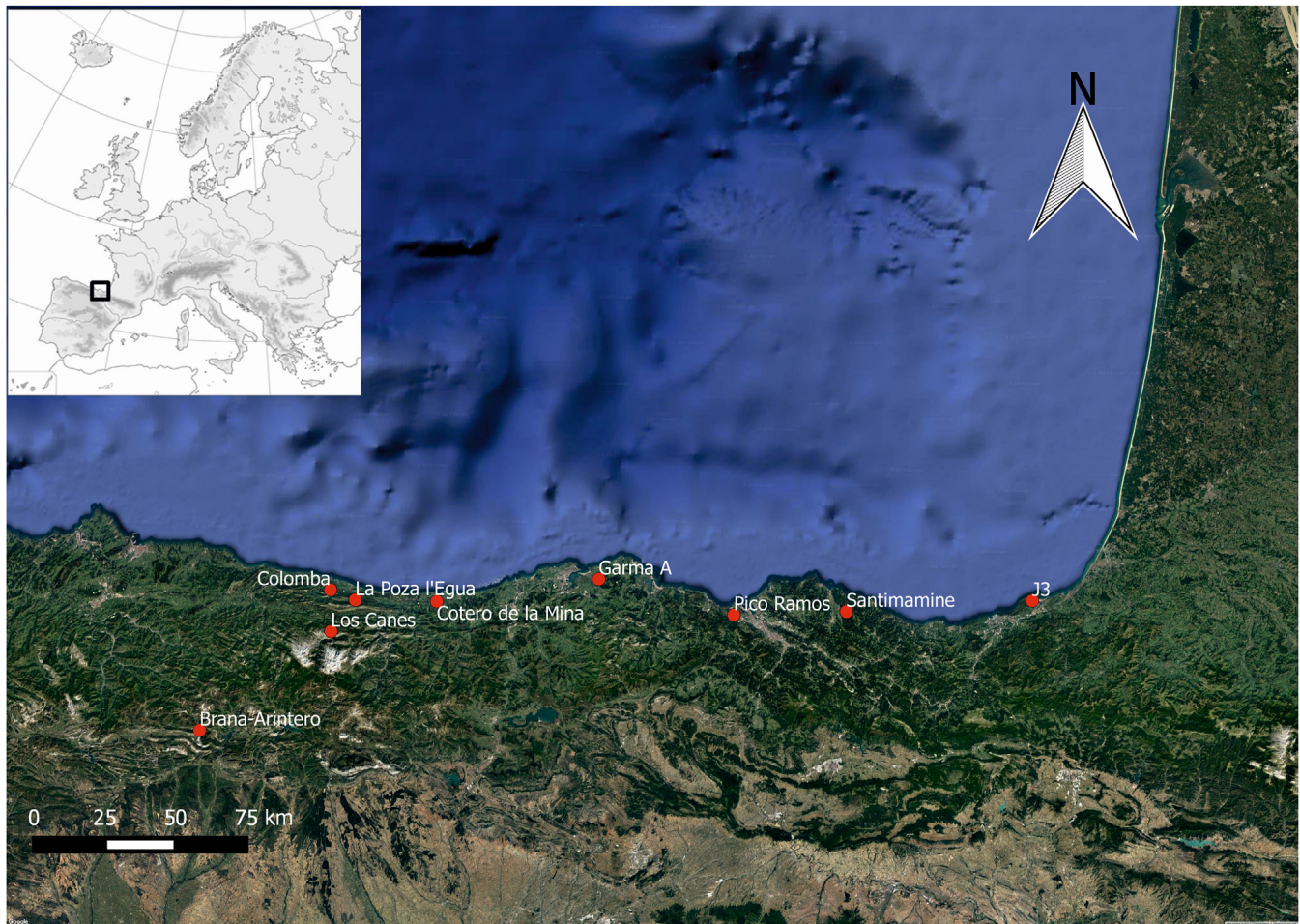


Fig. 1. Location of Santimamiñe and Pico Ramos archaeological sites.

that show sporadic hunter-gatherer occupation at the lower levels, and a more continuous use by farming communities at the upper levels. The latter levels sometimes represent a burial site, but others a dwelling space or an animal pen. The main sources of the anthropological remains will therefore be the funerary levels.

### 2.1. Santimamiñe

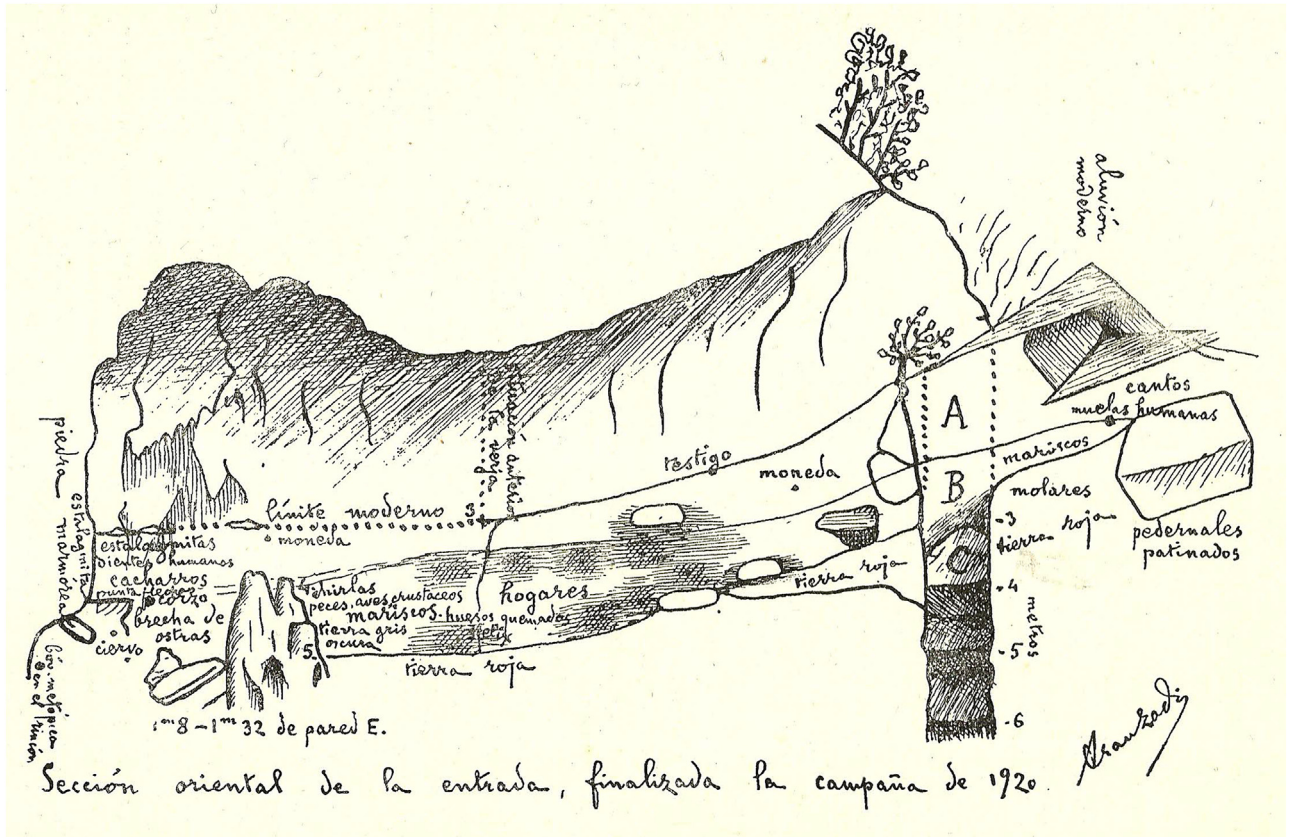
The cave of Santimamiñe (Kortezubi, Biscay) is in the Urdaibai valley, on the side of Mt. Ereñozar. It lays on an Albian-Aptian limestone formation, at 137 m above sea level. The cave, which faces south-southeast, has a large entrance hall reached by direct sunlight. It is located within a landscape possessing a wide range of ecosystems, such as valleys, steep rocky areas, rivers and estuaries. Even the coast, with its numerous biotic and abiotic resources, is easily reachable at 6000 m from the site. The site is on a crag at low altitude, close to the Olalde spring, with access to a variety of faunal resources, as roe deer (*Capreolus capreolus*), red deer (*Cervus elaphus*) and wild boar (*Sus scrofa*), but especially the goat (*Capra pyrenaica*).

The discovery of the cave was reported to J.M. de Barandiaran in 1916, when rock art was found. The *Comisión de Monumentos de Vizcaya* took over, and the cave was finally visited by H. Breuil in 1917. In 1918, J.M. Barandiaran identified prehistoric remains in the cave, as E. Eguren had done previously, and began an excavation that took place in two stages (Fig. 2). The first phase (1918–1926) was under the supervision of T. Aranzadi, J.M. Barandiaran and E.

Eguren (Aranzadi et al., 1931), while only J.M. Barandiaran was in charge of the second phase (1960–1962) with the sole aim of restoring and studying a section that was in danger of collapsing. More recently J. C. López-Quintana carried out a new series of excavations (López-Quintana and Guenaga, 2014). During the first excavation phase, a depth of over 3 m was reached in the cave entrance, and a stratigraphic sequence covering the time from the Aurignacian to the Roman Age was identified (Table 1, Fig. 3). The sequence consists of ten archaeological levels, as well as the barren basal level. The human and faunal remains studied here were extracted in the first excavations, and come from Levels II (Copper Age), III (Late Neolithic) and IV (Mesolithic).

A total of 248 human remains have been studied from the old anthropological collections, all from Levels II, III and IV (161, 50 and 18 remains respectively). According to the team of excavators and archaeologists, all the human remains come from levels with pottery, which implies that the remains found in the oldest levels had filtered down into them. The only exception would be the jawbones found inside the Mesolithic shell-midden, one of them directly dated to the Mesolithic, but whose attribution was maintained with certain reservations by the excavators (Aranzadi et al., 1931, pp. 121). The anthropological study carried out at Santimamiñe determined a MNI (minimum number of individuals) of eight (López-Quintana and Guenaga, 2014). Later on and based on this MNI, mitochondrial DNA analysis indicated great genetic diversity and a close kinship relationship amongst the individuals was ruled out (Cardoso et al., 2011). Faunal skeletal elements have also been

(a)



(b)

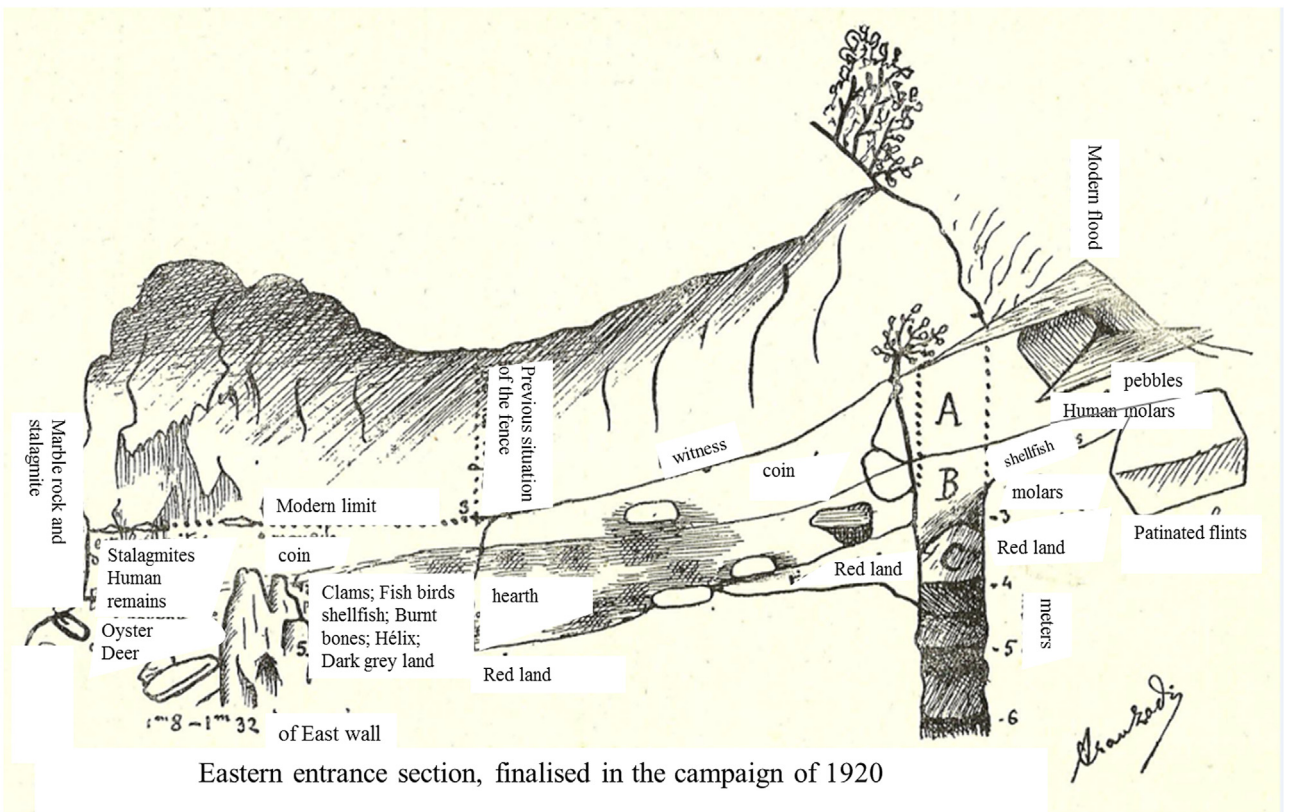
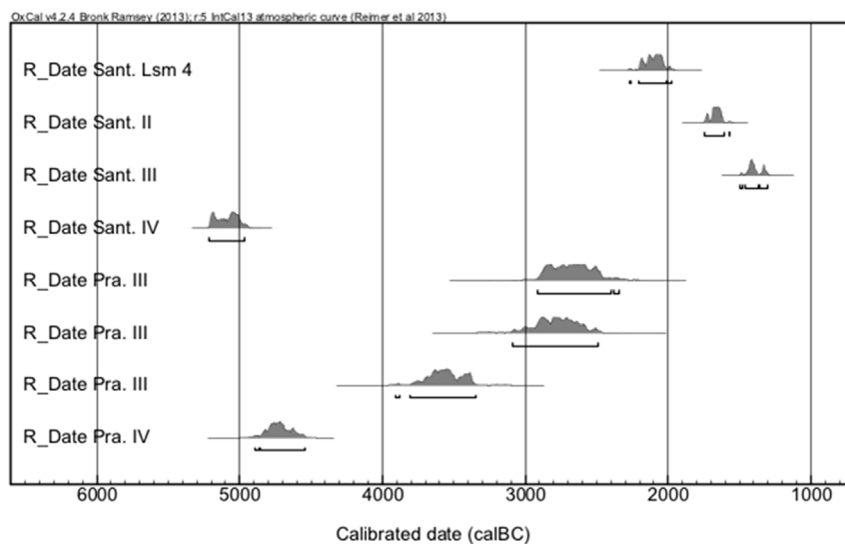


Fig. 2. Stratigraphic profile of the eastern entrance section of Santimamiñe cave, 1920 picture (a) original (Aranzadi et al., 1931); (b) modified.

**Table 1**  
Radiocarbon dates of Santimamiñe and Pico Ramos archaeological sites. Calibrated using OxCal v4.2.4 (Bronk Ramsey and Lee, 2013) and IntCal 13 atmospheric curve (Reimer et al., 2013). Data obtained: Zapata (1995a) and López-Quintana et al. (2015).

Archaeological site	Reference	<sup>14</sup> C age BP	CalBP (2σ) data	Material	Level
Santimamiñe	Beta-240,896	3710 ± 40	4150–3960 3950–3930	Bone Mandible	Lsm. 4
Santimamiñe	Beta-307667	3370 ± 30	3690–3560	Tooth	Sublevel-II
Santimamiñe	Beta-307666	3130 ± 30	3400–3330 3290–3270	Tooth	Sublevel-III
Santimamiñe	Beta-307665	6130 ± 40	7160–6900	Tooth	Sublevel-IV
Pico Ramos	I-16797	4100 ± 110	4865–4263	Human bone	Level-III
Pico Ramos	I-16501	4210 ± 110	5030–4420	Human bone	Level-III
Pico Ramos	I-16798	4790 ± 110	5836–5095	Human bone	Level-III
Pico Ramos	Ua-3051	5860 ± 65	6860–6490	Charcoal	Level-IV



**Fig. 3.** Radiocarbon dates from Santimamiñe (Sant) and Pico Ramos (Pra), calibrated using OxCal v4.2.4 (Bronk Ramsey and Lee, 2013) and IntCal 13 atmospheric curve (Reimer et al., 2013).

found at the site in the same levels, mainly wild ungulates (deer and Spanish ibex) together with cattle (*Bos*), ovicaprids (*Ovis aries/Capra hircus*) and swine (*Sus sp.*). Furthermore, and associated to the human remains, lithic and bone artefacts (notably the decorated assegai points), as well as tools and adornments made from mollusc shells, have been found (Gutiérrez Zugasti et al., 2011). Hearths in the II and III levels have also been documented at the site (López-Quintana and Guenaga, 2011).

## 2.2. Pico Ramos

The entrance to Pico Ramos burial cave faces northeast, at an altitude of 190 m above sea level, on the Pico Ramos-Janeo ridge on the left bank of the River Barbadun (Bizkaia). Today, the site is above a salt-marsh area, on a steep slope near the town of San Julián de Muskiz. The intertidal line of the modern coast is 3000 m away from the site. The cave is part of the Lower Cretaceous (Albian-Aptian) limestone geological formation of the region.

The cave was found in 1989 by members of the *Harribaltzaga Kultur Elkartea* group, although it is possible that it is the same cave cited previously by E. Nolte (1984) with the name of Janeo, in which anthropological and faunal remains had been found, and which was discovered by J. Reizu following the indications of J.M. Basabe. When the cave was explored in 1989, the sediment was seen to have been disturbed, uncovering a collective burial with prehistoric human remains (Level 3) and pottery (Zapata, 1995a,b). Due to

these alterations, permission was obtained for a rescue excavation, which began in 1990. The excavation continued in two consecutive field seasons: the first three levels in 1991 and the rest of the sequence in 1992 (Fig. 4) (for a full description of the levels check Zapata, 1995a,b). Level 3, excavated in 1991, contained an assemblage of human bones that extended on several sides. The estimated MNI was of 104 individuals. Together with the human remains, Level 3 yielded numerous implements and adornments made from flint, bone, pottery, lignite, molluscs, copper and polished stone, as well as archaeozoological remains (sheep/goat (*Ovis aries/Capra hircus*), pig/wild boar (*Sus sp.*) and cattle (*Bos taurus*)).

## 3. Materials and methods

### 3.1. Anthropological and faunal remains from Santimamiñe and Pico Ramos

The human remains found in Santimamiñe were dispersed and incomplete, with hardly any anatomical connections between them (Aranzadi et al., 1931). This study aimed to examine all the human remains established through anthropologic and genetic analysis (MNI = 8) found throughout all the excavations from the cave of Santimamiñe (López-Quintana et al., 2015): two infants (one ca. 6 years old, and another ca. 10 years old), four young adults (one female younger than 25 years of age, and three males between 21 and 35 years old), and two mature adults established through

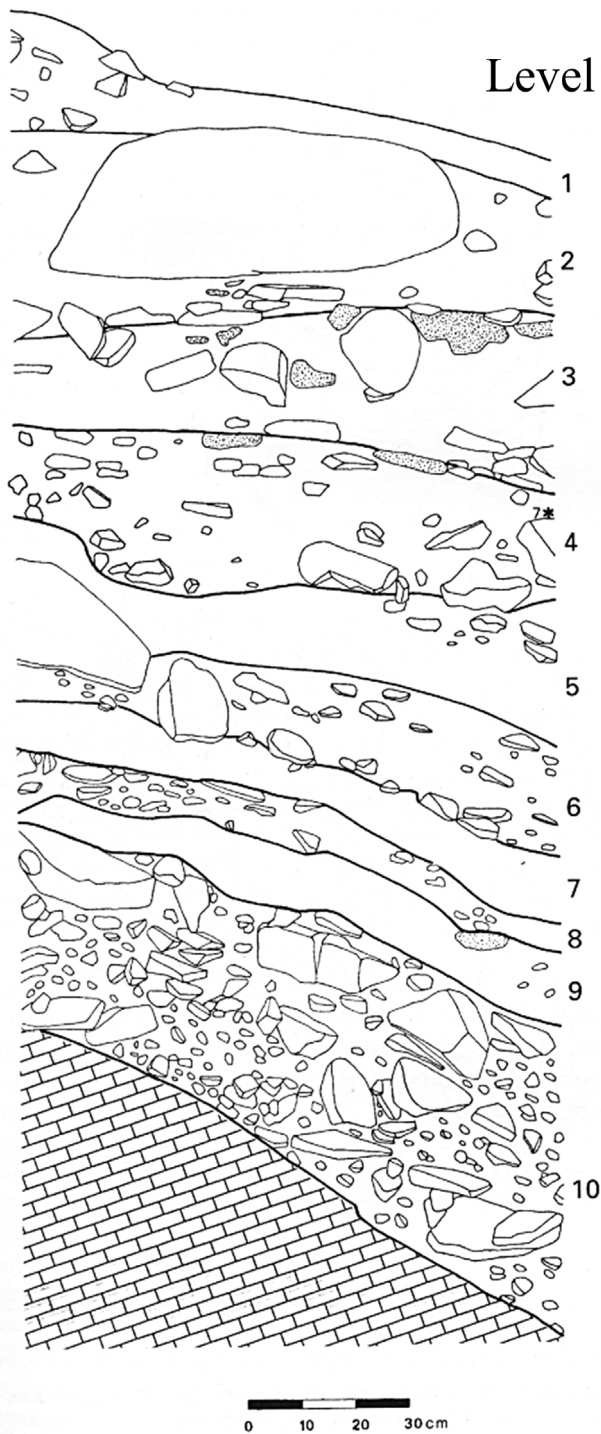


Fig. 4. Stratigraphic profile in the B5 square ( $x = 40$  cm), parallel to the longitudinal axis of the Pico Ramos cave, 1995 publication picture (Zapata, 1995b).

anthropologic and genetic analysis (López-Quintana et al., 2015). The selected remains (Fig. 5a) sampled for this study are from Level IV (a molar associated to a lower mandible and cranial fragments), Level III (a premolar from a complete skull, and a lower mandible attributed to a young adult male individual) and Level II (a molar associated to cranial fragments, and a molar with alveolus from a young male adult).

Human bone remains ( $n = 11,410$ ) from Pico Ramos (Fig. 5b) are highly fragmented and taphonomically affected, resulting in the

absence of whole long bones and epiphyses. These alterations were probably first caused in prehistoric times during the burial ritual by the fragmentation and anatomical disconnection of the remains, thus being difficult to individualise. Other post-depositional agents would have acted later. The MNI was calculated based on the number of lower left canine teeth and the radius of a neonate. The skulls were totally crushed, which made any metric or morphological analysis unfeasible. The study performed by Baraybar and de la Rúa (1995) was therefore based only on the teeth ( $n = 2775$ ), among which they identified episodes of stress during infancy and other pathologies (enthesopathies, degenerative disease, fractures). Because of the difficulties inherent to the bad preservation of the assemblage, only 22 analyses were carried out on Chalcolithic human bones for which a tooth was directly associated. Therefore, the study has mainly focused on mandibles (CN) and teeth from those mandibles (Sr). Although these chosen materials come from different layers, all the remains belong to a single series forming a Copper Age funerary assemblage.

The archaeozoological material of Santimamiñe consists of a variety of species from different levels that were sampled in order to determine the isotope trophic level background from each time period studied. Sampled specimens include red deer (*Cervus elaphus*, Levels III and IV), sheep/goat (*Ovis aries/Capra hircus*, Levels II, III and IV), Spanish ibex (*Capra pyrenaica*, Levels II, III and IV), chamoix (*Rupicapra rupicapra*, Level III), and wild boar (*Sus scrofa*, Level IV). In the case of Pico Ramos, five samples were taken from faunal remains, from specimens of red deer (*Cervus elaphus*), cattle (*Bos taurus*), wild boar (*Sus scrofa*), dog (*Canis familiaris*) and sheep/goat (*Ovis aries/Capra hircus*), to acquire more information about the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotopic background values at the time for the region.

To determine the range of bioavailable strontium from the surroundings of the Santimamiñe cave, samples of modern plants (*Quercus ilex*, *Hedera helix*, *Smilax aspera*, *Fragaria vesca*, *Poaceae*) and snails (*Helix aspersa*) were collected around Santimamiñe. Both plants and snails were sampled in order to average the immediate local  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  bioavailable strontium from two different types of material and avoid potential discrepancies (Evans et al., 2009; Maurer et al., 2012). The same process was carried out with Pico Ramos' samples of plants (*Quercus robur*, *Smilax aspera*, *Rosaceae*, *Poaceae*, *Trifolium*) and snails (*Helix aspersa*) collected to obtain data to define the bioavailable strontium signature of the immediate surrounding of the site.

### 3.2. Carbon and nitrogen stable isotope ratio analysis

Bone collagen extraction and  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analysis were carried out at the dedicated facilities of the Department of Archaeology of the University of Cape Town (South Africa). Bone samples of 300–500 mg were cleaned before the collagen was extracted. Sample preparation followed the Longin method (Longin, 1971), with the addition of an ultrafiltration step (Brown et al., 1988) as described in (Salazar-García et al., 2014a): after the demineralization of each sample in 0.5 M HCl solution at 5 °C, they were rinsed with deionized water until pH became neutral, before gelatinization process using a Heater Block (FMH instruments, South Africa) at 70 °C during 48 h. Then, the samples were filtered with 5 mm Ezee-filters (Elkay, United Kingdom) and ultrafiltered using >30 kDa Amicon ultrafilters (Amicon, Germany) in a centrifuge (Thermo Fisher Megafuge 16, USA) at 2500 rpm. The solution was after that frozen and lyophilized. Once the collagen was extracted, ca. 0.5 mg was weighed into tin capsules, and run in the mass spectrometers. All samples were analysed in duplicate, with a standard deviation ( $1\sigma$ ) <0.1, using a Delta plus XP continuous-flow isotope ratio mass spectrometer (Thermo Fisher Scientific, USA),



Fig. 5. Representative example of anthropological human remains from Santimamiñe (a) and Pico Ramos (b).

after being combusted in a Flash EA 1112 elemental analyser that was interfaced with it (Thermo-Finnigan, USA). Stable carbon isotope ratios were expressed relative to the VPDB scale (Vienna PeeDee Belemnite) and stable nitrogen isotope ratios were measured relative to the AIR scale (atmospheric  $N_2$ ), using the delta notation ( $\delta$ ) in parts per thousand (‰). Repeated analysis of internal and international standards determined an analytical error better than 0.1‰ ( $1\sigma$ ) for  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$ .

### 3.3. Strontium isotopes

#### 3.3.1. Preparation of modern samples

Samples were prepared in the Department of Archaeology and Geology of the University of Cape Town (South Africa). Different sample preparation processes were followed depending on the material:

- (1) Snail shells were cleaned manually with distilled water and a disposable brush to remove any particle of sediment that might be adhered to the shell. They were then individually cleaned in an ultrasonic bath with Milli-Q water. They were then taken in eppendorf tubes to the clean chemistry laboratory where they were digested. Samples of ca. 25–50 mg of shells were placed in 7 ml Teflon beakers, to which 2 ml of 65%  $HNO_3$  was added, and these were left on a hot plate at 140 °C overnight. Once they were dry, 1 ml 2 M  $HNO_3$  was added and they were again placed on the hot plate at the same temperature. After they had dried again, 2 ml 2 M  $HNO_3$  was added and, from this solution, 1.5 ml was centrifuged for 20 min at 4000 rpm in centrifuge tubes. This 1.5 ml of sample was the solution used to isolate the strontium fraction through chemical separation using 0.2 ml of Sr. Spec resin in Bio-Spin Disposable Chromatography *Bio-Rad* columns according to the method of Pin et al. (1994).
- (2) In the case of the plants, the procedure was similar, but instead of cleaning them manually, they were ashed. To do this the tree, shrub and herbaceous samples were crushed and then placed in individually-labelled ceramic bowls, which were left overnight in a muffle furnace at 650 °C. The ash was taken to the clean laboratory, and after being weighed in the 7 ml Teflon beakers, it was dissolved in 2 ml of a 3:1 mixture of 48% HF and 65%  $HNO_3$  for 48 h at 140 °C. After complete digestion, the solution was dried down and redissolved in 1 ml of 65%  $HNO_3$ . This solution was dried down and the previous step was repeated to ensure the removal of all fluorides. The following steps were the same as those followed to process the snail shells, beginning with the overnight evaporation of the acid at 140 °C.

#### 3.3.2. Preparation of archaeological samples

Archaeological human tooth enamel was sampled after cleaning the surface of the tooth with a Dremel-tool fitted with a diamond-polishing head that was cleaned with Milli-Q water and an ultrasound bath after each use. Once the first layer had been removed, a diamond saw was used to extract about 20 mg of enamel chunk from the base to the top of the crown in order to obtain the time-averaging effect for the mineralization of the tooth, removing thoroughly all dentine attached to it. This was then digested in  $HNO_3$ , and the Sr concentration levels were calculated to check for any possible diagenesis before further work was done. After analysing the enamel concentrations, the samples were analysed following the same method as described above (Pin et al., 1994), starting by adding 2 ml of 65%  $HNO_3$ .

The separated strontium fraction for each sample was dried down, dissolved in 2 ml 0.2%  $HNO_3$  and diluted to 200 ppb Sr concentrations for isotope analysis using a Nu Instruments NuPlasma HR MC-ICP-MS. Analyses were referenced to bracketing analyses of NIST (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA) SRM987, using  $^{87}Sr/^{86}Sr$  reference value of 0.71026. All strontium isotope data are corrected for isobaric rubidium interference at mass 87 using the measured signal for  $^{85}Rb$  and the natural  $^{85}Rb/^{87}Rb$  ratio. Instrumental mass fractionation was corrected using the measured  $^{86}Sr/^{88}Sr$  ratio and the exponential law, and a true  $^{86}Sr/^{88}Sr$  value of 0.1194. Results for repeat analyses of an in-house carbonate standard processed and measured with the batches of unknown samples in this study ( $^{87}Sr/^{86}Sr$  0.70894; 2 sigma 0.00004;  $n = 33$ ) are in agreement with long-term results for this in-house standard ( $^{87}Sr/^{86}Sr$  0.70892; 2 sigma 0.00005;  $n = 125$ ).

## 4. Results

The stable isotope ratio analysis results and collagen quality indicators ( $\delta^{13}C$ ,  $\delta^{15}N$ , %C, %N, C:N) of human and faunal remains from the sites of Santimamiñe and Pico Ramos are given in Table 2.

### 4.1. CN isotope results

#### 4.1.1. Santimamiñe

The yield of the >30 kDa collagen fraction was enough for analysis in duplicate of all samples. Almost all results met the published quality controls: %C > 30, %N > 10 and C:N elemental ratio between 2.9 and 3.6 (Ambrose, 1993; Van Klinken, 1999). The only exception was individual S-UCT 18,458 from Level III; although the elemental ratio was correct, since the percentages of C and N were lower than expected it has not been taken into account for the interpretation.

All the faunal remains analysed for Santimamiñe were

**Table 2**

Carbon and nitrogen isotopes results of Santimamiñe and Pico Ramos.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ mean values and collagen quality parameters (%C, %N and C: N) of the two measures analysed for each sample.

Archaeological site	Bone sample (S-UCT)	Corresponding Enamel sample (S-UCT, see Table 3)	Species	Chronology	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	% C	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	%N	C:N
Santimamiñe	18,458 <sup>a</sup>	18,264	Human	Neolithic	-21.1	23.1	9.1	7.7	3.5
Santimamiñe	18,459	18,259	Human	Mesolithic	-18.6	42.5	7.9	15.4	3.2
Santimamiñe	18,460	18,260	Human	Chalcolithic	-20.7	38.5	9.2	13.5	3.3
Santimamiñe	18,461	18,261	Human	Bronze Age	-17.8	41.8	11.1	14.6	3.3
Santimamiñe	18,462	18,262	Human	Neolithic	-21.3	41	8.6	14.4	3.3
Santimamiñe	18,463	18,263	Human	Mesolithic	-20.6	36.4	9.3	12.8	3.3
Santimamiñe	18,464	–	<i>Ovis aries</i> / <i>Capra hircus</i>	Neolithic	-20.6	38	3.3	12.9	3.4
Santimamiñe	18,465	–	<i>Ovis aries</i> / <i>Capra hircus</i>	Mesolithic	-21.4	43.4	5.8	15.2	3.3
Santimamiñe	18,466	–	<i>Capra pyrenaica</i>	Neolithic	-20.1	39.2	2.7	14	3.3
Santimamiñe	18,467	–	<i>Capra pyrenaica</i>	Mesolithic	-20.1	39.9	2.6	14.3	3.3
Santimamiñe	18,468	–	<i>Cervus elaphus</i>	Neolithic	-21.6	41.5	2.26	14.9	3.2
Santimamiñe	18,469	–	<i>Ovis aries</i> / <i>Capra hircus</i>	Chalcolithic	-19.9	36.5	3.2	13	3.3
Santimamiñe	18,470	–	<i>Sus scrofa</i>	Mesolithic	-20.2	39	3.9	14	3.3
Santimamiñe	18,471	–	<i>Cervus elaphus</i>	Mesolithic	-21.1	41.2	2.7	14.4	3.3
Pico Ramos	18,429	18,236	Human	Chalcolithic	-20.6	38.5	9.4	12.4	3.6
Pico Ramos	18,430	18,237	Human	Chalcolithic	-20.5	42.1	8.2	14.6	3.4
Pico Ramos	18,431 <sup>a</sup>	18,238	Human	Chalcolithic	-23.2	14	10.1	2.2	7.3
Pico Ramos	18,432	18,239	Human	Chalcolithic	-20.2	42.8	9.3	15	3.3
Pico Ramos	18,433	18,240	Human	Chalcolithic	-21	42.3	8.4	14.8	3.3
Pico Ramos	18,434	18,241	Human	Chalcolithic	-20.5	42.3	9.1	14.8	3.3
Pico Ramos	18,435	18,242	Human	Chalcolithic	-20.8	41.6	8.5	14.5	3.3
Pico Ramos	18,436	18,234	Human	Chalcolithic	-20.7	41	8.6	14.2	3.4
Pico Ramos	18,437	18,235	Human	Chalcolithic	-19.9	42.6	8.8	14.6	3.4
Pico Ramos	18,438	18,244	Human	Chalcolithic	-20.5	37.2	9	12.7	3.4
Pico Ramos	18,439	18,245	Human	Chalcolithic	-20.7	36.3	9.3	11.8	3.6
Pico Ramos	18,440	18,246	Human	Chalcolithic	-20.8	49.9	8.6	17.6	3.3
Pico Ramos	18,441	18,247	Human	Chalcolithic	-20.2	35.9	9.6	12.4	3.4
Pico Ramos	18,442	18,248	Human	Chalcolithic	-20.1	38.6	9.8	13.2	3.4
Pico Ramos	18,443	18,249	Human	Chalcolithic	-20.5	40.6	9.2	13.1	3.6
Pico Ramos	18,444	18,251	Human	Chalcolithic	-20.2	40.7	9.3	14.2	3.3
Pico Ramos	18,445	18,250	Human	Chalcolithic	-20	39.9	8.7	13.6	3.4
Pico Ramos	18,446	18,252	Human	Chalcolithic	-20.4	31.5	8.7	10.6	3.5
Pico Ramos	18,447	18,253	Human	Chalcolithic	-20	42.3	9.3	14.6	3.4
Pico Ramos	18,448	18,254	Human	Chalcolithic	-20.3	40.5	9.4	14.1	3.4
Pico Ramos	18,449	18,255	Human	Chalcolithic	-20.4	42.3	9	14.8	3.3
Pico Ramos	18,450	18,257	Human	Chalcolithic	-20.4	40.1	9.4	13.7	3.4
Pico Ramos	18,451	–	<i>Canis familiaris</i>	Chalcolithic	-16.3	44.5	9.6	16.1	3.2
Pico Ramos	18,452	–	<i>Ovis aries</i> / <i>Capra hircus</i>	Chalcolithic	-20.3	41.9	3.5	15.1	3.3
Pico Ramos	18,453	–	<i>Sus scrofa</i>	Chalcolithic	-21.1	43	4.9	15.3	3.3
Pico Ramos	18,454	–	<i>Cervus elaphus</i>	Chalcolithic	-20.6	33.3	3.3	11.2	3.5
Pico Ramos	18,455	–	<i>Bos taurus</i>	Chalcolithic	-21.9	34.5	4.8	11.9	3.4

<sup>a</sup> Does not comply with the full quality standards required.

herbivores, except for one wild boar (omnivore). The animal isotope mean values are  $\delta^{13}\text{C}$  of  $-20.6 \pm 0.7$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $-21.6\%$ , max:  $-19.9\%$ ) and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $3.3 \pm 1.1$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $2.3\%$ , max:  $5.8$ ), showing typical values of a C<sub>3</sub> type terrestrial ecosystem (DeNiro and Epstein, 1978; Schwarcz and Schoeninger, 1991). The human remains gave a mean of  $\delta^{13}\text{C}$  of  $-19.8 \pm 1.5$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $-21.3\%$ , max:  $-17.8\%$ ) and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $9.2 \pm 1.2$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $7.9\%$ , max:  $11.1\%$ ), data that matches consumption within the ecosystem described above according to the results of faunal analysis. Two individuals displayed significantly higher  $\delta^{13}\text{C}$  values ( $-17.8\%$  and  $-18.6\%$ ) than the average, while the  $\delta^{15}\text{N}$  values of these two individuals are more disparate ( $11.1\%$ ;  $7.9\%$ ).

The carbon isotope data from the first group are related to a diet based mainly on terrestrial C<sub>3</sub> resources (Table 2, Fig. 6a), while the nitrogen isotope values indicate that humans were on a higher trophic level than the fauna (6‰ greater than faunal remains). However, the latter two individuals differ. In one of them (S-UCT 18,459, Mesolithic) the  $\delta^{15}\text{N}$  value is  $7.9\%$ , which is only 4‰ above the mean herbivore value, while the  $\delta^{13}\text{C}$  value is of  $-18.6\%$ , which could suggest a slight differential consumption of protein compared to the remaining population. The second disparate value (S-UCT 18,461, Bronze Age) consists on a  $\delta^{15}\text{N}$  value of  $11.1\%$  (10‰ higher than the herbivore baseline), which combined with a high

$\delta^{13}\text{C}$  value ( $-17.8\%$ ), suggests a possible consumption of some marine protein. Finally, with a  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-20.6\%$ , while its  $\delta^{15}\text{N}$  values is of  $9.3\%$ . Overall, all these values from humans at the site show that, although the diet was mainly based on terrestrial food, marine resources may have been consumed sporadically (but not in enough quantity as to be reflected significantly in the collagen signature) by the human groups at Santimamiñe.

#### 4.1.2. Pico Ramos

It was possible to analyse the >30 kDa collagen fraction from all analysed samples (22 human and 5 faunal remains), and sufficient collagen was obtained to analyse each sample in duplicate. Unfortunately, one sample (S-UCT 18,431) did not meet the quality standards described above, and is therefore omitted from the discussion of the results.

The herbivore baseline for Pico Ramos is obtained from the ovicaprid, red deer and bovid results, which are very similar to the values obtained for the herbivores at Santimamiñe:  $\delta^{13}\text{C}$ :  $-20.91 \pm 0.8$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $-21.9\%$ , max:  $-20.3\%$ ) and  $\delta^{15}\text{N}$ :  $3.8 \pm 0.8$  (1 $\sigma$ ) ‰ (min:  $3.3\%$ , max:  $4.8\%$ ). Two omnivorous samples were also sampled: a dog with  $\delta^{13}\text{C}$  values of  $-16.3\%$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $9.6\%$ , and a wild boar with considerably lower  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-21\%$ ) and  $\delta^{15}\text{N}$  values ( $4.9\%$ ) than the dog specimen.

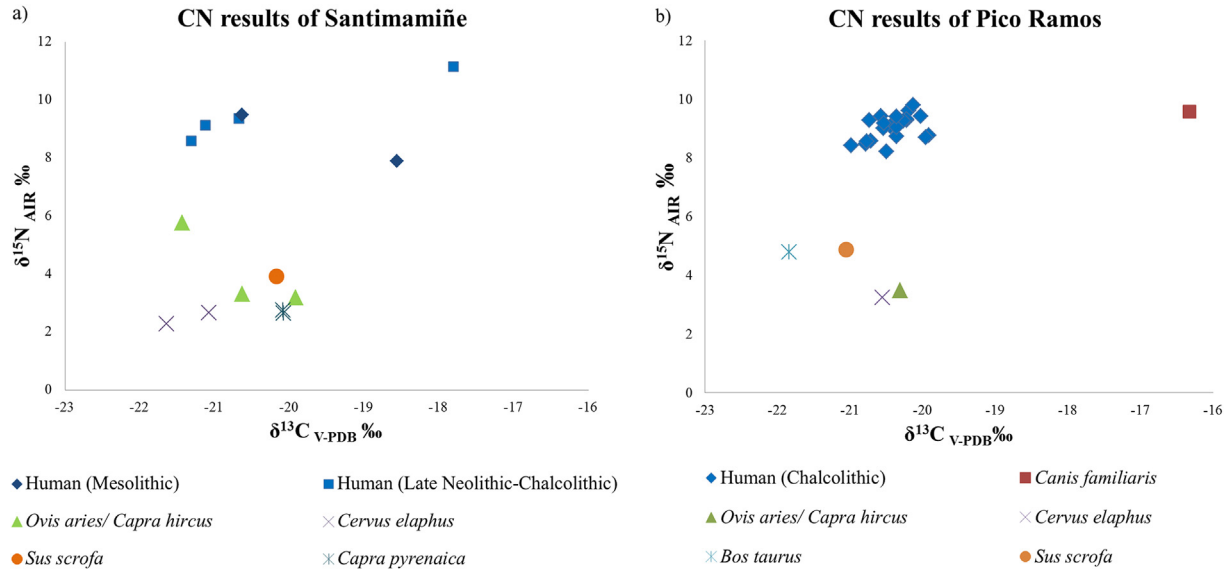


Fig. 6. Graphic with carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from (a) Santimamiñe and (b) Pico Ramos.

All the human remains are clustered coherently in the levels that can be expected for individuals with a diet based on the consumption of  $\text{C}_3$  type terrestrial protein, as can be seen in Fig. 6b (Table 2). Taken all together, the  $\delta^{13}\text{C}$  values are  $-20.4 \pm 0.3$  ( $1\sigma$ ) ‰ (min:  $-21$ ‰, max:  $-19.9$ ‰) and the  $\delta^{15}\text{N}$  values are  $9 \pm 0.4$  ( $1\sigma$ ) ‰ (min: 8.2‰, max: 9.8), indicating the consumption of  $\text{C}_3$  type terrestrial protein, as can be observed by the trophic level occupied by humans in comparison with animals, both herbivores and

omnivores (about 6‰ higher). There is no isotopic evidence for consumption of marine protein.

#### 4.2. Strontium data

##### 4.2.1. Strontium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) results for Santimamiñe cave

The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  results of the modern plant and snail shell samples ( $n = 10$ ) to calculate the bioavailable range at the site of

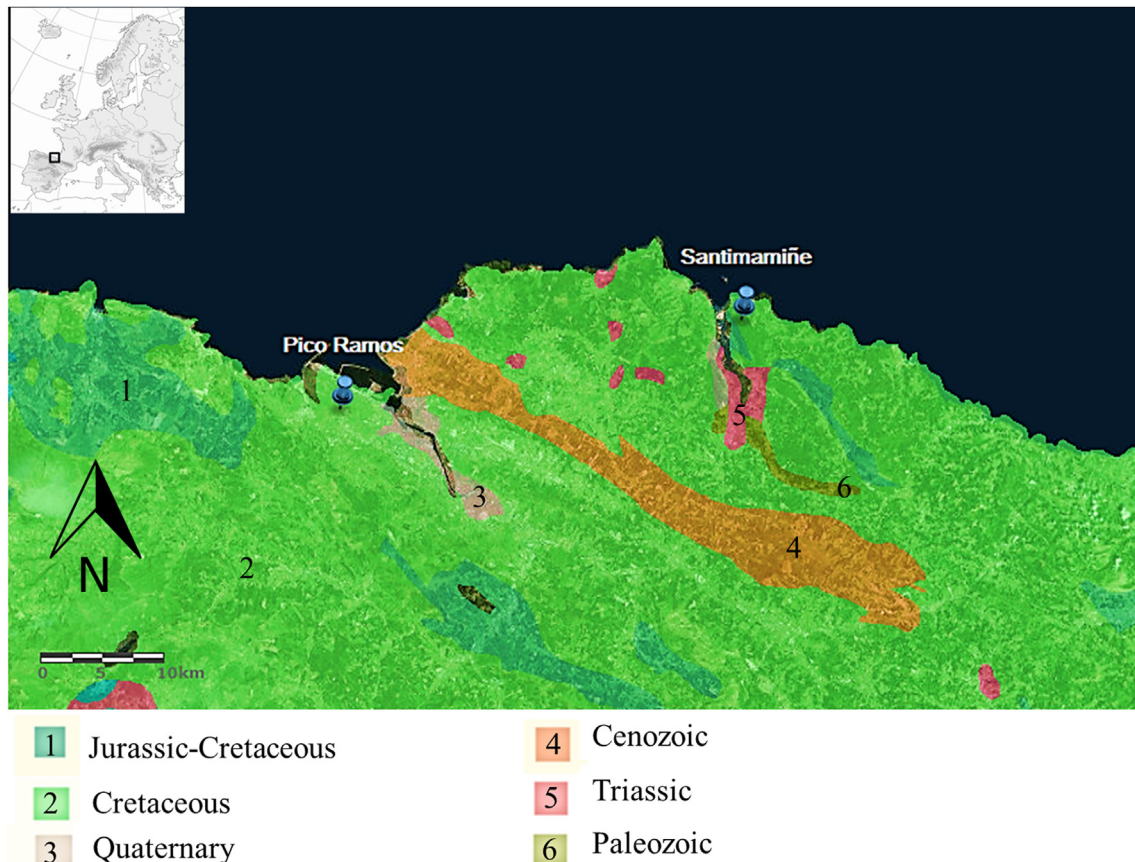


Fig. 7. Geological map of the surroundings of the study region: Santimamiñe and Pico Ramos source: [mapas.igme.es/gis/services/Cartografia\\_Geologica](http://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Geologica).

**Table 3**

List of fossil and modern analysed samples from Santimamiñe and Pico Ramos. Concentrations have been only done in fossil samples to check the state of preservation.

Site	Sample (S-UCT)	Material	Sr concentration (ppm)	<sup>84</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	Sr (V)	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
Santimamiñe	18,093	<i>Quercus ilex</i>	–	0.05654	7.3	0.70914
Santimamiñe	18,094	<i>Hedera hēlix</i>	–	0.05657	8.8	0.70883
Santimamiñe	18,095	<i>Smilax aspera</i>	–	0.05659	7.4	0.70890
Santimamiñe	18,096	<i>Fragaria vesca</i>	–	0.05655	8.2	0.70897
Santimamiñe	18,097	<i>Poaceae</i>	–	0.05653	7.5	0.70863
Santimamiñe	18,194	Snail	–	0.05656	7.1	0.70874
Santimamiñe	18,195	Snail	–	0.05664	8	0.70858
Santimamiñe	18,196	Snail	–	0.05654	10.1	0.70854
Santimamiñe	18,197	Snail	–	0.05652	8.7	0.70833
Santimamiñe	18,198	Snail	–	0.05658	8.3	0.70852
Santimamiñe	18,258	M2	116.6	0.05650	7.4	0.71064
Santimamiñe	18,259	M2	127.5	0.05653	7.8	0.71038
Santimamiñe	18,260	M2	48.67	0.05665	7.9	0.71100
Santimamiñe	18,261	M1	53.03	0.05657	7.2	0.70906
Santimamiñe	18,262	M2	67.77	0.05657	5.8	0.71104
Santimamiñe	18,263	M2	71.57	0.05652	7.4	0.70946
Santimamiñe	18,264	P2	101.4	0.05652	8.3	0.71146
Pico Ramos	18,088	<i>Quercus robur</i>	–	0.05655	8.7	0.70778
Pico Ramos	18,089	<i>Smilax aspera</i>	–	0.05656	8.1	0.70762
Pico Ramos	18,090	<i>Rosaceae</i>	–	0.05656	8.1	0.70774
Pico Ramos	18,091	<i>Trifolium</i>	–	0.05657	8.9	0.70823
Pico Ramos	18,092	<i>Poaceae</i>	–	0.05655	8.1	0.70812
Pico Ramos	18,189	Snail	–	0.05655	7.2	0.70747
Pico Ramos	18,190	Snail	–	0.05655	9.1	0.70745
Pico Ramos	18,191	Snail	–	0.05659	6.8	0.70745
Pico Ramos	18,192	Snail	–	0.05656	9.1	0.70753
Pico Ramos	18,193	Snail	–	0.05657	9	0.70751
Pico Ramos	18,234	M2	132.5	0.05655	5.8	0.70914
Pico Ramos	18,235	M2	109.3	0.05668	7.9	0.70911
Pico Ramos	18,236	M2	98.55	0.05656	7.9	0.70913
Pico Ramos	18,237	M2	136.8	0.05665	6.9	0.70884
Pico Ramos	18,238	M2	133.5	0.05658	5.5	0.70863
Pico Ramos	18,239	M2	191.3	0.05657	7	0.70816
Pico Ramos	18,240	M2	73.31	0.05656	6.6	0.70940
Pico Ramos	18,241	M2	88.64	0.05654	8.2	0.70996
Pico Ramos	18,242	M2	43.00	0.05670	8.6	0.71154
Pico Ramos	18,243	M2	159.1	0.05648	7.4	0.70890
Pico Ramos	18,244	M2	153.4	0.05655	6.99	0.70882
Pico Ramos	18,245	M2	191.1	0.05656	8.05	0.70800
Pico Ramos	18,246	M2	171.6	0.05655	6.93	0.71147
Pico Ramos	18,247	M2	204.9	0.05655	7.24	0.70822
Pico Ramos	18,248	M2	153.4	0.05655	7.54	0.71143
Pico Ramos	18,249	M2	67.58	0.05654	4.20	0.70848
Pico Ramos	18,250	M2	86.36	0.05661	8.23	0.70833
Pico Ramos	18,251	M2	200.4	0.05655	7.62	0.70834
Pico Ramos	18,252	M2	146.5	0.05656	6.17	0.70879
Pico Ramos	18,253	M2	116.2	0.05662	10.23	0.70936
Pico Ramos	18,254	M2	93.66	0.05657	6.16	0.71271
Pico Ramos	18,255	M2	129.1	0.05656	6.63	0.70866
Pico Ramos	18,256	M1	166.2	0.05651	6.89	0.70949
Pico Ramos	18,257	M2	136.3	0.05655	8.07	0.70899

Santimamiñe, located in a substrate of Albian-Aptian reef limestone, lie within the range of  $0.70872 \pm 0.00024$  ( $1\sigma$ ), as seen in Fig. 7;  $0.70889 \pm 0.00019$  ( $1\sigma$ ) for plants and  $0.70854 \pm 0.00015$  ( $1\sigma$ ) for snails. The strontium isotope results of the enamel human remains ( $n = 7$ ) differ considerably from the range established as local. Five of the seven samples display <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr values between 0.70906 and 0.71146, with a mean of all the results of  $0.71043 \pm 0.00088$  ( $1\sigma$ ). The results from two samples (S-UCT 18,262 and S-UCT 18,264) are particularly noteworthy as the <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr values are above 0.71100 (Table 3, Fig. 8).

#### 4.2.2. Strontium (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) results for Pico Ramos archaeological site

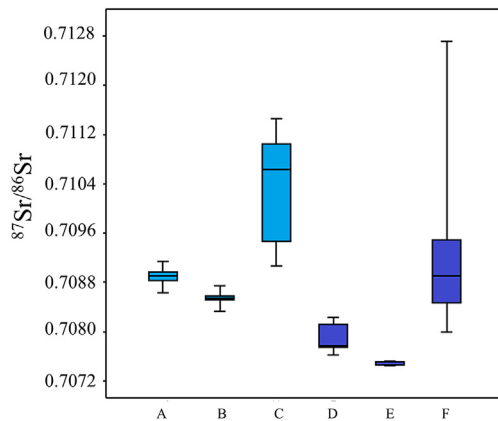
Pico Ramos is located in a mountainous area with a Lower Cretaceous substrate (Albian-Aptian), like Santimamiñe Cave (Fig. 7). However, the bioavailable <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr values are lower. The modern plant samples ( $n = 5$ ) gave a mean of  $0.7079 \pm 0.00026$  and

snail shell samples ( $n = 5$ ) of  $0.70748 \pm 0.00029$ . Therefore, the bioavailable local range would be  $0.70769 \pm 0.00028$  ( $1\sigma$ ). Table 3 shows that of all the individuals analysed ( $n = 24$ ), most values fall outside the bioavailable <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr ratios. Four values (S-UCT 18,242, 18,246, 18,248, 18,254) stand out particularly (see Fig. 8), as their mean of  $0.71179 \pm 0.00062$  ( $1\sigma$ ) is indicative of the allochthonous character of these individuals. The other individuals, except for sample S-UCT 18,245 (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr: 0.708) display a mean of  $0.70888 \pm 0.00047$  ( $1\sigma$ ).

## 5. Discussion

Archaeological evidence at the region shows how the exploitation of the territory around the sites of Santimamiñe and Pico Ramos changed through the different occupation phases. Zooarchaeological studies suggest that at the onset of the Holocene the exploitation of estuarine and marine resources was important,





**Fig. 8.** Graphic with strontium isotope ratio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) results of: (A) Santimamiñe plants, (B) Santimamiñe snails, (C) Santimamiñe enamel samples, (D) Pico Ramos plants, (E) Pico Ramos snails, (F) Pico Ramos enamel samples. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range.

as there is evidence of a high presence of shell middens amongst burials in the region (Arias et al., 2007). However, with the arrival of farming, aquatic foods were changed by domestic terrestrial animal species, which became dominant over wild species (Arias, 2005). Even so, there are a few fish remains and fishing artifacts appearing in Neolithic levels (López-Quintana, 2011) that suggest the marine and estuarine environments were not totally abandoned as a food source. For example, in Santimamiñe two fish samples (*Coger coger* and *Merluccius merluccius*) and large amounts of molluscs ( $n = 22,056$ ) were recovered during the last excavations of post Neolithic chronologies (Roselló Izquierdo and Morales Muñiz, 2011; Gutiérrez Zugasti, 2011), and a previous trace element study carried out at Pico Ramos suggested a possible consumption of estuarine resources amongst the Neolithic population (Baraybar and de la Rúa, 1995).

This subsistence picture portrayed by archaeological previous studies clearly contrasts with the isotopic evidence at the sites of Santimamiñe and Pico Ramos. The results from both Biscayan sites here studied are indicative of a diet based mainly on the consumption of  $\text{C}_3$  terrestrial resources (both plants and animals that consumed them) among both hunter-gatherer and farming communities. Except for one sample from Santimamiñe, there is no evidence of the consumption of aquatic resources. However, and bearing in mind the location of the sites (near to both coastal and estuarine ecosystems), this apparent non-aquatic dietary pattern should be further studied. While analysing the  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values of fish remains would probably discard their regular consumption as suggested here, perhaps sulphur (Nehlich, 2015) or compound-specific isotope analysis (Naito et al., 2016) could help in detecting consumption so far undetectable. Likewise, combining different dietary reconstruction techniques (e.g. Salazar-García et al., 2016), as well as novel analysis such as those of DNA and proteomics on dental calculus (Warinner et al., 2014) could also shed light on sporadic consumption of these resources even if not in high enough quantities as to be shown in the collagen signature.

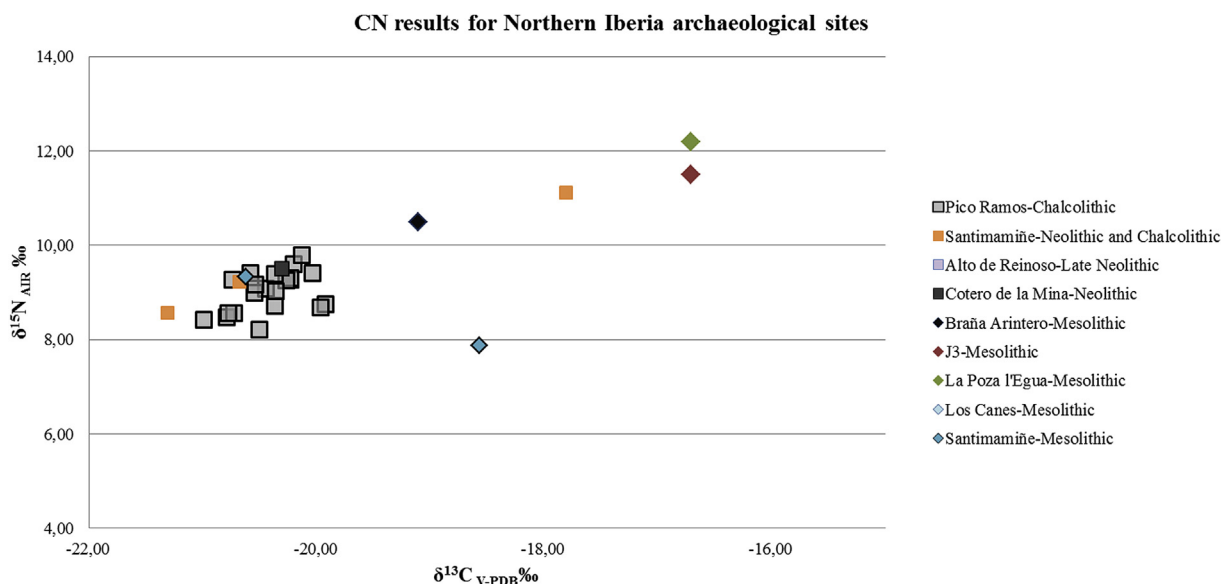
At the moment, however, stable isotope analyses clearly show that diet was based on  $\text{C}_3$  terrestrial resources, being so far no isotopic signature clearly showing aquatic resource consumption at these sites. As mentioned above, only one sample from Santimamiñe (S-UCT 18,461), dating to the Bronze Age, shows potential marine protein consumption, as well as curiously displaying the only local  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  value among the analysed individuals. Regarding the Mesolithic individuals (S-UCT 18,459 and S-UCT 18,463), period which traditionally is associated to high marine

protein consumption elsewhere in the Atlantic European region, there is also no clear isotopic signature evidence of marine protein consumption. Large differences observed in  $\delta^{13}\text{C}$  on the two Mesolithic individuals sampled (ca. 2‰) cannot be attributed to the introduction of marine protein consumption, as the individual with higher  $\delta^{13}\text{C}$  values has also lower  $\delta^{15}\text{N}$  values (ca. 1.5‰ lower). Perhaps this latter individual was consuming a higher proportion of plant foods, or perhaps it came from another environment with a lower nitrogen stable isotope ratio ecosystem baseline. Unfortunately, the low sample does not allow for further in-depth discussion about this.

Overall, comparing these results to all other CN isotope analysis carried out in the region for both the Mesolithic and Neolithic-Chalcolithic periods (Fig. 8), most of the new data is coherent with what has been observed until now for the mentioned chronologies: it shows a main consumption of  $\text{C}_3$  terrestrial resources. However, there is no isotopic evidence of marine resources exploitation, contrasting with what we can find in other archaeological sites, as J3 or La Poza l'Egua. On the other hand, it is remarkable that there is only one value in both sites that shows a probable consumption of marine food, the most recent one (Bronze Age) corresponding to Level II. We can see how the Santimamiñe human results do not really match perfectly data of same chronologies from the region, even though acknowledging the scarcity of data available now. Differently to Santimamiñe, all the results from Pico Ramos fall within the dietary pattern that is expected for the Chalcolithic at the region (Fig. 9).

In contrast to what is observed elsewhere in Atlantic Europe (see review in Sarasketa-Gartzia, 2015), there is no isotopic evidence of marine resource consumption during the Mesolithic in the Basque coastal region. While in the Atlantic façades of France (e.g. Schulting et al., 2008), Scotland (e.g. Schulting and Richards, 2002), Denmark (e.g. Schoeninger et al., 1983), England (e.g. Mannino and Thomas, 2001), Portugal (e.g. Fontanals-Coll et al., 2014) and even other areas of Northern Iberia (e.g. Arias, 2005) there is a predominance of marine protein in the collagen signature of its individuals, nothing of the sort is observed at the Mesolithic levels of Santimamiñe. There is not only no trace of the abrupt dietary change observed between the Mesolithic and the Neolithic elsewhere in the Atlantic (Richards et al., 2003), but overall similarities between both periods seem to exist here (albeit Neolithic individuals available for this study correspond only to its later stages). Especially interesting is to observe that nearby Mesolithic sites (Poza l'Egua, Colomba, J3 and Los Canes) (Arias, 2005) have individuals with very different values to those from the Santimamiñe Mesolithic. These dietary differences between last hunter-gatherer groups in Northern Iberia could be the result of cultural differences regarding the exploitation and consumption of marine resources. It would be interesting to do aDNA analysis from these two Mesolithic groups to further test this hypothesis.

Besides the carbon and nitrogen isotope ratio results, the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  results carried out on individuals from the different chronologies of Santimamiñe and Pico Ramos are also noteworthy because of the large proportion of the individuals analysed that report non-local values. Compared to the bioavailable strontium baseline of the immediate surrounding of the site, as well as to the mostly Cretaceous and Cenozoic geological in the surrounding area, the non-autochthonous  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values from both Santimamiñe and Pico Ramos that are higher than 0.710 can be associated to Lower Triassic deposits. The closest Triassic deposits, which show bioavailable Sr values (0.711–0.712) compatible to those from the non-local individuals of these two sites, are at the Pyrenees of Navarre (Prevedorou et al., 2010; Villalba-Mouco et al., 2017). One of the most interesting points is that all the results that do not match the values from the north of Navarre resemble bioavailable



**Fig. 9.** Graphic with carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values for Northern Iberian archaeological sites (Arias, 2005; Arias and Schulting, 2010; Alt et al., 2016).

strontium data from around the cave of Santimamiñe. The possibility of mobility between the two areas would support the theory of Altuna (1980) regarding pastoral transhumance across the whole region from the Late Neolithic onwards. The two results whose  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values are not as high as those equivalent to the Lower Triassic environment (S-UCT 18,262 and 18,263) can be paired to Lower Cretaceous values (0.709) from inland Gipuzkoa (Aranburu-Mendizabal et al., 2017). The values suggest that the individuals at Santimamiñe spent their childhood (the time when the analysed teeth were formed: Hillson, 1996) in areas with Triassic strata dominant outcrops, such as in Northern Navarre or inland Gipuzkoa, which might indicate migratory movements from the Pyrenees to the Biscayan coast.

All this interpretation, however, is not so straightforward, as we should consider the previously mentioned sea-spray effect on  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotope ratio values due to the proximity to the coast of both Santimamiñe and Pico Ramos. While we cannot discard that the individuals with values compatible with the local coastal bioavailable baseline at the site could be migrants originating at a coastal site elsewhere in the broader region, we can say with an important degree of certainty that the individuals with the high non-local values did not definitely spend their childhood close to the coast (i.e. their  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values show no sea-coastal influence). In this case, the individuals with values that do not match with the bioavailable ones could mean that they did not pass their childhood near the coast in general, and not only the surrounding area of the analysed archaeological site. Overall, it is possible that populations moved from the southern Pyrenees to the coast of Biscay and, over shorter distances, between different parts of the Basque Country. These movements taking place throughout recent Prehistory have been now identified at same chronologies at the two sites here studied, underscoring the possibility that these mobility patterns were sustained over the course of several cultural periods. However, we have to take into consideration the limitations and the need for continuing analysing surrounding areas to achieve a higher-resolution map of bioavailable strontium in the region.

## 6. Conclusions

New isotopic evidence shows that diet from the Mesolithic up

until the Bronze Age in Northern Iberia was based on the consumption of  $\text{C}_3$  terrestrial resources. Even though the sites of Santimamiñe and Pico Ramos are situated close to the coastline, there is no isotopic evidence of marine protein consumption during their occupation phases, except some possible slight consumption during the Bronze Age period. This contrasts with elsewhere in the Atlantic Façade, where exploitation of marine resources is common amongst last hunter-gatherer communities during some parts of the Holocene. At the moment, it is necessary to obtain more results of different chronologies to reject or reinforce this different dietary pattern for the Basque region. On the other hand, and although we need further analysis to characterize better the bioavailable strontium of the region, the existence of non-local individuals at both sites during the different occupation phases is quite clear. Their provenance might be the northern part of the Navarre Pyrenees. If this local mobility network between different communities of the near-by regions is confirmed, it would open a new research line to further explore their socio-economical interactions.

## Acknowledgements

This study is part of ISG's Doctoral Thesis, supervised by AA and DCSG. ISG benefits from a postgraduate grant of the Basque Government. ISG and AA have been partially funded by the research project of the Spanish Science Ministry HAR 2014-53536-P (La ruta occidental del poblamiento de la Península Ibérica durante el Paleolítico medio y superior), and the Research Team in Prehistory at the University of the Basque Country (IT-622-13). VVM has a predoctoral scholarship funded by the Government of Aragon and European Social Fund (REF: BOA20150701025). DCSG acknowledges funding for this research from the BBVA Foundation (I Ayudas a Investigadores, Innovadores y Creadores Culturales). All authors would like to thank the Cultural Heritage Centre of the Basque Government and the depository of the Archaeological Museum of Biscay for permission to carry out the necessary sampling for the analyses. We would also like to thank Fayrooza Rawoot, Kerry Gray and Ian Newton for technical assistance. Thanks also to Christel Tinguely for the Sr concentration values. We thank you the two anonymous reviewers who helped to improve this manuscript.

## References

- Alt, K.W., Zesch, S., Garrido-Pena, R., Knipper, C., Szécsényi-Nagy, A., Roth, C., Tejedor-Rodríguez, C., Held, P., García-Martínez-de-Lagrán, I., Navitainuck, D., Arcusa Magallón, H., Rojo-Guerra, M.A., 2016. A community in life and death: the Late Neolithic megalithic tomb at Alto de Reinoso (Burgos, Spain). *PLoS One* 11 (1).
- Altuna, J., 1980. Historia de la domesticación animal en el País Vasco, desde sus orígenes hasta la romanización. *Munibe* 32, 1–88.
- Ambrose, S.H., 1993. Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretative considerations. In: Stanford, M.K. (Ed.), *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology*. Gordon and Breach Science Publishers, Langhorne, pp. 59–130.
- Aranburu-Mendizabal, A., Sarasketa-Gartzia, I., Iriarte-Chiapusso, M.J., Jakintza taldea, Antxieta, Salazar-García, D.C., Arrizabalaga, A., 2017. El yacimiento Calcolítico de Karea (Aia) en el contexto de las cuevas sepulcrales guipuzcoanas. *Munibe* in press.
- Aranzadi, T., Barandiaran, J.M., Eguren, E., 1931. Exploraciones de la caverna de Santimamiñe (Basando: Cortézubi). In: Barandiaran, J.M. (Ed.), *2ª Memoria- Los niveles con cerámica y el conchero*, pp. 91–243, 1976. Obras completas, Tomo IX.
- Arias, P., 2005. Determinaciones de isótopos estables en restos humanos de la región Cantábrica. Aportación al estudio de la dieta de las poblaciones del Mesolítico y Neolítico. *Munibe (Antropología-Arkeología)* 57, 359–374. Homenaje a Jesús Altuna.
- Arias, P., Fano Martínez, M.Á., Álvarez Fernández, E., Armendariz Gutiérrez, A., Cueto Rapado, M., Garralda, M.D., Mensua Calzado, C., Teira Mayolini, L.C., 2007. Programa de sondeos en concheros holocenos del oriente de Asturias. Excavaciones arqueológicas en Asturias 1999–2002. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias, Oviedo.
- 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. In: Vidal Encinas, J.M., Prada Marcos, M.E. (Eds.), *Los Hombres Mesolíticos de la Cueva de La Braña-Arintero (Valdelugueros, León)*. Museo de León, Estudios y Catálogos 18, Junta de Castilla y León, pp. 130–137.
- Arrizabalaga, A., Prieto, A., García-Ibaibarriaga, N., Calvo, A., Domínguez-Ballesteros, E., Ochoa, B., Ordoño, J., Romero, A., Villaluenga, A., Tapia, J., Ayerdi, M., Echazarreta, A., Hernández-Beloqui, B., Medina, M.A., Bradtmöller, M., Suárez, A., Sarasketa-Gartzia, I., Iriarte-Chiapusso, M.J., 2016. En la ruta occidental del poblamiento de la Península Ibérica. *Munibe (Antropología-Arkeología)* 67, 227–234.
- Baraybar, J.P., de la Rúa, C., 1995. Estudio antropológico de la población de Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). Consideraciones sobre la demografía, salud y subsistencia. *Munibe (Antropología-Arkeología)* 47, 151–175.
- Bentley, R., 2006. Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review. *J. Archaeol. Method Theory* 13, 135–187.
- Bocherens, H., 2009. Neanderthal dietary habits: review of the isotopic evidence. In: Hublin, J.J., Richards, M.P. (Eds.), *The Evolution of Hominid Diets: Integrating Approaches to the Study of Palaeolithic Subsistence. Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology*. Springer, Dordrecht, pp. 241–250.
- Bocherens, H., Drucker, D., 2013. Trophic level isotopic enrichments for carbon and nitrogen in collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. *Int. J. Osteoarchaeol* 13, 46–53.
- Bronk Ramsey, C., Lee, S., 2013. Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon* 55 (2–3), 720–730.
- Britton, K., Grimes, V., Dau, J., Richards, M.P., 2009. Reconstructing faunal migrations using intra-tooth sampling and strontium and oxygen isotope analyses: a case study of modern caribou (*Rangifer tarandus granti*). *J. Archaeol. Sci.* 36 (5), 1163–1172.
- Brown, T.A., Nelson, D.E., Vogel, J.S., Southon, J.R., 1988. Improved collagen extraction by modified Longin method. *Radiocarbon* 30, 171–177.
- Cardoso, S., Valverde, L., Palencia, L., Martínez de Pancorbo, M., López-Quintana, J.C., Guenaga, A., 2011. Análisis de ADN mitocondrial en los restos humanos de la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia). In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004–2006)*. Kobie, pp. 383–392. Serie BAI 1.
- Chenery, C., Müldner, G., Evans, J., Eckardt, H., Lewis, M., 2010. Strontium and stable isotope evidence for diet and mobility in Roman Gloucester, UK. *J. Archaeol. Sci.* 37, 150–163.
- Colonese, A.C., Mannino, M.A., Bar-Yosef Mayer, D.E., Fa, D.A., Finlayson, J.C., Lubell, D., Stiner, M.C., 2011. Marine mollusc exploitation in Mediterranean prehistory: an Overview. *Quat. Int.* 239, 86–103.
- DeNiro, M.J., Epstein, S., 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42, 495–506.
- DeNiro, M.J., Epstein, S., 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 45, 341–351.
- Evans, J.A., Montgomery, J., Wildman, G., 2009. Isotope domain mapping of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  biosphere variation on the Isle of Skye, Scotland. *J. Geol. Soc.* 166, 617–631.
- Fontanals-Coll, M., Subirà, E., Díaz-Zorita, M., Duboscq, S., Gibaja, J.F., 2014. Investigating palaeodietary and social differences between two differentiated sectors of a Neolithic community, La Bòbila Madurell-Can Gambús (north-east Iberian Peninsula). *J. Archaeol. Sci. Rep.* 3, 160–170.
- Fuller, B.T., Fuller, J.L., Sage, N.E., Harris, D.A., O'Connell, T.C., Hedges, R.E.M., 2004. Nitrogen balance and  $\delta^{15}\text{N}$ : why you're not what you eat during pregnancy. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 18, 2889–2896.
- Goude, G., Castorina, F., Herrscher, E., Cabut, S., Tafuri, M.A., 2012. First strontium isotope evidence of mobility in the neolithic southern France. *Eur. J. Archaeol.* 15 (3), 421–439.
- Gutiérrez Zugasti, F.I., 2011. Los moluscos alimenticios de la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia): Campañas de excavación 2004–2006. In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004–2006)*. Kobie, pp. 247–266. Serie BAI 1.
- Gutiérrez Zugasti, F.I., Cuenca Solana, D., Clemente Conte, I., González Sainz, C., López-Quintana, J.C., 2011. Instrumentos de trabajo y elementos de adorno en conchas de molusco de la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia). In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004–2006)*. Kobie, pp. 247–266. Serie BAI 1.
- Hartman, G., Richards, M., 2014. Mapping and defining sources of variability in bioavailable strontium isotope ratios in the Eastern Mediterranean. *Geochim. Cosmochim. Acta* 126, 250–264.
- Hedges, R.E.M., Clement, J.G., Thomas, C.D.L., O'Connell, T.C., 2007. Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: modelled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. *Am. J. Phys. Anthropol.* 133, 808–816.
- Hedges, R.E.M., Reynard, L.M., 2007. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *J. Archaeol. Sci.* 34, 1240–1251.
- Hillson, S., 1996. *Dental Anthropology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Le Bras-Goude, G., Herrscher, E., Vaquer, J., 2013. Funeral practices and foodstuff behaviour: what does eat meat mean? Stable isotope analysis of Middle Neolithic populations in the Languedoc region (France). *J. Anthropol. Archaeol.* 32 (3), 280–287.
- Lillie, M.C., 1997. Women and children in prehistory: resource sharing and social stratification at the Mesolithic–Neolithic transition in Ukraine. In: Moore, J., Scott, E. (Eds.), *Invisible People and Processes: Writing Gender and Childhood into European Archaeology*. Leicester University Press, London, pp. 213–228.
- Lillie, M.C., Richards, M.P., 2000. Stable isotope analysis and dental evidence of diet at the Mesolithic–Neolithic transition in Ukraine. *J. Archaeol. Sci.* 27, 965–972.
- Lillie, M.C., Richards, M.P., Jacobs, K., 2003. Stable isotope analysis of 21 individuals from the Epipalaeolithic cemetery of Vasylivka III, Dnieper Rapids region, Ukraine. *J. Archaeol. Sci.* 30, 743–752.
- Longin, R., 1971. New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature* 230, 241–242.
- López-Quintana, J.C., 2011. La ocupación humana de Santimamiñe (Kortezubi): paisaje, recursos y estrategias de explotación del medio desde el Magdalenense Inferior al Calcolítico-Edad del Bronce. In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004–2006)*. Kobie, pp. 421–446. Serie BAI 1.
- López-Quintana, J.C., Guenaga, A., 2011. Revisión estratigráfica del depósito arqueológico de la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia): Campañas de 2004 a 2006. Cronoestratigrafía y paleoambiente. In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004–2006)*. Kobie, pp. 7–70. Serie BAI 1.
- López-Quintana, J.C., Guenaga, A., 2014. La cueva de Santimamiñe. In: Salazar-Ramos, R., Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J.M., Arsuaga, J.L. (Eds.), *Pleistocene and Holocene Hunter-Gatherers in Iberia and the Gibraltar Strait: the Current Archaeological Record*. Universidad de Burgos and Fundación Atapuerca, Burgos, pp. 114–121.
- López-Quintana, J.C., Guenaga, A., Etxeberria, F., Herrasti, L., Martínez de Pancorbo, M.A., Palencia, L., Valverde, L., Cardoso, S., 2015. Nuevos datos sobre la secuencia de uso sepulcral de la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia). *ARPI 03 extra, Homenaje a Rodrigo de Balbín Behrmann*, pp. 180–196.
- Lubell, D., Jackes, M., Schwarcz, H., Knyf, M., Meiklejohn, C., 1994. The Mesolithic–Neolithic transition in Portugal: isotopic and dental evidence of diet. *J. Archaeol. Sci.* 21, 201–216.
- Maurer, A.-F., Galer, S.J.G., Knipper, C., Beierlein, L., Nunn, E.V., Peters, D., Tütken, T., Alt, K.W., Schöne, B.R., 2012. Bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in different environmental samples—Effects of anthropogenic contamination and implications for isoscapes in past migration studies. *Sci. Total Environ.* 433, 216–229.
- Makarewicz, C.A., Sealy, K., 2015. Dietary reconstruction, mobility, and the analysis of ancient skeletal tissues: expanding the prospects of stable isotope research in archaeology. *J. Archaeol. Sci.* 56, 146–158.
- Mannino, M.A., Thomas, K.D., 2001. Intensive Mesolithic exploitation of coastal resources? Evidence from a shell deposit on the Isle of Portland (Southern England) for the impact of human foraging on populations of intertidal rocky shore molluscs. *J. Archaeol. Sci.* 28, 1101–1114.
- Meiklejohn, C., 2009. Radiocarbon dating of Mesolithic human remains in Spain. *Mesolith. Misc.* 20 (2), 2–20.
- Meiklejohn, C., Bousset, G., Valentin, F., 2010. Radiocarbon dating of Mesolithic human remains in France. *Mesolith. Misc.* 21 (1), 10–56.
- Minawaga, M., Wada, E., 1984. Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 1135–1140.
- Naito, Y.I., Bocherens, H., Chikaraishi, Y., Drucker, D.G., Wißing, C., Yoneda, M., Ohkouchi, N., 2016. Delta N-15 of individual amino acids in archaeological materials: a review with a special focus on aquatic food resources. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 6, 720–732.
- Nehlich, O., 2015. The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: a review. *Earth-Science Rev.* 142, 1–17.
- Nolte, E., 1984. *Miscelánea Arqueológica (VII)*. Kobie 14, 01–205.
- O'Connell, T.C., Kneale, C.J., Tasevska, N., Kuhnle, G.G.C., 2012. The diet-body offset

- in human nitrogen isotopic values: a controlled dietary study. *Am. J. Phys. Anthropol.* 149 (3), 426–434.
- Oñañón, R., 2003. Caminos hacia la complejidad: el Calcolítico en la región cantábrica. Universidad de Cantabria, Santander.
- Ortega, L.A., Guede, I., Zuluaga, M.C., Alonso-Olazabal, A., Murelaga, X., Niso, J., Loza, M., Quirós-Castillo, J.A., 2013. Strontium isotopes of humans remains from the San Martín de Dulantzi graveyard (Alegría-Dulantzi, Álava) and population mobility in the Early Middle Ages. *Quat. Int.* 303, 54–63.
- Pin, C., Briot, D., Bassin, C., Poitrasson, F., 1994. Concomitant separation of strontium and samarium–neodymium for isotopic analysis in silicate samples, based on specific extraction chromatography. *Anal. Chim. Acta* 298, 209–217.
- Prevedorou, E., Díaz-Zorita, M., Romero, A., Buikstra, J.E., de Miguel-Ibáñez, M.P., Knudson, K.J., 2010. Residential mobility and dental decoration in Early Medieval Spain: results from eight century site of Plaza del Castillo, Pamplona. *Dent. Anthropol.* 23 (2), 42–52.
- Price, T.D., Burton, J.H., Bentley, R.A., 2002. The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. *Archaeometry* 44 (1), 117–135.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Mannings, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50000 years cal BP. *Radiocarbon* 55 (4), 1869–1887.
- Richards, M.P., Price, T.D., Koch, E., 2003. Mesolithic and Neolithic subsistence in Denmark: new isotope data. *Curr. Anthropol.* 44, 288–295.
- Roselló Izquierdo, E., Morales Muñoz, A., 2011. Evidencias de pesca en las ocupaciones de Santimamiñe. In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004–2006)*. Kobie. Serie BAI 1.
- Salazar-García, D.C., Emili-Aura, J., Olària, C., Talamo, S., Morales, J., Richards, M.P., 2014a. Isotope evidence for the use of marine resources in the Eastern Iberian Mesolithic. *J. Archaeol. Sci.* 42, 231–240.
- Salazar-García, D.C., Richards, M.P., Nehlich, O., Henry, A.G., 2014b. 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). *J. Archaeol. Sci.* 47, 70–77.
- Salazar-García, D.C., Romero, A., García-Borja, P., Subirà, E., Richards, M.P., 2016. 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). *J. Archaeol. Sci. Reports* 6, 610–619.
- Sarasketa-Gartzia, I., 2015. Las primeras necrópolis en la Europa Atlántica: prácticas funerarias y dieta durante el Mesolítico. *CKQ* 5, 157–174.
- Schoeninger, M., DeNiro, M., Tauber, H., 1983. Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science* 220, 1381–1383.
- Schulting, R.J., Blockley, S.M., Bocherens, H., Drucket, D., Richards, M., 2008. Stable carbon and nitrogen isotope analysis on human remains from the Early Mesolithic site of La Vergne (Charente-Maritime, France). *J. Archaeol. Sci.* 35, 763–772.
- Schulting, R.J., Richards, M.P., 2002. Dogs, ducks, deer and diet: new stable isotope evidence on early Mesolithic dogs from the Vale of Pickering, North-east England. *J. Archaeol. Sci.* 29, 327–333.
- Schwarcz, H.P., Schoeninger, M.J., 1991. Stable isotope analysis in human nutritional ecology. *Yearb. Phys. Anthropol.* 34, 283–321.
- Schoeninger, M.J., De Niro, M.J., 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 625–639.
- Schwarcz, H.P., Schoeninger, M.J., 2011. Stable isotopes of carbon and nitrogen as tracers for paleo-diet reconstruction. In: Baskaran, M. (Ed.), *Handbook of Environment Isotope Geochemistry, Advances in Isotope Geochemistry*. Springer, pp. 725–742.
- Slovak, N., Paytan, A., 2012. Applications of Sr isotopes in archaeology. In: Baskaran, M. (Ed.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Advances in Isotope Geochemistry*, pp. 743–768.
- Tarriño, A., 2011. Procedencia de los sílex de la industria lítica del yacimiento en cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia). In: López-Quintana, J.C. (Ed.), *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004–2006)*. Serie Kobie, pp. 281–290. BAI 1. Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia.
- Tieszen, L.L., Fagre, T., 1993. Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO<sub>2</sub>, bone collagen, bioapatite, and soft tissues. In: Lambert, J.B., Grupe, G. (Eds.), *Prehistoric Human Bone- Archaeology at the Molecular Level*. Springer-Verlag, New York, pp. 121–155.
- Umbelino, C., 2006. Outros sabores do Passado: As análises de oligoelementos e de isótopos estáveis na reconstrução da dieta das comunidades humanas do Mesolítico Final e do Neolítico Final/Calcolítico do território português. Universidade de Coimbra, Coimbra. Ph. D. Thesis.
- Utrilla, P., Mazo, C., Domingo, R., 2015. Fifty thousand years of prehistory at the cave of Abauntz (Arraitz, Navarre): a nexus point between the ebro valley, Aquitaine and the cantabrian corridor. *Quat. Int.* 364, 294–305.
- Van der Merwe, N.J., 1982. Carbon isotopes, photosynthesis and archaeology: different pathways of photosynthesis cause characteristic changes in carbon isotope ratios that make possible study of prehistoric human diets. *Am. Sci.* 70 (6), 596–606.
- Van Klinken, G.J., 1999. Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *J. Archaeol. Sci.* 26, 687–695.
- Villalba-Mouco, V., Sarasketa-Gartzia, I., Utrilla, P., Montes, L., Mazo, C., Salazar-García, D.C., 2017. Burial caves, shared spaces. Subsistence and territorial mobility during the Neolithic in the North-East Iberian Peninsula: a multi-isotopic approach. *Archaeol. Sci. UK*.
- Warinner, C., Rodrigues, J.F.M., Vyas, R., Trachsel, C., Shved, N., Grossmann, J., Radini, A., Hancock, Y., Tito, R.Y., Fiddyment, S., Speller, C., Hendy, J., Charlton, S., Luder, H.U., Salazar-García, D.C., Eppler, E., Seiler, R., Hansen, L.H., Castruita, J.A.S., Barkow-Oesterreicher, S., Teoh, K.Y., Kelstrup, C.D., Olsen, J.V., Nanni, P., Kawai, T., Willerslev, E., von Mering, C., Lewis Jr., C.M., Collins, M.J., Gilbert, M.T.P., Ruhl, F., Cappellini, E., 2014. Pathogens and host immunity in the ancient human oral cavity. *Adv. online Publ. Nat. Genet.* 46 (4), 336–344.
- Zapata, L., 1995a. La excavación del depósito sepulcral Calcolítico de la cueva de Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). *La industria ósea y los elementos de adorno*. Munibe 47, 35–90.
- Zapata, L., 1995b. El yacimiento arqueológico de la cueva Pico Ramos (Muskiz, Bizkaia). *Cuadernos de Sección. Prehistoria-Arqueología* 6, 251–257.



# Anthropic resource exploitation and use of the territory at the onset of social complexity in the Neolithic-Chalcolithic Western Pyrenees: a multi-isotope approach

Izaskun Sarasketa-Gartzia<sup>1</sup> · Vanessa Villalba-Mouco<sup>2</sup> · Petrus Le Roux<sup>3</sup> · Álvaro Arrizabalaga<sup>1</sup> · Domingo C. Salazar-García<sup>3,4</sup>

Received: 13 October 2017 / Accepted: 25 July 2018  
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2018

## Abstract

Carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) stable isotope analyses from bone collagen provide information about the dietary protein input, while strontium isotopes ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) from tooth enamel give us data about provenance and potential territorial mobility of past populations. To date, isotopic results on the prehistory of the Western Pyrenees are scarce. In this article, we report human and faunal values of the mentioned isotopes from the Early-Middle Neolithic site of Fuente Hoz (Anuntzeta) and the Late Neolithic/Early Chalcolithic site of Kurtzebide (Letona, Zigoitia). The main objectives of this work are to analyse the dietary and territorial mobility patterns of these populations. Furthermore, as an additional aim, we will try to discuss social ranking based on the isotope data and existing literature on this topic in the region of study. Our results show that, based on the bioavailable Sr values, both purported local and non-local humans were buried together at the sites. Additionally, they suggest similar resource consumption based on  $\text{C}_3$  terrestrial resources (i.e. ovicaprids, bovids, and suids) as the main part of the protein input. Overall, this study sheds light on how individuals from different backgrounds were still buried together and shared the same “dietary lifestyle” at a time in the Prehistory of Iberia when social complexities started to appear.

**Keywords** Carbon, nitrogen, and strontium isotopes · Diet · Provenance · Territorial mobility · Neolithic · Chalcolithic · Iberian Peninsula

## Introduction

Information about different dietary patterns has been widely debated in Northern Iberia, especially focused on the Mesolithic/Neolithic transition (e.g. Arias 2005). However,

there is less literature on alimentation at post-Neolithic archaeological sites. One of the main reasons could be the scarcity of faunal remains available at funerary sites dated to those periods (Ontañón 2003). Additionally, other studies, such as those related to the material culture (lithic industries, the presence of materials used in farming, use-wear analyses, etc.), show the important role of plant foods, both in hunter-gatherer and agropastoralist diets. Unfortunately, these types of remains usually appear only in an indirect way (Zapata 2002).

Regarding the mobility of prehistoric groups, the dialectic about the use of megalithic chambered tombs and burial caves related to territorial patterns has been studied in detail (De Carlos-Izquierdo 1988). One of the traditional theories is based on the possibility that people buried of both local and non-local origin were buried together (Edeso-Fito and Mujika-Alustiza 2012). Megalithism is one of the most relevant characteristics of post-Neolithic funerary practices in Western Europe. However, in the last decades, it has been shown that this monumental phenomenon was not exclusive, but individuals in this period

✉ Izaskun Sarasketa-Gartzia  
Izaskun.sarasketa@ehu.eus

<sup>1</sup> Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea, C/Francisco Tomás y Valiente s/n, 01006 Vitoria-Gasteiz, Spain

<sup>2</sup> Grupo Primeros Pobladores del Valle del Ebro (PPVE), Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA), Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain

<sup>3</sup> Department of Geological Sciences, University of Cape Town, Upper Campus, University Avenue, Cape Town 7701, South Africa

<sup>4</sup> Grupo de Investigación en Prehistoria IT-622-13 (UPV-EHU)/ IKERBASQUE-Basque Foundation for Science, Vitoria-Gasteiz, Spain

used other sites for burials, such as caves or rock shelters (Ontañón and Armendariz 2005–2006). This casuistry has caused great interest in an attempt to explain possible differences among the individuals buried in the megalithic monuments and those found in caves or rock shelters. In the case of Northern Iberia, a slight overlap has been observed between the two funerary practices (Fernández-Crespo and Schulting 2017), suggesting a new hypothesis of territoriality and social ranking.

Prehistoric human remains from few archaeological sites have been analysed isotopically so far in Northern Iberia (Fig. 1). The most significant studies have been carried out in J3 (Arias 2005), Ondarre (Fernández-Crespo et al. 2016), Pico Ramos and Santimamiñe (Sarasketa-Gartzia et al. 2017), as well as La Poza l'Egua, Colomba, and Los Canes in Asturias, and Cotero de la Mina and La Garma A in Cantabria (Arias 2005). Elsewhere in Iberia, analyses have been carried out in Atlantic Iberia (e.g. Fontanals-Coll et al. 2016; Guiry et al. 2015; López-Costas et al. 2015), the Ebro Valley (e.g. Fernández-Crespo and Schulting 2017; Villalba-Mouco et al. 2017), Central Iberia (e.g. Alt et al. 2016; Salazar-García et al. 2013), and Mediterranean Iberia (e.g. Fontanals-Coll et al. 2015; Salazar-García et al. 2018).

Within the double aims of this research, firstly, we use isotope ratio analyses of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) in archaeological bone collagen in order to investigate past human diet (e.g. Le Bras-Goude 2011). Secondly, we use strontium isotope ratios ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) from tooth enamel to obtain potential information on where the analysed individuals spent their time during the formation of the specific dental piece studied (e.g. Bentley 2006).

Therefore, our study has three main goals: (1) to evaluate Neolithic and Chalcolithic dietary patterns; (2) to assess territorial mobility in Northern Iberia within a diachronic perspective; and (3) to evaluate possible differences among the individuals buried in caves or rock shelters and those found in megalithic monuments. For this, we have analysed both human and faunal remains from two archaeological sites in the Basque Country in the Western Pyrenees: Fuente Hoz, dated in the Early-Middle Neolithic (Anuntzeta, Araba-Álava), and Kurtzebide, corresponding to the Late Neolithic/Early Chalcolithic (Letona, Zigoitia, Araba-Álava). Finally, the new results from this study, together with other published data, are used to discuss the dialectic proposed by some authors regarding possible social ranking at the end of the Late Neolithic/Early Chalcolithic (Fernández-Crespo and Schulting 2017).

## Archaeological site description

Both of the analysed sites are located in the Basque province of Araba. Both consist only of diachronic burial levels, but

with a different burial structure. Fuente Hoz is a small funerary cave, and Kurtzebide is a megalithic chambered tomb.

### Fuente Hoz

Fuente Hoz is a small cave situated at 620 m.a.s.l. and less than 100 m away from Pobes village (Anuntzeta, Araba). Geographically, the site is located in the basin formed by the Baias River, which rises on the southern slope of Gorbea Mountain and joins the River Ebro at Miranda de Ebro. Fuente Hoz was discovered by F. Murga in 1979. In 1980, some members of the *Instituto Alavés de Arqueología* sifted the sediment from the demolition that affected the site. The first materials obtained were mainly lithic industries, a pottery fragment, and some badly preserved faunal remains (Baldeón 1983). Unfortunately, the extension of the original archaeological site remains unknown due to the mentioned demolition destroying a part of it. Dated to the Early-Middle Neolithic, the site has two levels (I and II).

The first one is divided into two sublayers (Fig. 2): (Ia) characterised by the amount of lithic industry (flint mainly) and two Neolithic burial levels (first level with MNI = 2; second level with MNI = 3) and (Ib) also characterised by the large amount of flint and the third Neolithic burial level (MNI = 1) (Baldeón et al. 1983:45). However, in the anthropological study, a MNI of 9 was determined (Basabe and Bennassar 1983: 78), but without specifying their levels.

The second level yielded a flint assemblage and was attributed to the Neolithic (Baldeón et al. 1983). Besides the human and faunal remains, more than 600 lithic pieces of wide typological variability were found; flint was the main raw material together with a few rock crystal and quartzite pieces. The flint tools include the following: micro burins, bordée micro blades, blacked blades, retouched flakes, triangles, trapeziums, and arrowheads. Some 65 very small potsherds were recovered, making it possible only to reconstruct partially an ovoid open pot. Three pieces of retouched bones were also found: two of them probably spatulas and the other an awl. Finally, a small limestone pendant was recorded (Baldeón et al. 1983). The archaeological assemblages found, together with the three available radiocarbon dates, suggest an Early-Middle Neolithic chronology.

### Kurtzebide

Kurtzebide archaeological site is located in Letona, Zigoitia (Araba), on the northeast border of the Arrato mountain range. The megalith, at 570 m.a.s.l., is on the upper right edge of a depression created by the sediments of the Zaia River. F. Murga reported the discovery of the site in 1977 when he realised that there were some slabs forming the tumulus near the road from Vitoria-Gasteiz to Murgia. He collected some materials from among the slabs and deposited them in the



**Fig. 1** Location of the archaeological sites analysed and mentioned in the text from the area of study

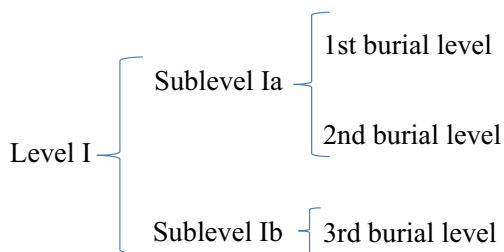
*Museo Provincial de Álava*. As a result of the imminent works on the road (A-68), in 1978, an emergency excavation was initiated. The site was divided into four sections according to the cardinal points north-south and east-west. After that, it was seen that what at first had seemed to be bedrock was, actually, a big fallen slab. The sequence consisted of three depositional layers dated to the Late Neolithic/Early-Middle Chalcolithic period (Table 1). The most recent layer was characterised by some rocks without any order. The second layer was defined by loose stones and without archaeological materials. The third layer was the actual archaeological deposit, and it is in this layer that faunal and all the human remains (MNI = 6) were found (Vegas 1981). Apart from the human and faunal remains, which will be explained later, some microfauna and lithic remains were recovered. Out of 117 flint pieces, only 25 were retouched; for example, six triangles, one trapezoid, one

arrowhead, and five blades. In the bone assemblage, two pieces of an ovicaprid tibia were associated with an idol typology. Additionally, a green pendant, a total of 111 slate beads, several remains of sandstone, rock crystal, and a perforated and smoothed jet object were found (Vegas 1981). Finally, potsherds came from different parts of the pots: rims, necks, bodies, and bases, including two pieces with impressed decorations. All these materials, together with the radiocarbon date, point to a Late Neolithic/Early-Middle Chalcolithic chronology.

## Isotopic studies

### Carbon and nitrogen analysis

The stable isotope ratios of carbon and nitrogen have proved to be a useful tool to reconstruct past dietary patterns (e.g. Makarewicz and Sealy 2015). This method is based on the premise that “we are what we eat” (DeNiro and Epstein 1978, 1981; Schoeninger and DeNiro 1984), meaning that the analysed human tissues reflect the values of the consumed resources after a predictable isotopic fractionation ( $\delta^{13}\text{C}$  values vary between ca. 0 and ‰ and the  $\delta^{15}\text{N}$  values increase between ca. 3 and 5‰ from food to consumer) (Schoeller 1999). Several recent studies, however, suggest the increase of nitrogen stable isotope ratio values through



**Fig. 2** Organisation of burial levels in Fuente Hoz (modified from Baldeón et al. 1983)

**Table 1** Radiocarbon dates from Kurtzebide and Fuente Hoz archaeological sites. Calibrated using OxCal v4.2.4 (Bronk Ramsey and Lee 2013) and IntCal 13 atmospheric curve (Reimer et al. 2013)

Archaeological site	Level	Lab code	Chronology	<sup>14</sup> C age BP	CalBP (2σ) data	Material	Reference
Fuente Hoz	II level	I-12,084	Early Neolithic	6120 ± 280	6669–7278	Bone	Baldeón et al. 1983
Fuente Hoz	Ib level (3rd burial level)	I-11,589	Middle Neolithic	5240 ± 110	5908–6167	Bone	Baldeón et al. 1983
Fuente Hoz	Ia level (2nd burial level)	I-11,588	Middle Neolithic	5160 ± 110	5778–6088	Bone	Baldeón et al. 1983
Kurtzebide	3rd level	I-10,826	Late Neolithic-Chalcolithic	4445 ± 95	4939–5247	Bone	Vegas 1981

fractionation could be higher (Hedges and Reynard 2007; O'Connell et al. 2012). Although other skeletal substrates, such as bone apatite (e.g. Tieszen and Fagre 1993) and dental calculus (e.g. Salazar-García et al. 2014b), have been used and evaluated as dietary markers, collagen is still the preferred material for this type of analysis since it allows both isotopes to be studied and has internationally accepted quality controls to evaluate the degree of diagenesis (e.g. Van Klinken 1999).

The  $\delta^{13}\text{C}$  is related to the carbon bio-geo-chemical cycle, discriminating between  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  plants (Van der Merwe 1982). However, for the chronology and geographical zone of study,  $\text{C}_4$  plants were almost non-existent. This is because this type of plant is mainly from tropical ecosystems (Vogel and Van der Merwe 1977). Since the weather in the region is defined as oceanic (López-Davalillo 2014), carbon isotope ratio analysis is mainly useful for discriminating the consumption of terrestrial and marine resources (e.g. Arias 2005). Also, in this context, it must be noted that consumption of brackish and estuarine fish could yield lower  $\delta^{13}\text{C}$  values than expected as observed in Mediterranean prehistoric sites (Salazar-García et al. 2014a). On the other hand,  $\delta^{15}\text{N}$  values vary depending on the complexity of the trophic chain (DeNiro and Epstein 1981). Marine ecosystems tend to display more complex trophic level arrangements than terrestrial ones and therefore are related to overall higher levels of  $\delta^{15}\text{N}$  (Minawaga and Wada 1984).

For a better interpretation of isotopic results, we must take into consideration several issues. Firstly, since carbon and nitrogen values of bone collagen reflect dietary protein input, we must acknowledge that plant consumption is usually masked by meat consumption due to the significant different amount of absorbable proteins in the tissues (Richards et al. 2003). Secondly, in the case of infantile remains, nitrogen values could be higher because of a breast-feeding and weaning effect (Fuller et al. 2004). Finally, stable isotope results on bone collagen reflect diet in the last years of an individual's life, with the average time varying according to the bone element used in the analyses (Hedges et al. 2007).

### Strontium isotopes

Strontium isotope ratio analyses of archaeological enamel have provided useful results by characterising past animal migrations (e.g. Britton et al. 2009), human provenance (e.g.

Strauss et al. 2015), and territorial mobility patterns (e.g. Goude et al. 2012). Strontium isotope ratio values depend on the isotopic proportions ( $^{87}\text{Sr}$  to  $^{86}\text{Sr}$ ) existing in different geological areas (Copeland et al. 2010). The  $^{87}\text{Sr}$  in rock is derived from the decomposition of rubidium ( $^{87}\text{Rb}$ ), and more ancient rocks display higher levels of  $^{87}\text{Sr}$  as a result of  $^{87}\text{Rb}$  decomposition. Taking this process into account, the values of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vary in each geological zone on Earth (between 0.700 and 0.750) (Bentley 2006). These ratios are conveyed by the weathering of rock, through the soil, into the food chain and, ultimately, into human tissues (in this case tooth enamel), with minimal isotopic fractionation.

Tooth enamel was used in this study because there is no remodelling once formed, and because it is more resistant to Sr diagenetic incorporation than other skeletal tissues (Bentley and Knipper 2005). This allows the possibility of tracking individual mobility during time, by analysing enamel from different teeth with a well-known development and eruption time pattern (Hillson 1996). Effects such as weathering, sea spray effect, hydrological cycles, biopurification, and diagenesis will also affect the ultimate bioavailable Sr ratio in a specific location and should be thus considered when designing the geological sampling strategy and discussing the interpretation (Bentley 2006; Slovak and Paytan 2012). In the same way, the bioavailable strontium data have been obtained with the aim of determining the strontium isotopic ratio in each area that is directly available for consumption (Price et al. 2002). Thanks to the mentioned incorporation of the bioavailable strontium values in humans during enamel mineralisation, this information can be used to provide evidence about provenance and territorial mobility, based on the idea of matching the isotopic signatures from an individual to the biologically-available signature at a suspected location of origin.

### Materials and methods

#### Archaeological remains from Fuente Hoz and Kurtzebide

Different sampling strategies have been followed according to the different methodologies carried out in this study. For



carbon and nitrogen isotope ratio analysis, human bones from Fuente Hoz ( $n = 7$ ) and Kurtzebide ( $n = 10$ ), as well as faunal remains (two *Cervus elaphus* from Fuente Hoz and one Ovicapridae from Kurtzebide) were sampled. For strontium isotope ratio analysis, M2 enamel from human teeth also from these two sites ( $n = 7$  and  $n = 8$  respectively) was sampled.

At Fuente Hoz, even though there are no complete skeletal pieces due to explosions during the road works, the anthropological study provided more details and was more helpful for designing the sampling strategy (Basabe and Bennassar 1983). A MNI of 9 was established taking into account the most abundant bones (humerus, radius, and femur). However, for this study, and in order to have a secure association of teeth and bones analysed from same individuals, we have only sampled skulls and their associated mandibles (Fig. 3). This way, C, N, and Sr isotope ratio values were obtained for each individual.

In the case of Kurtzebide, the MNI is 6 (Vegas 1981): five adults and one child. Because of the poor preservation of the remains as well as the fact that they were all comingled, it was decided to sample more bones than the 6 MNI from different parts of the tumulus and the cist to potentially avoid as far as possible the duplication of values from same individuals.

To determine the range of bioavailable strontium from the immediate surroundings of both sites, 20 samples of modern plants and snails (Table 2) were collected. Both modern plants and snail shells (*Helix aspersa*) were analysed to average the local bioavailable strontium from two different materials in order to avoid potential discrepancies (e.g. Evans et al. 2009; Maurer et al. 2012). For Fuente Hoz, we sampled *Quercus ilex*, *Pinaceae*, *Rosaceae*, *Thymus*, and *Poaceae*. At Kurtzebide, the plants taken were *Q. ilex*, *Pinaceae*, *Rosaceae*, *Juniperus*, and *Poaceae*. The selection of herbs, bushes, and trees aimed to determine the real average, due to the different depths of their roots and therefore the different water intake and bedrock perforation.



Fig. 3 Example of Fuente Hoz mandible sample

## Bone sample preparation and CN isotope ratio analysis

Bone collagen extraction and analysis were carried out at the isotope-dedicated facilities of the University of Cape Town (South Africa). Firstly, between 300 and 500 mg of bone chunks were sampled and superficial contaminants were removed by mechanical abrasion. After this, collagen extraction proceeded following the Longin method (Longin 1971). This method has been modified by Brown et al. (1988) with an additional ultrafiltration step (Salazar-García et al. 2014a): (1) Each sample was demineralised in 0.5M HCl solution at 5 °C; (2) samples were rinsed with deionised water until pH became neutral; (3) samples were gelatinized using a heater block (FMH instruments, South Africa) at 70 °C during 48 h; (4) samples were filtered with 5-mm Ezee-filters (Elkay, UK) and ultrafiltered using > 30-kDa Amicon ultrafilters (Amicon, Germany) in a centrifuge (Thermo Fisher Megafuge 16, USA) at 2500 rpm; and (5) the solution was frozen and lyophilized. Once the collagen was extracted, ca. 0.5 mg was weighed into tin capsules and run in the mass spectrometers. All samples were analysed in duplicate (standard deviation among duplicate samples for carbon and nitrogen and among the repetitive measurements of in-house and international standards [ $1\sigma$ ] < 0.1‰), using a Delta plus XP continuous-flow isotope ratio mass spectrometer (Thermo Fisher Scientific, USA) after being combusted in a Flash EA 1112 elemental analyser that was interfaced with it (Thermo-Finnigan, USA). Repeated analysis of internal and international standards determined an analytical error better than 0.1‰ [ $1\sigma$ ] for  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ . Stable carbon isotope ratios were expressed relative to the VPDB scale (Vienna PeeDee Belemnite), and stable nitrogen isotope ratios were measured relative to the AIR scale (atmospheric  $\text{N}_2$ ), using the delta notation ( $\delta$ ) in parts per thousand (‰).

## Enamel and modern sample preparation and Sr isotope ratio analysis

All the samples presented here were prepared and analysed at the isotope-dedicated facilities of the University of Cape Town (South Africa). Depending on the type of material, the sample preparation process was different:

- (1) Modern snail shells were manually cleaned (using distilled water and disposable brushes) to remove possible contamination agents, before ultrasonication with Milli-Q water. Then, they were taken in Eppendorf tubes to the specific clean chemistry laboratory for the digestion process: ca. 25–50 mg of each sample was taken and placed in 7-ml Teflon beakers, adding 2 ml of 65%  $\text{HNO}_3$ . These were left on a hot plate at 140 °C overnight. After that, 1-ml 2-M  $\text{HNO}_3$  was added and they were again placed on the hot plate at the same temperature.

**Table 2** Carbon and nitrogen isotopes results for Fuente Hoz and Kurtzebeide.  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ mean values and collagen quality parameters (%C, %N, and C:N) of the two measurements analysed for each sample. List of fossil and modern analysed samples from Fuente Hoz and Kurtzebeide with  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  results. Concentrations have been only made in fossil samples to check the state of preservation

Archaeological site	Chronology	Bone sample (S-UCT)	Species <sup>b</sup>	Inventory number (bone sample)	Bone type	Corresponding enamel sample (S-UCT)	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	%C	%N	C:N
Fuente Hoz	Early-Middle Neolithic	18652	Human (male, 20 years)	FH. Skull 1 (Sublayer Ia)	Long bone	18225	-19.9	8.5	36.4	12.3	3.5
Fuente Hoz	Early-Middle Neolithic	18653	Human (male, 40 years)	FH. N1. Z38. A2. C3 (Sublayer Ia)	Mandible	18219	-19.6	9.3	35.2	12.1	3.4
Fuente Hoz	Early-Middle Neolithic	18654	Human (possible female, 20 years)	FH. Z7. N1. L3 (Sublayer Ia)	Long bone	18224	-19.5	9	41.2	14	3.4
Fuente Hoz	Early-Middle Neolithic	18655	Human (male, 40 years)	FH. N1. A2. C4 (Sublayer Ia)	Skull	18221	-19.8	8.3	40.5	14.1	3.4
Fuente Hoz	Early-Middle Neolithic	18656	Human (male, 40 years)	FH. Z2.N1.L2 (Sublayer Ia)	Rib	18220	-20	9.4	30	10	3.5
Fuente Hoz	Early-Middle Neolithic	18657	Human (male, 20 years)	FH. Z2.N1.Z50 (Sublayer Ia)	Skull	18223	-19.5	9.5	43.4	15.1	3.4
Fuente Hoz	Early-Middle Neolithic	18658	Human (male, 20 years)	FH. A2.N1.110. 64 (Sublayer Ib)	Vertebra	18222	-19.6	9.3	39.8	14.2	3.3
Kurtzebeide	Late Neolithic-Chalcolithic	18642	Human (> 20 years)	TBI.15A	Mandible	18228	-19.9	8.4	38.6	13.5	3.3
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18643	Human (> 20 years)	TBI.42B	Mandible	18231	-19.8	9	40.3	14.3	3.3
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18644	Human (> 20 years)	TBI.51	Rib	18232	-20.3	9.4	40.4	13.9	3.4
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18645	Human (> 20 years)	TBI.58	Rib	18233	-20.1	9.1	42.5	14.8	3.3
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18646	Human (> 20 years)	TBI.64	Rib	-	-20.1	8.7	38.5	13.2	3.4
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18647	Human (> 20 years)	TBI.11	Rib	18226	-20	9	38.1	13.3	3.4
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18648	Human (> 20 years)	TBI.18	Rib	18230	-20	9	40.7	14.4	3.3
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18649	Human (> 20 years)	TBI.49	Skull	-	-20.3	8.6	32.2	11.2	3.4
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18650	Human (> 20 years)	TBI.16	Vertebra	18229	-19.9	9.4	41.3	14.4	3.4
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18651	Human (> 20 years)	TBI.14	Skull	18227	-20	8.7	38.6	13.7	3.3
Fuente Hoz	Early-Middle Neolithic	18659 <sup>a</sup>	<i>Cervus elaphus</i>	FH. A2.N1.18.228. L1. 11	Long bone	-	-20.9	3.6	29.7	9.2	3.8
Fuente Hoz	Early-Middle Neolithic	18660	<i>Cervus elaphus</i>	FH. Z2. L8. 616. L1.11	Long bone	-	-20.3	4.5	40.8	13.9	3.4
Kurtzebeide	Late Neolithic- Chalcolithic	18641	Ovicapridae	TBI.54	Mandible	-	-21.1	2.3	41.6	14.5	3.4
Site	Sample (S-UCT)	Material	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr concentration (ppm)	Sr (V)						
Fuente Hoz	18078	<i>Quercus ilex</i>	0.70800	-	7.6						
Fuente Hoz	18079	<i>Pinaceae</i>	0.70878	-	7.8						
Fuente Hoz	18080	<i>Rosaceae</i>	0.70826	-	8.1						
Fuente Hoz	18081	<i>Thymus</i>	0.70816	-	8.2						
Fuente Hoz	18082	<i>Poaceae</i>	0.70801	-	8.9						
Fuente Hoz	18179	<i>Helix aspersa</i>	0.70761	-	8						
Fuente Hoz	18180	<i>Helix aspersa</i>	0.70763	-	8.9						
Fuente Hoz	18181	<i>Helix aspersa</i>	0.70764	-	10.1						
Fuente Hoz	18182	<i>Helix aspersa</i>	0.70768	-	9.4						
Fuente Hoz	18183	<i>Helix aspersa</i>	0.70754	-	9.7						
Fuente Hoz	18219	<i>Homo sapiens-M2</i>	0.71142	96.7	6.9						

**Table 2** (continued)

Fuente Hoz	18220	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70787	156.1	0.05656	10.3
Fuente Hoz	18221	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.71217	123.6	0.05658	8
Fuente Hoz	18222	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70830	203.8	0.05653	8
Fuente Hoz	18223	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70869	256.4	0.05655	9.1
Fuente Hoz	18224	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70829	265.6	0.05655	9.2
Fuente Hoz	18225	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.71164	89.9	0.05658	8.1
Kurtzebide	18083	<i>Quercus ilex</i>	0.70775	—	0.05657	9.7
Kurtzebide	18084	<i>Pinaceae</i>	0.70761	—	0.05656	7.5
Kurtzebide	18085	<i>Rosaceae</i>	0.70769	—	0.05655	8.2
Kurtzebide	18086	<i>Juniperus</i>	0.70773	—	0.05656	7.4
Kurtzebide	18087	<i>Poaceae</i>	0.70787	—	0.05647	8.5
Kurtzebide	18184	<i>Helix aspersa</i>	0.70755	—	0.05655	8.2
Kurtzebide	18185	<i>Helix aspersa</i>	0.70752	—	0.05655	7.8
Kurtzebide	18186	<i>Helix aspersa</i>	0.70751	—	0.05651	7.7
Kurtzebide	18187	<i>Helix aspersa</i>	0.70749	—	0.05658	6.6
Kurtzebide	18188	<i>Helix aspersa</i>	0.70754	—	0.05658	9.4
Kurtzebide	18226	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70977	119	0.05658	7.7
Kurtzebide	18227	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70824	140.3	0.05658	7.7
Kurtzebide	18228	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70844	142.4	0.05654	7.9
Kurtzebide	18229	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70831	175.3	0.05658	8.7
Kurtzebide	18230	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70899	148.8	0.05657	8.1
Kurtzebide	18231	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70887	81.6	0.05656	7.9
Kurtzebide	18232	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70836	122.9	0.05656	8
Kurtzebide	18233	<i>Homo sapiens</i> -M2	0.70800	124.6	0.05655	6.5

<sup>a</sup> Sample not meeting quality standards

<sup>b</sup> The anthropological information of Kurtzebide was obtained from Vegas (1981). Due to the bad preservation of the remains, it has been concluded that all the samples correspond to individuals of more than 20 years without sex determination, with the exception of an individual of 8–9 years. In the case of Fuente Hoz, human remains have been obtained following the research carried out by Basabe and Bennassar (1983)

Finally, 2-ml 2-M HNO<sub>3</sub> was added and, from this solution, 1.5-ml was centrifuged for 20 min at 4000 rpm in centrifuge tubes. This 1.5-ml sample was the solution used to isolate the strontium, through chemical separation using 0.2 ml of Sr. Spec resin in Bio-Spin Disposable Chromatography Bio-Rad columns according to the method of Pin et al. (1994).

- (2) The process to prepare plants was similar. Firstly, they were ashed (e.g. Copeland et al. 2016; Salazar-García 2011; Snoeck et al. 2016); each sample was crushed and placed in ceramic bowls, which were placed in a muffle furnace at 650 °C. Resultant ashes were carried to the previously mentioned clean laboratory, where they were weighed in 7-ml Teflon beakers and dissolved in 2 ml of a 3:1 mixture of 48% HF and 65% HNO<sub>3</sub> for 48 h at 140 °C. After digestion, the solution was dried down and redissolved in 1 ml of 65% HNO<sub>3</sub>. The next steps were the same as those followed to process the snail shells, beginning with the overnight evaporation of the acid at 140 °C.
- (3) Archaeological human enamel samples were taken after the tooth surface was cleaned using a Dremmel-tool fitted with a diamond-polishing head that was cleaned with Milli-Q water and an ultrasound bath after each use. Then, a diamond saw was used to take ca. 20 mg of enamel chunk from the upside to the downside, in order to sample the average of the mineralisation time of the tooth enamel, removing all dentine attached to it. This was then digested in HNO<sub>3</sub>, and the Sr concentration levels were calculated to check for any possible diagenesis contamination. After that, the samples were analysed following the same method as described above (Pin et al. 1994), starting by adding 2 ml of 65% HNO<sub>3</sub>.

The separated strontium fraction for each sample was dried down, dissolved in 2-ml 0.2% HNO<sub>3</sub>, and diluted to 200-ppb Sr concentrations for isotope analysis using a Nu Instruments NuPlasma HR MC-ICP-MS. Analyses were referenced to bracketing analyses of NIST (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA) SRM987, using an <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr reference value of 0.710255. All strontium isotope data are corrected for isobaric rubidium interference at mass 87 using the measured signal for <sup>85</sup>Rb and the natural <sup>85</sup>Rb/<sup>87</sup>Rb ratio. Instrumental mass fractionation was corrected using the measured <sup>86</sup>Sr/<sup>88</sup>Sr ratio and the exponential law and a true <sup>86</sup>Sr/<sup>88</sup>Sr value of 0.1194. Results for repeat analyses of an in-house carbonate standard processed and measured with the batches of unknown samples in this study (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 0.70894; 2 sigma 0.00004; *n* = 33) are in agreement with long-term results for this in-house standard (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 0.70892; 2 sigma 0.00005; *n* = 125).

## Results

### Carbon and nitrogen isotope ratio results

The stable isotope ratio analysis results ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , ‰C, ‰N, C:N) of human and faunal remains from the sites of Fuente Hoz and Kurtzebide are shown in Table 2.

#### Fuente Hoz

It was possible to analyse the > 30-kDa collagen fraction from all samples (*n* = 7 humans, *n* = 2 faunal remains). Enough good quality collagen was obtained from all human samples to analyse them in duplicate. One faunal remain yielded enough collagen for only one run, but achieved the quality collagen controls mentioned before (Ambrose 1993; Van Klinken 1999). The other faunal remain (S-UCT 18659) did not meet the collagen quality controls and is therefore omitted from the discussion of the results.

The one acceptable faunal remain belongs to a *Cervus elaphus* ( $\delta^{13}\text{C}$  of  $-20.3\text{‰}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $4.5\text{‰}$ ). This value portrays a typical terrestrial C<sub>3</sub> environment. Human sample results gave a mean value of  $\delta^{13}\text{C}$  of  $-19.7 \pm 0.2$  [ $1\sigma$ ] ‰ (*n* = 7, min  $-20\text{‰}$ , max  $-19.5\text{‰}$ ) and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $9 \pm 0.5$  [ $1\sigma$ ] ‰ (min  $8.3\text{‰}$ , max  $9.5\text{‰}$ ). These values show protein consumption based on C<sub>3</sub> terrestrial resources and situate humans on a higher trophic level than herbivores (ca. 5‰ higher). Unfortunately only two faunal remains were available from the site for sampling, from which only one yielded good collagen for analysis, so the faunal background does not allow for more detailed interpretation of the results.

#### Kurtzebide

The yield of the > 30kDa collagen fraction was enough for analysis in duplicate of all samples (*n* = 10 humans, *n* = 1 faunal remain). Almost all results met the accepted quality controls for ‰C, ‰N, and C:N elemental ratio (Ambrose 1993; Van Klinken 1999).

The faunal remain analysed from Kurtzebide is an herbivore (Ovicapridae). Its values are  $\delta^{13}\text{C}$  of  $-21.1\text{‰}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $2.7\text{‰}$ , showing typical values of a C<sub>3</sub> type terrestrial ecosystem at the herbivore level (e.g. Fontanals-Coll et al. 2015; Van der Merwe and Vogel 1978). The human remains gave a mean  $\delta^{13}\text{C}$  of  $-20 \pm 0.3$  [ $1\sigma$ ] ‰ (*n* = 10, min  $-20.3\text{‰}$ , max  $-19.8\text{‰}$ ) and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $9.1 \pm 0.3$  [ $1\sigma$ ] ‰ (min  $8.6\text{‰}$ , max  $9.5\text{‰}$ ). These data are also in agreement with an overall protein consumption of C<sub>3</sub> terrestrial resources (Fig. 4). The human  $\delta^{15}\text{N}$  values indicate that humans were on a higher trophic level than the analysed fauna (approximately 6‰ higher than the fauna remain analysed).

## Strontium results

The strontium isotope analysis results ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , Sr concentration (ppm),  $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , Sr (V)) of human and modern remains from the sites of Fuente Hoz and Kurtzebide are shown in Table 2.

### Fuente Hoz

Fuente Hoz is located in an area with a Cenozoic substrate from the Lower Miocene, and the bedrock consists mainly of calcareous conglomerates with occasional intercalations of calcareous sandstones and siltstones. The bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values of modern plant samples ( $n = 5$ ) give a mean of  $0.70798 \pm 0.00019$  [ $1\sigma$ ] (min 0.70754, max 0.70878), and those of snail shell samples ( $n = 5$ ) give a mean of  $0.70762 \pm 0.00005$  [ $1\sigma$ ]; overall, the bioavailable Sr range is of  $0.70776 \pm 0.00022$  [ $1\sigma$ ] ( $n = 10$ ). As we can see in Table 2, some of the analysed human individuals ( $n = 7$ ) have values that fall outside the bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  range. Three of the human individuals (S-UCT 18219, 18221, and 18225) show the highest discrepancy compared to the bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  range. When comparing the average of the humans bioavailable range of  $0.70977 \pm 0.00188$ ; to these, three samples, they fall outside this range (S-UCT 18220, 18221, 18225).

### Kurtzebide

Modern plants and snail shells ( $n = 10$ ) were collected to calculate the range of bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in the Upper Cretaceous substrate with bedrock formed by limestone and marly limestone in decametric and metric beds on which the archaeological site is located (Fig. 5). The overall values are of  $0.70776 \pm 0.00012$  [ $1\sigma$ ] (min 0.70754, max 0.70787), as shown in Fig. 6 (mean of  $0.70772 \pm 0.00009$  [ $1\sigma$ ] for plants, and  $0.70751 \pm 0.00002$  [ $1\sigma$ ] for snails). Human enamel ( $n = 8$ ) values show a range of  $0.70862 \pm 0.00057$ . One of the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  human values

(S-UCT 18226) differs significantly from the mentioned bioavailable range with a  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  value of 0.70977 (Fig. 6). The results from the other human samples display  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values ranging between 0.70800 and 0.70899, with a mean value of  $0.70846 \pm 0.00035$  [ $1\sigma$ ]. Using the average of the human values (the range is  $0.70862 \pm 0.00057$ ) sample S-UCT 18233 falls outside the local range, as well as S-UCT 18226.

## Discussion

Bearing in mind that because of archaeological limitations the number of samples is low, the discussion of the data must be made with caution. However, data available from previous studies in nearby regions will be compiled and discussed together with the new results presented here.

The isotopic dietary reconstruction from Fuente Hoz and Kurtzebide shows a homogeneous human protein diet based on  $\text{C}_3$  terrestrial resources despite chronological and cultural differences between the two sites. All humans analysed are placed clearly on a higher food chain trophic level than the few herbivores analysed (ca. 5–6‰ higher in  $\delta^{15}\text{N}$ ). Due to the small number of analysed species and samples, this observed offset should be taken with caution. This difference in  $\delta^{15}\text{N}$  values between the fauna and humans could mean that the latter based their protein diet on terrestrial animals. The low fauna sample number makes it impossible to know whether there were domestic or wild animals, even if for similar chronologies high  $\delta^{15}\text{N}$  human values have been sometimes linked to the consumption of domestic herbivores fed by composted fodder (e.g. Fontanals-Coll et al. 2015; Salazar-García 2011; Villalba-Mouco et al. 2017). However, it could also be partially linked to the consumption of foods with higher nitrogen levels such as crops and legumes grown on land fertilised with animal manure or animals that fed on them (Bogaard et al. 2007). Referring to the landscape, the natural vegetation was greatly disturbed by human activities in the study area from the Neolithic onwards, as shown by the pollen

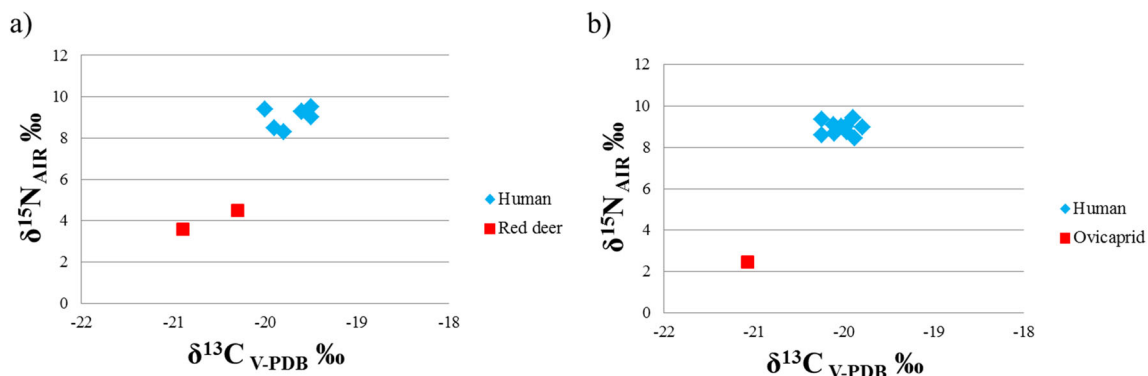
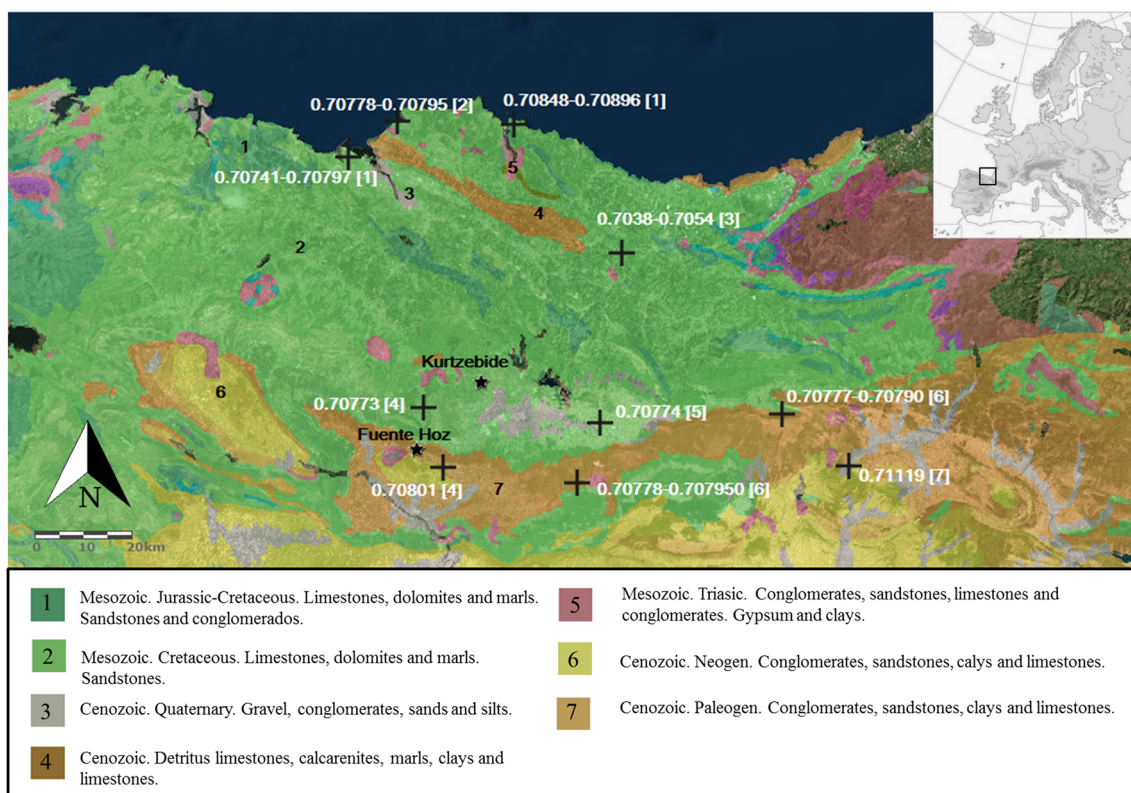


Fig. 4 Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values of human and animal remains from (a) Fuente Hoz and (b) Kurtzebide



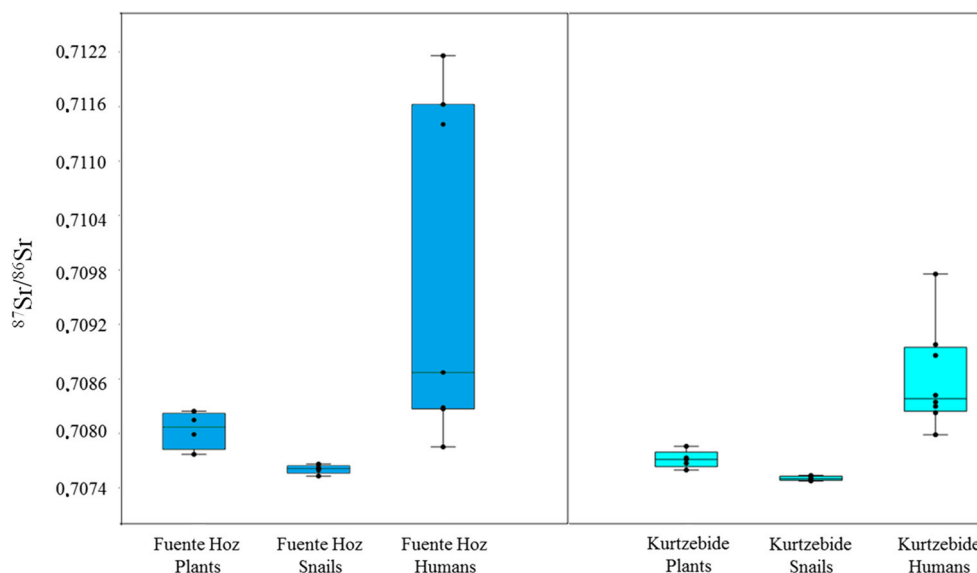
**Fig. 5** Geological map of the region of study. The crosses indicate the bioavailable sampling areas, the stars correspond to the archaeological sites of Kurtzebide and Fuente Hoz. (source: [mapas.igme.es/gis/services/Cartografia\\_Geologica](https://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Geologica))

record (Iriarte-Chiapusso and Zapata 2004). This reflects an open landscape with Mediterranean vegetation (*Quercus* sp. *ilex-coccifera*, *Cupressaceae*, *Oleaceae*) and a progressive fall in humidity, with the presence of the first cultivated species (*Triticum dicoccum* and *Hordeum vulgare*) (Pérez-Obiol et al. 2011).

Zooarchaeology is able to shed a little more light on dietary patterns linked to animal exploitation, as has been done before

to complement low numbers of faunal samples in isotope studies (e.g. Fraser et al. 2013). In the case of Fuente Hoz, except for two remains of ovicaprid, all the other faunal remains found in the site were of wild animals. Unfortunately, leaving aside the *Cervus elaphus* sample, all other wild animal remains were burnt and therefore not eligible for the isotope background of the site. Even so, the presence of wild animals suggests that hunting was still important at a time in which

**Fig. 6** Plot of strontium isotope ratio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) results for Fuente Hoz and Kurtzebide. Boxes represent median value, 1st and 3rd quartiles; whiskers are 1.5 times the interquartile range



domesticated animals were abundant (Altuna 1980). For Kurtzebeide, the situation is not better because only the analysed ovicaprid remain and three *Bos taurus* molars were found at the site (Mariezcurrera 1983; Vegas 1981). Fortunately, in this case, isotopic values of faunal remains are available for the nearby and chronologically contemporary archaeological sites of Los Husos I, Peña Larga, El Sotillo, Alto de la Huesera, and Chabola de la Hechicera. More specifically, results for *Ovis aries/Capra hircus* ( $n = 11$ ) ( $\delta^{13}\text{C}$  of  $-20.6 \pm 0.3$  [1 $\sigma$ ] $\%$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $5.2 \pm 1.3$  [1 $\sigma$ ] $\%$ ), *Bos taurus* ( $n = 5$ ) ( $\delta^{13}\text{C}$  of  $-20.6 \pm 0.5$  [1 $\sigma$ ] $\%$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $5.1 \pm 1.2$  [1 $\sigma$ ]), *Cervus elaphus* ( $n = 2$ ) ( $\delta^{13}\text{C}$  of  $-20.2 \pm 0.5$  [1 $\sigma$ ] $\%$ , and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $5 \pm 2$  [1 $\sigma$ ] $\%$ ), *Sus domesticus* ( $n = 4$ ) ( $\delta^{13}\text{C}$  of  $-20.6 \pm 0.6$  [1 $\sigma$ ] $\%$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $5.6 \pm 2.5$  [1 $\sigma$ ] $\%$ ), and finally, one *Sus scrofa* sample ( $\delta^{13}\text{C}$  of  $-20.7\%$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of  $6.7\%$ ) (Fernández-Crespo and Schulting 2017). These results match the  $\delta^{13}\text{C}$  value obtained in the present study, whereas the mean  $\delta^{15}\text{N}$  value of *Ovis aries/Capra hircus* is higher than in our study.

Other than roughly discuss diet from a population perspective, little can be said about individual differences among the humans analysed from each site, other than they cluster together quite well. It is not possible to discuss potential slight differences between sexes because of the limited number of sexed individuals (none for Kurtzebeide and only a probable female [Basabe and Bennassar 1983] from Fuente Hoz). As regards the age of the individuals, the identified young adults (ca. 20 years) and adults (ca. 40 years) cluster together, although due to the scarce anthropological information further detail is not possible.

Regarding differences between populations at the two sites, non-parametric Mann-Whitney statistical tests show significant differences in  $\delta^{13}\text{C}$  human values between Kurtzebeide and Fuente Hoz ( $p$ : 0.007), but not in  $\delta^{15}\text{N}$  values ( $p$ : 0.567). As these sites are not contemporary to each other, the differences could be a consequence of the different ecosystems in each period rather than the diet, as observed in recent research (Villalba-Mouco et al. 2018). Unfortunately, it is not possible to check this due to the scarce faunal remains. We can only add that the faunal remains at Kurtzebeide have lower carbon values, as well as the mean human value (Fig. 4b).

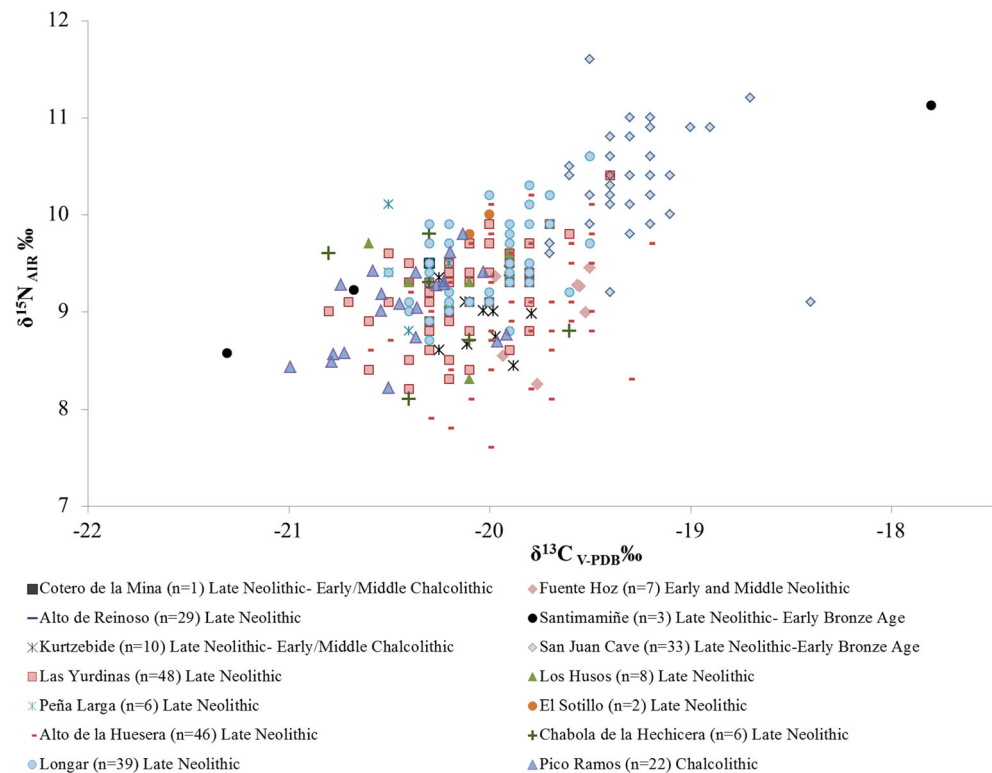
When this new data is compared to previously published data on Neolithic and Chalcolithic humans in Northern Iberia (Fig. 7), it can be observed how they all display a similar isotopic dietary pattern with no evidence of marine protein consumption, as shown in Table 3, even if the sites are close to the Atlantic coast (e.g. Arias 2005; Sarasketa-Gartzia et al. 2017). Likewise, in Atlantic Europe, there is no isotopic evidence of marine resource consumption once the Neolithic period started. The progressive abandonment of marine resources appears even in coastal populations, where there was a marked shift in  $\delta^{13}\text{C}$  to lower values interpreted as a change

in dietary pattern, from marine to terrestrial resources, at the onset of the Neolithic (e.g. Bonsall et al. 2002; Schulting and Richards 2002). This trend has been observed in the British Isles (e.g. Richards et al. 2003), Atlantic France (e.g. Le Bras-Goude et al. 2013), Portugal (e.g. Waterman et al. 2016), and Denmark (e.g. Fischer et al. 2007). What has been questioned is whether this shift from Mesolithic to Neolithic diet on the Atlantic seaboard was as sharp and quick as previously thought (Milner et al. 2004).

When combining CN isotope ratio results with Sr isotope results, it is possible to assess archaeological questions other than diet, such as those of provenance. In our case, we can see that some human enamel Sr isotope ratio values differ from most of the studied population and from the immediate bioavailable area around each site. This means that “non-local” individuals spent at least a part of their childhood elsewhere. The geological areas south of the archaeological sites of Kurtzebeide and Fuente Hoz correspond to more recent periods, such as the Paleogene, Neogene, and Quaternary (Fig. 5). However, there are older geological areas to the north and west of the sites (Triassic and Jurassic), and we can correlate some of the “non-local”  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  results (S-UCT 18223, 18229, and 18231) with the bioavailable strontium data obtained previously from the coast of Bizkaia (Sarasketa-Gartzia et al. 2017). On the other hand, it is difficult to specify the possible origins in detail, although the results from the easternmost sampled point show higher strontium values. Additionally, we should take into account the possibility that the number of non-local individuals is higher but undetectable isotopically if they came from regions with the same bioavailable strontium isotope values as those in the immediate surroundings of the site.

The presence of “non-local” individuals, if those with Sr values outside the immediate bioavailable range of the site can be considered “non-local” (Fig. 6), suggests the split of the funerary area from the settlement. This presence of “non-locals” might also mean that several communities living in different settlements shared a common burial space in the Late Neolithic/Chalcolithic (Kurtzebeide) and especially in the Early-Middle Neolithic (Fuente Hoz). Whether this was the case or not, the absence of differences in carbon and nitrogen isotope ratio values between “locals” and “non-locals” suggests that there were no main dietary differences and the different communities accessed the same food resources. The burial of non-local individuals together with local people has been a common practice throughout time and space (e.g. Sarasketa-Gartzia et al. 2017; Villalba-Mouco et al. 2017). It is often related to social (e.g. female exogamy; e.g. Schulting 2003) and economic practices (e.g. trade; e.g. Harding and Fokkens 2013), and is not necessarily typical of unstratified or egalitarian societies as seems to be suggested (Fernández-Crespo and Schulting 2017). The interpretation of social hierarchy based only on CN isotope analysis should be considered

**Fig. 7** Plot of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope ratio values for Northern Iberian archaeological sites (Alt et al. 2016; Arias 2005; Fernández-Crespo and Schulting 2017; Sarasketa-Gartzia et al. 2017; Villalba-Mouco et al. 2017)



with caution, as small differences in the isotopic values could be due to other reasons (different ecosystems, different chronologies, the presence of non-local individuals, etc.) and not necessarily demonstrate social ranking or complexity.

The non-local signatures of these individuals could also be explained by herding practices. Although there is scarce available data for faunal remains and regarding the bioavailable strontium mapping of the region, it is a hypothesis that has to be taken into consideration for further research. For several traditional researchers from the region, such as Pericot (1925) and Barandiaran (1927), nomadic herding, especially

transhumance, is as old as domestication itself and started with the origins of the Neolithic in the study area. However, more analyses or methodologies, such as the analysis of the bioavailable strontium and of cattle tooth enamel, and especially of sheep, or the use of Laser Ablation would be of interest to develop this idea (e.g. Copeland et al. 2008; Richards et al. 2008). Another interesting point is the association between herds of cattle and megalithism defended by many researchers and historians in the region (Barandiaran and Manterola 2000). According to Dueso (1987), and taking into account the faunal remains located in Los Husos and Arenaza, herding

**Table 3** Carbon and nitrogen human results of Neolithic and Chalcolithic periods in the Northern Iberia region

Archaeological site	Number of samples	$\delta^{13}\text{C}$ mean value [ $1\sigma$ ] ‰	$\delta^{15}\text{N}$ mean value [ $1\sigma$ ] ‰	Reference
Alto Reinoso	29	$-19.6 \pm 0.3$	$9.9 \pm 0.4$	Alt et al. 2016
Pico Ramos	22	$-20.4 \pm 0.3$	$9 \pm 0.4$	Sarasketa-Gartzia et al. 2017
Santimamiñe	3	$-19.8 \pm 1.5$	$9.2 \pm 1.2$	Sarasketa-Gartzia et al. 2017
Coto de la Mina	1	$-20.3$	9.5	Arias 2005
San Juan Cave	33	$-19.3 \pm 0.3$	$10.3 \pm 0.6$	Villalba-Mouco et al. 2017
Las Yurdinas II	48	$-20.1 \pm 0.3$	$9.2 \pm 0.5$	Fernández-Crespo and Schulting 2017
Los Husos I	8	$-20.2 \pm 0.3$	$9.2 \pm 0.4$	Fernández-Crespo and Schulting 2017
Peña Larga	6	$-20.4 \pm 0.1$	$9.4 \pm 0.4$	Fernández-Crespo and Schulting 2017
El Sotillo	2	$-20 \pm 0.1$	$9.9 \pm 0.1$	Fernández-Crespo and Schulting 2017
Alto de la Huesera	46	$-19.9 \pm 0.3$	$9 \pm 0.6$	Fernández-Crespo and Schulting 2017
Chabola de la Hechicera	6	$-20.3 \pm 0.4$	$9.1 \pm 0.6$	Fernández-Crespo and Schulting 2017
Longar	39	$-20 \pm 0.3$	$9.3 \pm 0.6$	Fernández-Crespo and Schulting 2017



has existed in the Basque Country, at least, since 2200 B.C. The function of the megalithic monuments has been traditionally linked to mechanisms of topographic mapping to help groups encode the landscape, and it is symbolically indicative of the usufruct of pastures, in connection with the cult of ancestors (Barandiaran 1927). Ethnographic information on herding in the region exists as well as archaeological data (e.g. Barandiaran 1927; Pericot 1925). It is traditionally known that the natural crossing between southern France and Northern Iberia over the Pyrenees was used for transhumance purposes. Some researchers say that the axial zone of the Basque Pyrenees retains in the labyrinth of its valleys some cultural features of a very long tradition (Barandiaran 1953–1957), and that this culture is related to the herding and ranching that was documented in medieval documents regarding the movements of Basque flocks of sheep along the same routes as nowadays (Haristoy 1983). In any case, it is important to emphasise the need to map the region more intensively and carry out serial analyses in faunal teeth to confirm or reject the transhumance hypothesis.

As regards the archaeological implications of this study, the first point that should be taken into account is the regional variability in Iberia that can be observed during the Late Neolithic/Chalcolithic in such aspects as material culture and resource exploitation (Castro et al. 2006; Chapman 1990, 2008; Díaz del Río and García Sanjuan 2006). Some of the most relevant implications are related to the notable demographic growth and agricultural intensification (Delibes 2011; Delibes et al. 1995). While the present text focuses on burial spaces, Late Neolithic settlement sites are virtually unknown in the region. It is currently assumed that groups were quite small and mobile, which would explain the general lack of archaeological evidence of more permanent settlements. However, when they are indeed found, sites are typically defined by clusters of underground features frequently interpreted as storage pits and other domestic facilities (Díaz del Río 2006). In this context, the presence of collective burials is one of the central aspects for understanding social relationships in these societies and the key for interpreting kinship-based societies (Chapman 2008).

Some researchers argue that, during the Chalcolithic, economic intensification and social inequalities emerged and endured for several centuries (e.g. Gilman 1987). Developing the idea of social inequalities, previous studies in the region have suggested the possible existence of a partitioned use of the differential exploitation of the landscape. This differentiation has been based on small differences in  $\delta^{13}\text{C}$  values among the individuals buried in caves and megalithic monuments in the Late Neolithic/Early Chalcolithic (Fernández-Crespo and Schulting 2017). This idea could be related to the theory of a possible higher status of individuals buried in the mentioned

megalithic tombs (e.g. Waterman et al. 2016). In the case of Kurtzevide (megalithic burial site) and Fuente Hoz (cave burial site), although they are not coetaneous, they do show significant differences in  $\delta^{13}\text{C}$  but not in  $\delta^{15}\text{N}$  values as seen before. However, although they are still small, bigger differences are observed between the individuals of the same site than between sites. Comparing the Kurtzevide mean values with those from monuments, the  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-20.3 \pm 0.2 [1\sigma]\text{‰}$  and the  $\delta^{15}\text{N}$  value of  $8.9 \pm 0.3 [1\sigma]\text{‰}$  reflect a higher carbon value and a lower nitrogen value than at the monuments in Fernández-Crespo and Schulting (2017). Although Fuente Hoz is not totally contemporaneous, it has a mean value of  $-19.7 \pm 0.2 [1\sigma]\text{‰}$  for  $\delta^{13}\text{C}$  and  $9 \pm 0.5 [1\sigma]\text{‰}$  for  $\delta^{15}\text{N}$ , which is considerably lower than expected in comparison with the later sepulchral caves in the region (Fernández-Crespo and Schulting 2017).

## Conclusions

New isotopic evidence shows that humans with both local and non-local strontium signatures were buried together in the Basque Western Pyrenees during both the Early-Middle Neolithic and the Late Neolithic-Chalcolithic. These individuals with different strontium signature all show a similar protein diet based on the consumption of  $\text{C}_3$  terrestrial resources. Overall, this study sheds light on how individuals from different backgrounds were still buried together and shared the same “dietary lifestyle” at a time in the prehistory of Iberia when social complexities purportedly started to emerge. However, further analysis is required to characterise better the faunal background and the bioavailable strontium in the region and thus attain a more in-depth vision on the territorial mobility of these Neolithic and Chalcolithic populations. Future analysis at other archaeological sites of the same chronologies will complete these results, and provide a better understanding of prehistoric socioeconomic dynamics in Northern Iberia.

**Acknowledgements** This study is part of ISG's Doctoral Thesis, supervised by AA and DCSG. All authors would like to thank the Cultural Heritage Centre of the Basque Government and the depository of the Bibat (Archaeological Museum of Araba) for permission to carry out the necessary sampling for the analyses. We would also like to thank Fayrooza Rawoot, Kerryn Gray, and Ian Newton for technical assistance. Thanks also to Christel Tinguely for the Sr concentration values.

**Funding information** ISG benefits from a post-graduate grant of the Basque Government. ISG and AA have been partially funded by the research project of the Spanish Science Ministry HAR2014-53536-P (La ruta occidental del poblamiento de la Península Ibérica durante el Paleolítico medio y superior), and the Research Team in Prehistory at the University of the Basque Country (IT-622-13). Sample preparation material and analytical costs were paid by DCSG's UCT and BBVA grants. VVM has a pre-doctoral scholarship funded by the Government of Aragon and European Social Fund (REF: BOA20150701025).

## References

- Alt KW, Zesch S, Garrido-Pena R, Knipper C, Szécsényi-Nagy A, Roth C, Tejedor-Rodríguez C, Held P, García-Martínez-de-Lagrán I, Navitainuck D, Arcusa Magallón H, Rojo-Guerra MA (2016) A community in life and death: the Late Neolithic megalithic tomb at Alto de Reinoso (Burgos, Spain). *PLoS One* 11(1):e0146176
- Altuna J (1980) Historia de la domesticación animal, en el País Vasco, desde sus orígenes hasta la romanización. *Munibe Antropol Arq* 32(1–2):9–163
- Ambrose SH (1993) Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretative considerations. In: Stanford MK (ed) *Investigations of ancient human tissue: chemical analyses in anthropology*. Gordon and Breach Science Publishers, Langhorne, pp 59–130
- Arias P (2005) Determinaciones de isótopos estables en restos humanos de la región Cantábrica. Aportación al estudio de la dieta de las poblaciones del Mesolítico y Neolítico. *Munibe Antropol Arq* 57: 359–374
- Baldeón A (1983) IV Campaña de Excavaciones del Covacho de Fuente Hoz. *Arkeoikuska* 83:12–15
- Baldeón A, García E, Ortiz L, Lobo P (1983) Excavaciones en el yacimiento de Fuente Hoz (Anúcita, Alava). *Estudios de Arqueol Alavesa* :7–68
- Barandiaran JM (1927) Contribución al estudio de establecimientos humanos y pastoriles del País Vasco. *Anu de Eusko Folklore* 7: 137–141
- Barandiaran JM (1953–1957) Aspectos sociográficos de la población del Pirineo Vasco. *Eusko Jakintza* VII:3–26. Bayonne
- Barandiaran JM, Manterola A (eds) (2000) *Atlas etnográfico de Vasconia. Ganadería y pastoreo en Vasconia*. Eusko Jaurlaritz, Gobierno de Navarra, Etniker Euskalerría
- Basabe JM, Bennassar I (1983) Estudios antropológicos del yacimiento de Fuente Hoz (Anúcita, Álava). *Estud Arqueol de Arqueol Alavesa* 11:77–119
- Bentley R (2006) Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review. *J Archaeol Method Theory* 13:135–187
- Bentley R, Knipper C (2005) Transhumance at the early Neolithic settlement of Vaihingen (Germany). *Antiq* 70 (306)
- Bogaard A, Heaton TH, Poulton P, Merbach I (2007) The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *J Archaeol Sci* 34(3):335–343
- Bonsall C, Anderson DE, Macklin MG (2002) The Mesolithic–Neolithic transition in western Scotland and its European context. *Doc Praehist* 29:1–19
- Britton K, Grimes V, Dau J, Richards MP (2009) Reconstructing faunal migrations using intra-tooth sampling and strontium and oxygen isotope analyses: a case study of modern caribou (*Rangifer tarandus granti*). *J Archaeol Sci* 36(5):1163–1172
- Bronk Ramsey C, Lee S (2013) Recent and planned developments of the program OxCal. *Radiocarbon* 55(2–3): 720–730
- Brown TA, Nelson DE, Vogel JS, Southon JR (1988) Improved collagen extraction by modified Longin method. *Radiocarb* 30:171–177
- Castro PV, Escoriza T, Oltra Puigdomenech J (2006) Sociological hypotheses for the communities of the Iberian Mediterranean basin (VI to II millennia cal BC). In: Díaz del Río P, García Sanjuán L (eds) *Social inequality in Iberian late prehistory*. Archaeopress, Oxford, pp 117–131
- Chapman R (1990) *Emerging complexity. The later prehistory of Southeast Spain, Iberia and the West Mediterranean*. Cambridge University Press, Cambridge
- Chapman R (2008) Producing inequalities: regional sequences in later prehistoric southern Spain. *J World Prehist* 21(3–4):195–260
- Copeland SR, Sponheimer M, le Roux PJ, Grimes V, Lee-Thorp JA, de Ruiter DJ, Richards MP (2008) Strontium isotope ratios ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) of tooth enamel: a comparison of solution and laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry methods. *Rapid Commun Mass Spectrom* 22:3187–3194
- Copeland SR, Sponheimer M, Lee-Thorp JA, le Roux PJ, de Ruiter DJ, Richards MP (2010) Strontium isotope ratios in fossil teeth from South Africa: assessing laser ablation MC-ICP-MS analysis and the extent of diagenesis. *J Archaeol Sci* 37:1437–1446
- Copeland SR, Cawthra HC, Fisher EC, Lee-Thorp JA, Cowling RM, le Roux PJ, Hodgkins J, Marean CW (2016) Strontium isotope investigation of ungulate movement patterns on the Pleistocene Paleo-Agulhas Plain of the Greater Cape Floristic Region, South Africa. *Quat Sci Rev* 141:65–84
- De Carlos-Izquierdo JI (1988) Una aproximación territorial al Fenómeno Megalítico: La Rioja Alavesa y Cuartango. *Munibe Antropol Arq* 6: 113–127
- Delibes G (2011) *El pan y la Sal: La vida campesina en el Valle Medio del Duero hace cinco mil años*. Real Academia de Bellas Artes de la Purísima Concepción, Valladolid
- Delibes G, Herrán Martínez JI, Santiago Pardo J, Val Recio J (1995) Evidence for social complexity in the copper age of the northern Meseta. In: Lillios KT (ed) *The origin of complex societies in late prehistoric Iberia*. International Monographs in Prehistory, Ann Arbor, pp 44–63
- DeNiro MJ, Epstein S (1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta* 42:495–506
- DeNiro MJ, Epstein S (1981) Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta* 45:341–351
- Díaz del Río P (2006) An appraisal of social inequalities in Central Iberia (c. 5300–1600 cal BC). In: Díaz del Río P, García San Juan L (eds) *Social inequality in Iberian*. British archaeological reports international series 1525. Archaeopress, Oxford, pp 67–79
- Díaz del Río P, García Sanjuan L (2006) *Social inequality in Iberian late prehistory*, BAR international series 1525. Archaeopress, Oxford
- Dueso, Jose (1987) *Nosotros los vascos. Mitos, Leyendas y Costumbres. Tomo II: Vida tradicional*. Lur Argitaletxea
- Edeso-Fito JM, Mujika-Alustiza JA (2012) Megalitismo y cuevas sepulcrales en Gipuzkoa. *Distribución espacial y características generales*. *Isturitz* 12:83–114
- Evans JA, Montgomery J, Wildman G (2009) Isotope domain mapping of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  biosphere variation on the Isle of Skye, Scotland. *J Geol Soc* 166:617–631
- Fernández-Crespo T, Schulting RJ (2017) Living different lives: early social differentiation identified through linking mortuary and isotopic variability in Late Neolithic/Early Chalcolithic north-central Spain. *PlosOne* 1(9)
- Fernández-Crespo T, Mujika JA, Ordoño J (2016) Aproximación al patrón alimentario de los inhumados en la cista de la Edad del Bronce de Ondarre (Aralar, Guipúzcoa) a través del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno sobre colágeno óseo. *Trab Prehist* 73(2):325–334
- Fischer A, Olsen J, Richards MP, Heinemeier J, Sveinbjornsdottir A, Bennike P (2007) Coast-inland mobility and diet in the Danish Mesolithic and Neolithic: evidence from stable isotope values of humans and dogs. *J Archaeol Sci* 34:2125–2150
- Fontanals-Coll M, Subirà ME, Díaz-Zorita Bonilla M, Duboscq S, Gibaja JF (2015) Investigating palaeodietary and social differences between two differentiated sectors of a Neolithic community, La Bòbila Madurell-Can Gambús (north-east Iberian Peninsula). *J Archaeol Sci Rep* 3:160–170
- Fontanals-Coll M, Díaz-Zorita Bonilla M, Subirà ME (2016) 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. *Int J Osteoarchaeol* 26(3):447–459

- Fraser RA, Bogaard A, Schäfer M, Arbogast R, Heaton THE (2013) Integrating botanical, faunal and human stable carbon and nitrogen isotope values to reconstruct land use and palaeodiet at LBK Vaihingen an der Enz, Baden-Württemberg. *World Archaeol* 45(3):492–517
- Fuller BT, Fuller JL, Sage NE, Harris DA, O'Connell TC, Hedges REM (2004) Nitrogen balance and  $\delta^{15}\text{N}$ : why you're not what you eat during pregnancy. *Rapid Commun Mass Spectrom* 18:2889–2896
- Gilman A (1987) Unequal development in Copper Age. In: Brumfiel EM, Earle TK (eds) *Specialization, Exchange and Complex Societies*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 22–29
- Goude G, Castorina F, Herrscher E, Cabut S, Tafuri MA (2012) First strontium isotope evidence of mobility in the Neolithic southern France. *Eur J Archaeol* 15(3):421–439
- Guiry EJ, Hillier M, Richards MP (2015) Mesolithic dietary heterogeneity on the European Atlantic Coastline: stable isotope insights into hunter-gatherer diet and subsistence in the Sado Valley, Portugal. *Curr Anthropol* 56(3):460–470
- Harding AF, Fokkens H (2013) *The Oxford handbook of the European Bronze Age*. University Press, Oxford
- Haristoy P (1983) *Recherches historiques sur le Pays Basque*. Bayonne
- Hedges REM, Reynard LM (2007) Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *J Archaeol Sci* 34:1240–1251
- Hedges REM, Clement JG, Thomas CDL, O'Connell TC (2007) Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: modelled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. *Am J Phys Anthropol* 133:808–816
- Hillson S (1996) *Dental anthropology*. Cambridge University Press, Cambridge
- Iriarte-Chiapusso I, Zapata L (2004) La adopción de la economía de producción: la aportación de la arqueobotánica. *Kobie* 6(1):203–216
- Le Bras-Goude G (2011) Reconstructing past populations' behaviours diet, bones and isotopes in the Mediterranean. *Tüba-Ar* 14:215–229
- Le Bras-Goude G, Herrscher E, Vaquer J (2013) Funeral practices and foodstuff behaviour: what does eat meat mean? Stable isotope analysis of Middle Neolithic populations in the Languedoc region (France). *J Anthropol Archaeol* 32:280–287
- Longin R (1971) New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature* 230:241–242
- López-Costas O, Müldner G, Martínez Cortizas A (2015) Diet and life-style in Bronze Age Northwest Spain: the collective burial of Cova do Santo. *J Archaeol Sci* 55:209–2018
- López-Davalillo J (2014) *Geografía regional de España*. UNED, Madrid
- Makarewicz CA, Sealy K (2015) Dietary reconstruction, mobility, and the analysis of ancient skeletal tissues: expanding the prospects of stable isotope research in archaeology. *J Archaeol Sci* 56:146–158
- Mariezkurrena K (1983) Fauna del yacimiento prehistórico de Fuente Hoz (Alava). *Estudios de Arqueol Alavesa* 11:69–76
- Maurer AF, Galer SJG, Knipper C, Beierlein L, Nunn EV, Peters D, Tütken T, Alt KW, Schöne BR (2012) Bioavailable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in different environmental samples—effects of anthropogenic contamination and implications for isoscapes in past migration studies. *Sci Total Environ* 433:216–229
- Milner N, Craig OE, Bailey GN, Pederson K, Andersen SH (2004) Something fishy in the Neolithic? A re-evaluation of stable isotope analysis of Mesolithic and Neolithic coastal populations. *Antiquity* 78:9–22
- Minawaga M, Wada E (1984) Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochim Cosmochim Acta* 48:1135–1140
- O'Connell TC, Knealec CJ, Tasevska N, Kuhnle GGC (2012) The diet body offset in human nitrogen isotopic values: a controlled dietary study. *Am J Phys Anthropol* 149(3):426–434
- Ontañón R (2003) Caminos hacia la complejidad: el Calcolítico en la región cantábrica. Universidad de Cantabria, Santander
- Ontañón R, Armendariz A (2005–2006) Cuevas y megalitos: los contextos sepulcrales colectivos en la Prehistoria reciente cantábrica. *Munibe Antropol Arq* 57: 257–286
- Pérez-Obiol R, Jalut G, Julià R, Pélachs A, Iriarte MJ, Otto T, Hernández-Belouqui B (2011) Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene* 21(1):1–19
- Pericot L (1925) *La civilización megalítica catalana y la cultura pirenaica*. Universidad de Barcelona, Barcelona
- Pin C, Briot D, Bassin C, Poitrasson F (1994) Concomitant separation of strontium and samarium-neodymium for isotopic analysis in silicate samples, based on specific extraction chromatography. *Anal Chim Acta* 298:209–217
- Price TD, Burton JH, Bentley RA (2002) The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. *Archaeometry* 44(1):117–135
- Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Grootes PM, Guilderson TP, Haffidason H, Hajdas I, Hattž C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J (2013) IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55(4):1869–1887.
- Richards MP, Schulting RJ, Hedges REM (2003) Sharp shift in diet at onset of Neolithic. *Nature* 425:366
- Richards MP, Harvati K, Grimes V, Smith C, Smith T, Hublin JJ, Karkanas P, Pangopoulou E (2008) Strontium isotope evidence of Neanderthal mobility at the site of Lakonis, Greece using laser-ablation PIMMS. *J Archaeol Sci* 35:1251–1256
- Salazar-García DC (2011) *Isótopos, dieta y movilidad en el País Valenciano. Aplicación a restos humanos del Paleolítico Medio al Neolítico Final*. PhD thesis. Universidad de Valencia
- Salazar-García DC, Benítez de Lugo Enrich LB, Álvarez-García HJ, Benito-Sánchez M (2013) Estudio diacrónico de la dieta de los pobladores antiguos de Terrinches (Ciudad Real) a partir del análisis de isótopos estables sobre restos óseos humanos. *Rev Esp de Antropol Fis* 34:6–14
- Salazar-García DC, Emili-Aura J, Olària C, Talamo S, Morales J, Richards MP (2014a) Isotope evidence for the use of marine resources in the Eastern Iberian Mesolithic. *J Archaeol Sci* 42:231–240
- Salazar-García DC, Richards MP, Nehlich O, Henry AG (2014b) 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). *J Archaeol Sci* 47:70–77
- Salazar-García DC, Fontanals-Coll M, Goude G, Subirà ME (2018) To 'seafood' or not to 'seafood'? An isotopic perspective on dietary preferences at the Mesolithic-Neolithic transition in the Western Mediterranean. *Quat Int* 470:497–510. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.039>
- Sarasketa-Gartzia I, Villalba-Mouco V, le Roux P, Arrizabalaga Á, Salazar-García DC (2017) Late Neolithic-Chalcolithic socio-economical dynamics in northern Iberia. A multi-isotope study on diet and provenance from Santimamiñe and Pico Ramos archaeological sites (Basque Country, Spain). *Quat Int* 481:14–27
- Schoeller DA (1999) Isotope fractionation: why aren't we what we eat? *J Archaeol Sci* 26:667–673
- Schoeninger MJ, DeNiro MJ (1984) Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochim Cosmochim Acta* 48:625–639
- Schulting R (2003) The marrying kind: evidence for a patrilocal postmarital residence pattern in the Mesolithic of Southern Brittany? *Mesolithic Horizons (II)*:431–441

- Schulting RJ, Richards MP (2002) The wet, the wild and the domesticated: the Mesolithic–Neolithic transition in the west coast of Scotland. *J Eur Archaeol* 5:147–189
- Slovak N, Paytan A (2012) Applications of Sr isotopes in archaeology. In: Baskaran M (ed) *Handbook of environmental isotope geochemistry. Advances in isotope geochemistry*:743–768
- Snoeck C, Pouncett J, Ramsey G, Meighan IG, Mattielli N, Goderis S, Lee-Thorp JA, Schulting RJ (2016) Mobility during the Neolithic and Bronze Age in Northern Ireland explored using strontium isotope analysis of cremated human bone. *Am J Phys Anthropol* 160:397–413
- Strauss A, Oliveira RE, Bernardo D, Salazar-García DC, Talamo S, Jaouen K, Hubbe M, Black S, Wilkinson C, Richards MP, Araujo A, Kipnis R, Neves W (2015) The oldest case of decapitation in the New World. *PlosONE* 10(9):e0137456
- Tieszen LL, Fagre T (1993) Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO<sub>2</sub>, bone collagen, bioapatite and soft tissues. In Lambert JB, Grupe G (eds.) *Prehistoric human bone. Archaeology at the molecular level*: 121–155
- Van der Merwe NJ (1982) Carbon isotopes, photosynthesis and archaeology: different pathways of photosynthesis cause characteristic changes in carbon isotope ratios that make possible study of prehistoric human diets. *Am Sci* 70(6):596–606
- Van der Merwe NJ, Vogel JC (1978) <sup>13</sup>C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in Woodland North America. *Nature* 276:815–816
- Van Klinken GJ (1999) Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *J Archaeol Sci* 26:687–695
- Vegas JI (1981) Túmulo-dolmen de Kurtzebide en Letona. Memoria de excavación. *Estud Arqueol Alavesa (Homenaje a Enrique Eguren)*: 19–67
- Villalba-Mouco V, Sauqué V, Sarasketa-Gartzia I, Pastor MV, le Roux PJ, Vicente D, Utrilla P, Salazar-García DC (2017) Territorial mobility and subsistence strategies during the Ebro Basin Late Neolithic-Chalcolithic: a multi-isotope approach from San Juan cave (Loarre, Spain). *Quat Int* 481:28–41
- Villalba-Mouco V, Sarasketa-Gartzia I, Utrilla P, Oms FX, Mazo C, Mendiola S, Cebrià A, Salazar-García DC (2018) Stable isotope ratio analysis of bone collagen as indicator of different dietary habits and environment conditions in northeastern Iberia during the 4th and 3rd millennium cal B.C. *Archaeol Anthropol Sci*. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0657-z>
- Vogel JC, Van der Merwe NJ (1977) Isotopic evidence for early maize cultivation in New York State. *Am Antiq* 42:238–242
- Waterman AJ, Tykot RH, Silva AM (2016) Stable isotope analysis of diet-based social differentiation at late prehistoric collective burials in south-western Portugal. *Archaeometry* 58(1):131–151
- Zapata L (2002) Origen de la agricultura en el País Vasco y transformaciones en el paisaje: análisis de restos vegetales arqueológicos. Serie Kobie, Anejo 4. Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia

MUNIBE Antropología-Arkeologia	n° 69	Online First	DONOSTIA	2018	ISSN 1132-2217 • eISSN 2172-4555
--------------------------------	-------	--------------	----------	------	----------------------------------

Recibido: 2018-04-04  
Aceptado: 2018-07-19

# El yacimiento calcolítico de Karea en el contexto de las cuevas sepulcrales de Gipuzkoa (País Vasco)

## The Chalcolithic site of Karea in the context of burial caves in Gipuzkoa (Basque Country)

**PALABRAS CLAVES:** Calcolítico; inhumación; ajuar funerario; antracología; isótopos.

**GAKO-HITZAK:** Kalkolitoa; ehorzketa; hileta hatua; antrakologia; isotopoak.

**KEY WORDS:** Chalcolithic; burial; grave goods; anthracology; isotopes.

**Ainhoa ARANBURU-MENDIZABAL<sup>(1)</sup>, Izaskun SARASKETA-GARTZIA<sup>(1)</sup>, Alvaro ARRIZABALAGA<sup>(1)</sup>, Domingo C. SALAZAR-GARCÍA<sup>(1,2,3)</sup>, Antxieta ARKEOLOGIA TALDEA<sup>(4)</sup> y M<sup>a</sup> José IRIARTE-CHIAPUSO<sup>(1,2)</sup>**

### RESUMEN

En el yacimiento arqueológico de Karea (Aia, Gipuzkoa), integrado por las cavidades contiguas de Karea-A y Karea-B, se recuperaron numerosos restos cerámicos y faunísticos (Karea-A) y vestigios de una inhumación calcolítica (Karea-B). El presente trabajo se ha vertebrado en dos ejes. En primer lugar, el estudio de ambos depósitos mediante diferentes disciplinas: (1) estudio antropológico; (2) estudio del ajuar, compuesto por restos cerámicos y faunísticos; (3) identificación antracológica de los restos leñosos recuperados en el depósito funerario y por último, (4) estudios isotópicos que nos han permitido obtener datos de la alimentación ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) y procedencia ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) del sujeto inhumado en el yacimiento. En segundo lugar, siendo este el objetivo preferente de este trabajo, contextualizar y establecer una comparativa con otras manifestaciones sepulcrales prehistóricas en cueva de la región.

### LABURPENA

Karea-A eta Karea-B haitzuloez konposatutako historiaurreko Kareako (Aia, Gipuzkoa) aztarnategi arkeologikoan, zeramika, fauna zein kalkolitoko ehorzketa baten aztarnak berreskuratu ziren. Honako lan honek ondorioz, bi ardatz ditu. Alde batetik, deposituen azterketa diziplina desberdinen bidez: (1) azterketa antropologikoa; (2) hatua osatzen duten zeramika nahiz fauna aztarnen azterketa; (3) ehorzketan berreskuratutako egur-ikatzen behaketa eta, (4) ehortzitako gizabanakoaren elikaduraren ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) eta jatorriaren ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) inguruan berri ematen diguten analisi isotopikoak. Bestetik, eta artikulu honen helburu nagusi izanez, kobazuloa bere testuinguruan kokatu zein, eskualdean dauden gainontzeko ehorzketa kobazuloekin alderaketa burutu.

### ABSTRACT

Archaeological site of Karea (Aia, Gipuzkoa) was discovered in 2007 by *Antxieta Jakintza Taldea* (a Basque cultural-speleological aggregation from Azpeitia -Gipuzkoa-). This site has two contiguous cavities where different archaeological remains were discovered: Karea-A and Karea-B. Karea-A, which has small dimensions and an easy entrance, was excavated in 2008 by *Antxieta Jakintza Taldea* and Maria José Iriarte-Chiapusso (archaeologist and IKERBASQUE researcher). Faunal remains and abundant pottery remains were recovered there, suggesting a short time human occupation during prehistorical times. At the same time, the speleological group found a second cave which has a small and hidden entrance: Karea-B. The researchers supposed that the cavities were linked in the past, but, an internal collapse divided both caves. They also found some human bones in a small side gallery. The excavation of Karea-B in 2009 resulted in the discovery of a chalcolithic inhumation. Some pottery and fauna remains, which were identified like grave goods, were also found with the human body. Under this burial, charcoal fragments were recovered, suggesting a ritual or hygienic aim because there is no fire signal into the bones. We here present a multi-disciplinary study of this archaeological deposit consisting of: (1) anthropological study; (2) pottery and faunal grave good assemblage study; (3) anthracological study of the wood recovered at the burial; (4) isotopic study to gain information on diet ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) and provenance ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) from the buried individual. Finally, we have contextualized this new finding amongst other cave burials from Gipuzkoa and especially in Urola Valley.

<sup>(1)</sup> Consolidated Research Group of Prehistory (IT-622-13). Centro de Investigación *Micaela Portilla* Ikergetuea. C/ Justo Vélez de Elorriaga, 1 (01006, Vitoria-Gasteiz). Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU).

<sup>(2)</sup> IKERBASQUE. Basque Foundation for Science. Laboratorio de Paleobotánica *Lydia Zapata* Paleobotanikako Laborategia. C/ Tomás y Valiente s/n (01006, Vitoria-Gasteiz). Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU).

<sup>(3)</sup> Department of Geological Sciences. Science Faculty. Level 6, PH Hahn Building. Upper Campus, University of Cape Town (Cape Town, South Africa).

<sup>(4)</sup> Soreasu Kultura Zentroa. Soreasu Auzunea (20730, Azpeitia).

## 1. INTRODUCCIÓN

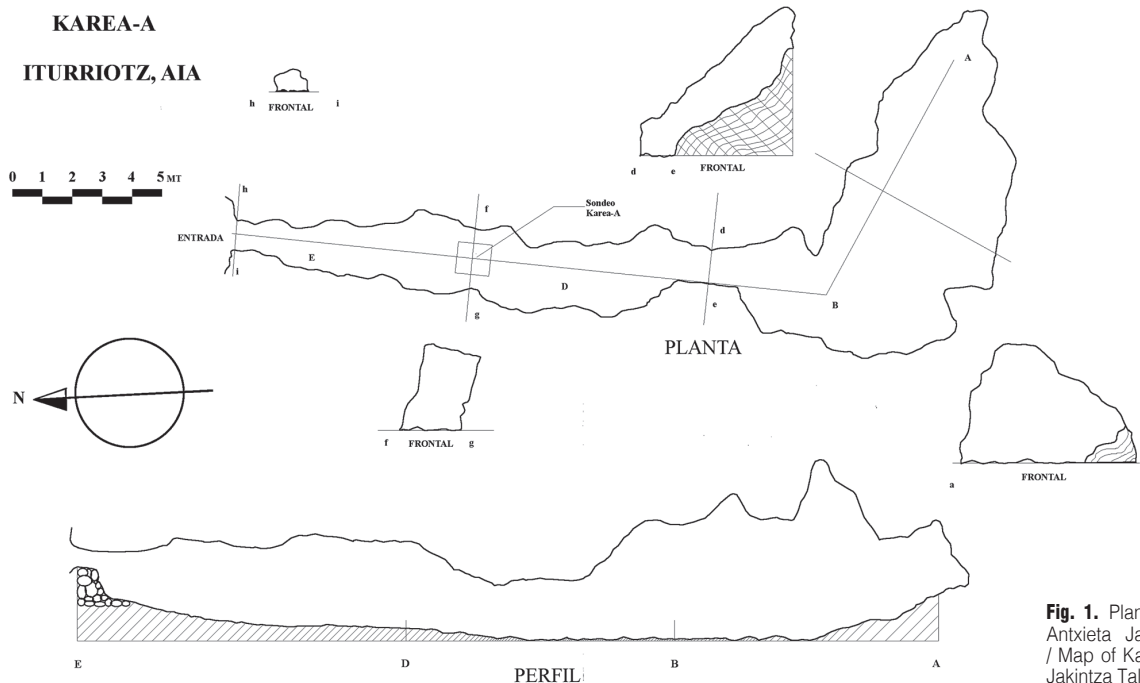
El territorio de Gipuzkoa, a pesar de sus reducidas dimensiones, alberga unos 250 yacimientos arqueológicos o paleontológicos (Tapia y Ceberio, 2011) en cueva. De ese total, 95 corresponderían a cuevas de uso sepulcral (Sarobe, 2012). El estudio de este tipo de cavidades se desarrollará principalmente durante el siglo XX y pueden diferenciarse tres etapas distintas (Mujika y Edeso, 2011). La primera etapa va del siglo XIX a 1927, cuando se realizan las primeras investigaciones en cueva y se descubren, entre otras, Orkatza-tegi, Iruaxpe I o Urtao II. Entre 1927 y 1970 y con la excavación de Jentiletxeta por parte de J.M. Barandiarán, se dará inicio a la segunda etapa que destacará por la exploración, excavación sistemática e introducción de una metodología científica en la investigación de las cuevas; excavándose entre otras: Urtiaga, Jentiletxeta II, Marizulo, etc y descubriendo, por ejemplo, Arantzazu. La tercera etapa, que abarca desde los 70 hasta la actualidad, resulta la más fructífera por varias razones. Junto al hallazgo de yacimientos por parte de grupos culturales y espeleológicos, tales como *Antxieta Jakintza Taldea* (conocido en la actualidad como *Antxieta Arkeologia Taldea*) de Azpeitia, *Munibe Taldea* de Azkoitia o *Aloña Mendi* de Oñati, se llevarán a cabo las primeras excavaciones en extensión en Urtao II, Iruaxpe I o Nardakoste IV. Se publican además las primeras tesis o trabajos de síntesis: Apellániz (1973) o Armentariz y Etxeberria (1983, 1995). Todo ello, junto a los nuevos hallazgos arqueológicos realizados a lo largo de la primera década del siglo XXI, como sería el caso de Karea, ha permitido la caracterización de las cuevas sepulcrales como un fenómeno funerario particular.

El presente artículo tiene como objetivo principal contextualizar el yacimiento de Karea dentro de las manifestaciones funerarias en cueva de Gipuzkoa; incidiendo en especial, y por situarse dentro del mismo, en el valle del Urola.

## 2. DESCRIPCIÓN DE KAREA E INVESTIGACIÓN DE CAMPO

El yacimiento de Karea consta de dos cavidades contiguas: Karea-A y Karea-B. Karea-A fue localizada en 2007 por el grupo de espeleología Antxieta Arkeologia Taldea en la ladera nororiental del monte Kareaga (Galán y Goikoetxea, 2002) del barrio de Iturriotz (Aia, Gipuzkoa). Esta cavidad, cuya entrada está semi-obstruida por grandes bloques de piedra, dispone de una única galería de 29 metros que está cubierta por concreciones estalagmíticas (Antxieta Jakintza Taldea, 2009) (figura 1). La primera intervención arqueológica, una cata realizada a cinco metros de la entrada, fue llevada a cabo en 2008 por Antxieta Arkeologia Taldea y María José Iriarte-Chiapusso. Distribuido en tres niveles arqueológicos bajo la concreción estalagmítica (en la actualidad sólo existe tierra en la rampa de acceso) se halló un conjunto de cerámicas fragmentadas junto a algunos restos faunísticos. El sondeo se dio por terminado cuando a 0,25 metros afloró la roca madre.

Finalizada la intervención arqueológica y una vez en el exterior, los miembros de Antxieta Arkeologia Taldea y M.J. Iriarte-Chiapusso localizaron a unos 20 metros de la entrada de Karea-A el acceso a una segunda cavidad. Esta segunda cueva, a la que se accedía bajando por una estrecha sima de aproximadamente cinco me-



**Fig. 1.** Plano de Karea-A, Antxieta Jakintza Taldea. / Map of Karea-A, Antxieta Jakintza Taldea.

tros de altura y a la que denominaron Karea-B, resultó ser más amplia que la anterior y se desarrollaba en al menos tres niveles (figura 2). Durante su exploración no se detectó acceso alguno a Karea-A, pero su disposición contigua así, como la presencia de un derrumbe en una de las paredes que ambas comparten, parece indicar que en algún momento estuvieron interconectadas mediante una galería horizontal. En una gatera lateral, situada a unos 10 metros de la actual entrada, fueron identificados lo que parecían ser huesos humanos, huesos de bóvido y un gran fragmento de cerámica. Asimismo, en una minúscula galería situada junto a la gatera se recuperaron otros fragmentos cerámicos. Teniendo en cuenta el hallazgo, en el año 2009 se llevaron a cabo dos nuevos sondeos de 1m<sup>2</sup> cada uno (Iriarte-Chiapuso, 2010). El primer sondeo, de aproximadamente 0'90 metros de profundidad y denominado Karea-B-1, se realizó en la gatera lateral donde distribuidos en un total de 13 niveles arqueológicos se recuperaron huesos de origen humano, de origen animal, varios fragmentos cerámicos y se identificó la presencia de carbonos. El segundo sondeo, Karea-B-2, se realizó cerca del derrumbe pero tras excavar cerca de 1'75 metros se confirmó que era arqueológicamente estéril.

### 3. ESTUDIO DE KAREA

Los materiales arqueológicos del yacimiento Karea fueron gestionados por Antxieta Arkeologia Taldea hasta su depósito final en *GORDAILU: Centro Cultural del Patrimonio Mueble* de Gipuzkoa (Irun). Dichos materiales, previo a su entrega, fueron depositados de manera provisional en los *Laboratorios de Prehistoria* del Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología de la UPV-EHU (Vitoria-Gasteiz) donde se llevaron a cabo diversos estudios: cerámicos y faunísticos para los materiales del sondeo Karea-A y antracológicos, cerámicos, faunísticos, antropológicos e isotópicos para los de Karea-B.

#### 3.1. Karea-A

##### 3.1.1. ESTUDIO CERÁMICO

La metodología empleada en este caso, tanto para los fragmentos recuperados en Karea-A como en Karea-B, fue la descripción de las pastas y formas así como la medición de aquellos fragmentos que podrían ser identificables. En la excavación se recuperaron un total de 54 fragmentos cerámicos y en el proceso de

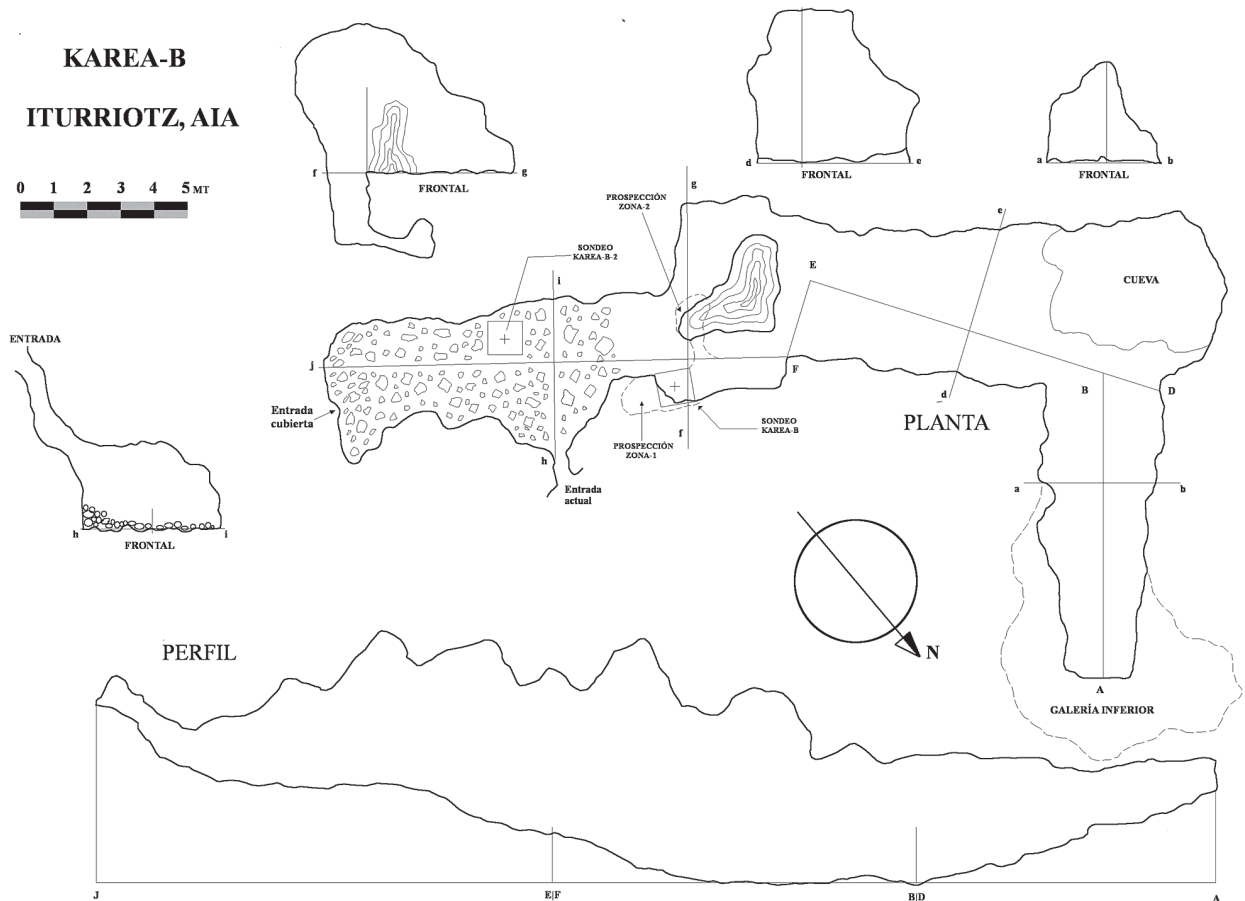
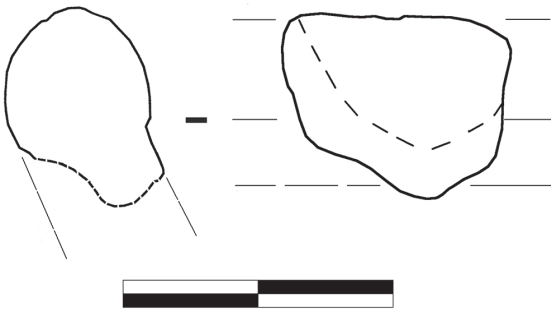


Fig. 2. Plano de Karea-B, Antxieta Jakintza Taldea. / Map of Karea-B, Antxieta Jakintza Taldea.

cribado 30 fragmentos más. Estos restos cerámicos además de estar bastante concretos eran de tamaño pequeño (inferiores a cuatro centímetros) por tanto no se pudo establecer la morfología de los mismos: 82 de los fragmentos fueron clasificados como informes, otro como dudoso (podría pertenecer a un fondo) y un único fragmento resultó identificable siendo clasificado como un borde (figura 3). Los recipientes de origen estarían hechos a mano y en lo referente a la cocción y coloración de la pasta, se establecieron dos agrupaciones:



**Fig. 3.** Ilustración del borde cerámico recuperado en Karea-A. / Ceramic rim recovered in Karea-A.

- Fragmentos de coloración monocromática negra -indicativa de una cocción reductora- y en los que se apreciaba que la pasta estaba alisada. El borde recuperado, así como el dudoso fondo, presentaban esta composición y corresponderían a un recipiente de modestas dimensiones.
- Fragmentos de composición mixta -cocción reductora al interior y oxidante al exterior- en los cuales pueden diferenciarse otros dos subgrupos: 1) aquellos que estaban compuestos por una pasta negra lisa en el interior, y de aspecto terroso y coloración rojiza en el exterior y 2) los que mostraban una tonalidad marrón en el exterior, pudiendo corresponder a una capa de engobe.

Debido a su pequeño tamaño y nivel de fragmentación, no fue posible detectar ningún otro tipo de decoración aparte de la mencionada decoración plástica del segundo conjunto pero basándonos en los datos expuestos pudimos establecer que los restos cerámicos recuperados corresponderían a un mínimo de tres recipientes.

### 3.1.2. ESTUDIO FAUNÍSTICO

El estudio faunístico, tanto de Karea-A como de Karea-B, se basó en la identificación anatómica de los huesos con el fin de establecer si estos podían aportar información útil de cara a identificar las especies a las que pertenecían (König y Liebich, 2004; France, 2009). Los huesos recuperados, e identificados, en Karea-A fueron los siguientes: un fragmento de costilla de gran

tamaño que posiblemente perteneciese a un bóvido, siete fragmentos de costilla de menor tamaño que podrían corresponder a un ovicáprido y dos dientes sin corona atribuidos también a esa última especie.

## 3.2. Karea-B.

### 3.2.1. ESTUDIO ANTRACOLÓGICO

El principio técnico de la Antracología está basado en la observación directa de los fragmentos de carbón. Precedido todo ello por la recuperación de los restos arqueobotánicos y una correcta estrategia de muestreo que se ajuste a las características del yacimiento, así como al volumen de sedimento recuperado (Zapata y Peña-Chocarro, 2013). En el caso de Karea-B, al tratarse de una cata arqueológica y ser la combustión resultado de una acción humana concreta, se recogió in situ en bolsas de almacenaje una pequeña muestra por cada capa (capas 10-13). Estas bolsas fueron debidamente referenciadas para ser posteriormente procesadas en el *Laboratorio de Paleobotánica Lydia Zapata* de la UPV-EHU.

Las muestras presentaban un sedimento muy arcilloso que imposibilitaba la completa recuperación del material leñoso. Al tratarse de muestras pequeñas, la estrategia empleada fue la de verter el contenido en pequeños recipientes con una malla de 125 micras y con agua destilada. Disuelto el sedimento de las muestras los carbones de mayor tamaño fueron recuperados manualmente y el resto se dejó a secar evitando su exposición a fuertes corrientes de aire o a la luz directa del sol (Caruso-Fermé, 2013). Finalizado el secado, se procedió al tamizado de las muestras empleando una torre de tamices de medidas comprendidas entre los dos milímetros y las 250 micras. La fracción >2 mm fue recuperada para su posterior identificación taxonómica.

La identificación de los carbones se llevó a cabo con la observación de los planos anatómicos mediante un microscopio de luz incidente OLYMPUS BX51 y con la consulta de atlas de anatomía vegetal (Schweingruber, 1990) y las colecciones de referencia del *Laboratorio de Paleobotánica Lydia Zapata*. Para que la identificación sea correcta el tamaño de los carbones debe ser igual o superior a los 4 mm, aunque este límite puede situarse también en los 2 mm (Zapata y Peña-Chocarro, 2013). En los casos en los que no se puede hacer una determinación a nivel de especie, se opta por conceptos más amplios como por ejemplo el género, la familia o el grupo. A su vez, ha de tenerse en cuenta que la conservación de los carbones será un factor determinante en la identificación, ya que frecuentemente dificulta esta labor. En aquellos casos donde la identificación es dudosa, el término aplicado es indeterminado y cuando es imposible, indeterminable.

Los carbones recuperados en Karea muestran gran fragilidad y se hayan bastante concretados debido al nivel de humedad de la cueva. Estos factores han



dificultado su identificación y solo han sido determinables a nivel de género: *Quercus*. La presencia de un solo género en las muestras, junto a que son resultado de una combustión concreta y puntual, no nos permite realizar una reconstrucción paleoecológica. La problemática es la misma a la hora de extrapolarlo al plano socioeconómico. Junto a las dificultades ya enumeradas, y teniendo en cuenta que por las características del yacimiento no ha sido posible realizar estudios polínicos, no puede determinarse si la selección de esta madera se dio por preferencia del grupo o por la proximidad con el yacimiento.

### 3.2.2. ESTUDIO CERÁMICO

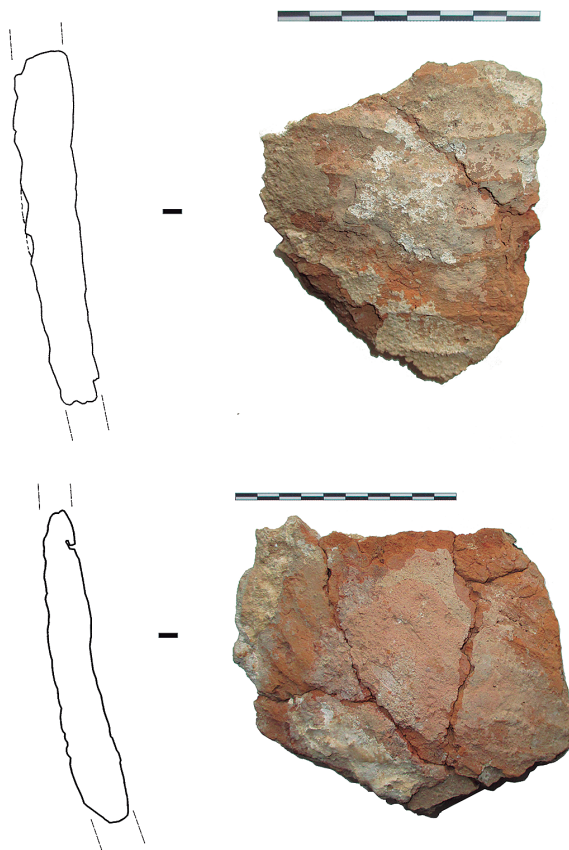
El conjunto cerámico de Karea-B resulta menor a nivel cuantitativo pero permite extraer mayor información que el de Karea-A. Debemos mencionar que estos fragmentos fueron recuperados en el depósito funerario (zona-1) y en una pequeña gatera que se encontraba junto al mismo (zona-2). Teniendo en cuenta las características de los fragmentos recuperados puede deducirse que habría un mínimo de dos recipientes:

- a) *Zona-1*: se recuperaron dos fragmentos de pasta de coloración negra, representativa de una cocción reductora, y en cuyas cara interior y exterior se podían apreciar finas capas de engobe de coloración marrón (posiblemente aplicadas con la función de impermeabilizar el recipiente y resultando a su vez, decorativas). Lo destacable de estos fragmentos era el reborde o carena que presentaban en la parte central (figura 4) y que podrían pertenecer a un vaso carenado de carena media o a un vaso bitroncocónico de carena media como el hallado en Sastarri II (Mujika y Edeso, 2011). En la tercera capa del sondeo se recuperó un pequeño fragmento informe de coloración anaranjada que no aportó mayor información.
- b) *Zona-2*: se recuperaron varios fragmentos cerámicos cuya pasta era de composición mixta: oxidante al exterior y reductora al interior. En la cara interior



**Fig. 4.** Fragmento cerámico con carena recuperado en Karea-B. / Ceramic fragment with careen recovered in Karea-B.

de los fragmentos se identificó una fina capa de engobe de coloración marrón y en la exterior la presencia de una decoración de barro plástica junto a varios surcos de dedos (figura 5). Estos por tanto, corresponderían a una orza de decoración plástica dedada. A pesar de no haber podido encajar todos los fragmentos entre sí, las características aquí descritas permiten deducir que en origen pertenecieron a un mismo recipiente, que además, sería de un tamaño considerable.



**Fig. 5.** Fragmentos cerámicos recuperados en Karea-B. / Ceramic fragments recovered in Karea-B.

### 3.2.3. ESTUDIO FAUNÍSTICO

El estudio de los restos faunísticos determinó que la mayoría de restos recuperados en Karea-B correspondían a un *Bos taurus*, siendo los huesos analizados los siguientes: un fragmento de cráneo, fragmentos de una de las escápulas, las epífisis superior e inferior de un metacarpo y varios fragmentos de mandíbula junto a algunos molares. En el proceso de identificación la mandíbula y la epífisis inferior del metacarpo, y a pesar de estar fragmentadas y concrecionadas, fueron las de mayor utilidad a la hora de determinar los restos (König y Liebich, 2004; France, 2009). En lo referente a la mandíbula, el fragmento empleado correspondía al lateral

derecho, cuyas características sirvieron para determinar que pertenecían a un bóvido al estar la dentadura distribuida tanto en la sección frontal como lateral. Estas características anatómicas podrían corresponder a un équido, sin embargo, la curvatura de la mandíbula descartaba esa posibilidad. En el caso del metacarpo, se identificaron: a) el canal distal; b) las trocleas metacarpianas, tanto axial como abaxial y c) la incisura inter-troclear, y cuyas características correspondían a las de un bóvido. Junto a estos restos también se recuperaron huesos de un ovicáprido joven: a) parte superior de la diáfisis del fémur, b) fragmento inferior de la diáfisis de ambos húmeros y c) un metápodo sin fusionar.

### 3.2.4. ESTUDIO ANTROPOLÓGICO

El estudio antropológico fue llevado a cabo en los *Laboratorios de Prehistoria* de la UPV/EHU y tras la debida documentación y recomposición del esqueleto pudimos establecer que los que los restos óseos recuperados en Karea-B corresponderían a un único individuo. A pesar de que los huesos mostraban un grado de conservación desigual (fracturados, concrecionados...), al haberse recuperados huesos largos completos, la apófisis mastoide derecha o algunas piezas dentales (figura 5) pudimos determinar el sexo y estimar la edad y la estatura del individuo. Para ello se emplearon diversas fórmulas matemáticas o sistemas de clasificación (White et al., 2012). Debemos indicar que también se realizó un estudio isotópico sobre estos restos tal, y como se expone en el apartado 3.2.5 del presente artículo.

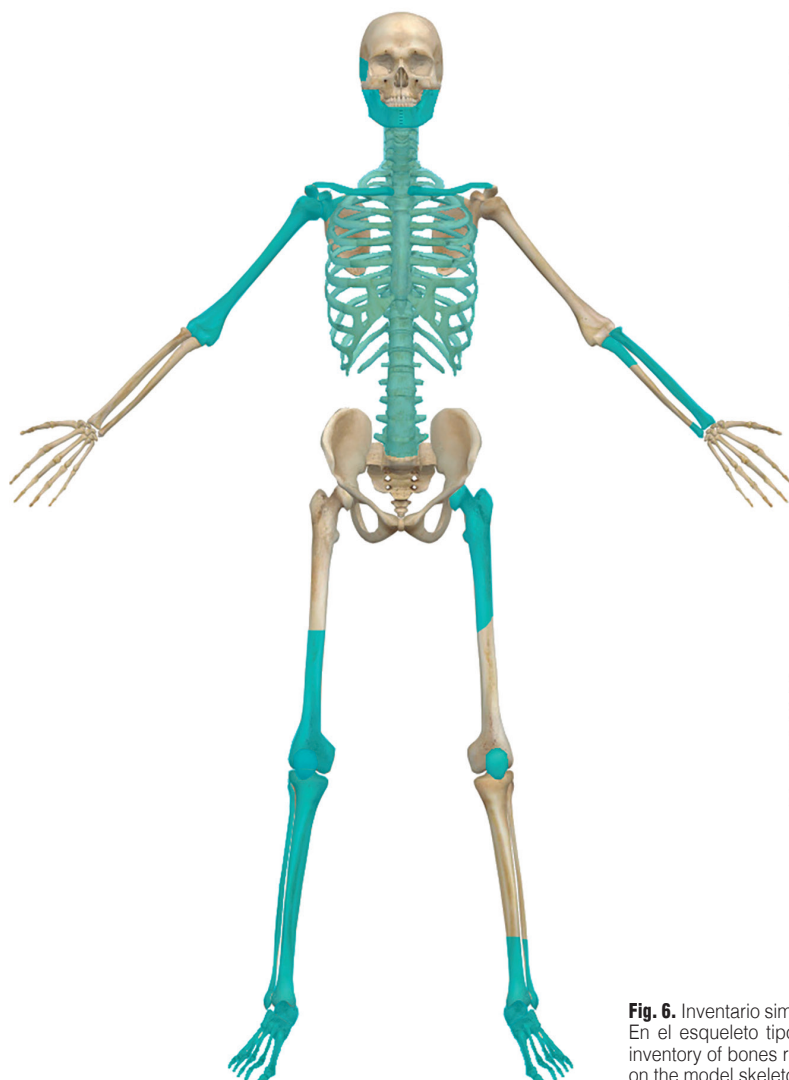
a) *Sexo*. Para determinar este aspecto, y a falta de huesos tan significativos como la pelvis, se analizaron las características del maxilar inferior, el temporal y se tuvieron en cuenta los parámetros métricos de determinados huesos. Recombinando la mandíbula se observó que la prominencia mentoide era pronunciada y la rama maxilar recta y de ángulo rugoso, características relacionadas con sujetos masculinos. En lo referente a la apófisis mastoides, y basándonos en las clasificaciones relacionadas con el dimorfismo sexual (Walker, 2008 en White et al., 2012) se determinó que esta era grande y acusada. Por tanto, y teniendo en cuenta que esta clasificación va del grado 1 (femenino) al 5 (masculino) se le asignó un grado 4. Es decir, el individuo sería probablemente masculino. Estos rasgos eran insuficientes para determinar el sexo, por lo que los parámetros métricos nos resultaron útiles (Bass, 2005 en White et al., 2012). Como puede observarse en la tabla 1, mientras las mediciones de las extremidades inferiores eran claramente masculinas, en las superiores había mayor discrepancia. Patrón que se repetía en el caso de las clavículas y la cavidad glenoidea. Por tanto, y por todo lo expuesto, identificamos al sujeto como probablemente masculino (White et al., 2012).

PARÁMETRO	LADO	MEDIDAS	SEXO
<i>Diámetro de la cabeza del fémur</i>	Izquierdo	51'3 mm	Masculino
<i>Cóndilo del fémur</i>	Izquierdo	84'5 mm	Masculino
<i>Diámetro de la cabeza del húmero</i>	Derecho	44'3 mm	No significativo
<i>Diámetro de la cabeza de radio</i>	Izquierdo	23'2 mm	Masculino
<i>Cavidad glenoidea de la escápula</i>	Derecho	28'5 mm	Masculino (?)
<i>Largo máximo de clavícula</i>	Ambos	145 y 146 mm	No significativo

**Tabla 1:** Parámetros métricos para la determinación del sexo: 1. >48mm=Masculino, <43mm=Femenino; 2. >76mm=Masculino, <74mm=Femenino; 3. >47mm=Masculino, <43mm=Femenino; 4. >23mm=Masculino, <21mm=Femenino; 5. >28.6mm=Masculino, <26.1mm=Femenino; 6. >150mm=Masculino, <138mm=Femenino. / Sex determination using anthropometric measurements: 1. >48mm = Male, <43mm = Female; 2. >76mm=Male, <74mm=Female; 3. >47mm=Male, <43mm=Female; 4. >23mm=Male, <21mm=Female; 5. >28.6mm=Male, <26.1mm=Female; 6. >150mm=Male, <138mm=Female.

b) *Edad*. Para realizar la estimación de la edad se tuvo en cuenta la fusión epifisaria de las clavículas y la clasificación numérica establecida por Brothwell en torno al desgaste de los molares (Brothwell, 1981 en White et al., 2012). A pesar de que las clavículas presentaban un grado bastante alto de concreción pudimos corroborar que ambas tenían las epifisis y diáfisis soldadas. Este proceso se inicia en torno a los 21 años y finaliza sobre los 30 pero en la mayoría de los casos, siendo determinante la variabilidad biológica, se da antes de los 28 años (White et al., 2012). Dicho esto, y basándonos en las clavículas, la edad del individuo se situaría en torno a los 28 años. En lo que respecta al estudio del desgaste molar, y a pesar de que se cuestiona su fiabilidad, las piezas dentales analizadas pertenecían al maxilar inferior: M1, M2, M3 del lado derecho y M1 y M2 del izquierdo. Basándonos en la tabla de clasificación elaborada por Brothwell (Brothwell, 1981 en White et al., 2012: 390), donde establece hasta 7 grados (siendo 1 el menor grado -dientes sin desgaste- y el 7 el mayor -sólo conservan la raíz-), el desgaste molar identificado fue el siguiente: 4 para los M1, 3 para los M2 y 2 para el M3 derecho. La edad del individuo por tanto, estaría comprendida entre los 25-35 años de edad. Teniendo en cuenta todos estos parámetros, los restos óseos corresponderían a un adulto-joven.

c) *Estatura*. Para estimar la altura empleamos los cálculos matemáticos planteados por Trotter y Gleser, basados en la medición de los huesos largos (Trotter y Gleser, 1958 en White et al., 2012). El fémur es el hueso largo más idóneo para estimar la estatura pero al no haberse recuperado en su totalidad ninguno de ellos (figura 6), tuvimos que recurrir a la tibia y el peroné que miden 350 y 335 mm respectivamente. Habiendo determinado que



1. Fragmento de cráneo.
2. Temporal derecho.
3. Maxilar inferior fragmentado.
4. Piezas dentales: 11, 36, 37, 38, 45, 46 y 47.
5. Clavículas derecha e izquierda
6. Acromion, apófisis coracoides y cavidad glenoidea derecha.
7. Vertebras (dorsales -axis-, ventrales y lumbares) y fragmentos de vertebra.
8. Múltiples fragmentos de costilla.
9. Húmero derecho.
10. Radio izquierdo.
11. Epífisis superior e inferior del cúbito izquierdo.
12. Epífisis inferior del fémur derecho.
13. Rótula derecha.
14. Tibia derecha.
15. Peroné derecho.
16. Calcáneo y astrágalo derechos.
17. Metatarsos y falanges derechas.
18. Epífisis superior y parte de la diáfisis del fémur izquierdo.
19. Rótula izquierda.
20. Epífisis inferior de la tibia izquierda.
21. Epífisis inferior del peroné izquierdo.
22. Astrágalo, calcáneo y escafoides izquierdos.
23. Metatarsos y falanges izquierdos.

**Fig. 6.** Inventario simplificado de los restos humanos recuperados en Karea-B. En el esqueleto tipo se han marcado los huesos identificados. / Simplified inventory of bones recovered in Karea-B. Identified bones have been marked on the model skeleton.

los huesos correspondían a un individuo masculino las fórmulas empleadas fueron las siguientes (debemos indicar que cada hueso tiene su propia ecuación matemática):

$$\text{Tibia: } 2'42 \times (\text{medida cm}) + 81'43 = \text{cm} \pm 4'04$$

$$\text{Peroné: } 2'68 \times (\text{medida cm}) + 71'78 = \text{cm} \pm 3'29$$

La estatura del individuo, según los cálculos basados en la tibia sería de 162'54-170'57 cm. Sin embargo, esta fórmula tendría un error de base al no tenerse en cuenta el maléolo medial (Jantz, 1993: 760) siendo el resultado obtenido, entre 2'5 a 3 cm menor. En lo que respecta al peroné, el rango de estatura obtenido ha sido de 158'27-164'85 cm.

### 3.2.5. ANÁLISIS ISOTÓPICOS

Nos parece oportuno, y debido a que su aplicación en estudios del País Vasco es relativamente reciente, externos en el desarrollo de este subapartado.

#### 3.2.5.1. Análisis de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Una de las herramientas más comunes para la reconstrucción de dietas prehistóricas es la de los análisis de isótopos estables de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) sobre colágeno óseo (Salazar-García y Silva Pinto, 2017). Esta técnica parte de la premisa de que la composición isotópica de los alimentos ingeridos durante los últimos años de vida se refleja en los tejidos del consumidor. Sin embargo, debemos considerar el fenómeno conocido como "fraccionamiento isotópico", que se produce por la elección diferencial de isótopos, siendo los más ligeros más móviles, aspecto que se refleja en los ratios isotópicos; por lo tanto, en este proceso los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  pueden variar entre 0 y 1‰, y los de  $\delta^{15}\text{N}$  entre 3 y 5‰, correspondiendo estos últimos a diferentes niveles tróficos (De Niro y Epstein, 1978, 1981; Schoeninger y De Niro, 1984). Los análisis de  $\delta^{13}\text{C}$  nos permiten conocer el peso relativo de las proteínas dependiendo de su origen (terrestre o marino), así como entre recursos  $\text{C}_3$  o  $\text{C}_4$  (Tauber, 1981). En cuanto

a los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , están relacionados con la complejidad de la cadena trófica del organismo analizado, que aumentan a lo largo de ella; de este modo, los de ecosistemas marinos tienen niveles  $\delta^{15}\text{N}$  más elevados (Minawaga y Wada, 1984). Finalmente, en la interpretación de estos resultados debemos tener siempre en cuenta el enmascaramiento que sufren los valores de los recursos vegetales por parte de los faunísticos (Richards et al., 2003).

Para estos análisis se obtuvo el colágeno óseo siguiendo el método descrito por Longin (1971) y Richards y Hedges (1999) con un paso de ultrafiltración (Brown et al., 1988). Todas las muestras fueron analizadas por duplicado utilizando un espectrómetro de masas de ratios isotópicos de flujo continuo Delta plus XP (Thermo Fisher Scientific, EEUU), después de su combustión en un analizador elemental Flash EA 1112 (Thermo-Finnigan, Germany). Este proceso se llevó a cabo en los laboratorios de la *University of Cape Town* (Sudáfrica). Los ratios de isótopos estables se expresan en función de la escala V-PDB (Vienna Pee Dee Belemnite) para el caso del carbono, y de la escala AIR (atmospheric  $\text{N}_2$ ) para el nitrógeno, utilizando la notación delta ( $\delta$ ) en partes por mil (‰). Los análisis replicados internos cumplen los estándares internacionales, y con un error analítico mejor que 0.1 ‰ (1 $\sigma$ ).

Para el estudio de los análisis sobre material óseo de Karea-B procedimos, en primer lugar, a la selección de una muestra del individuo inhumado. Para ello, to-

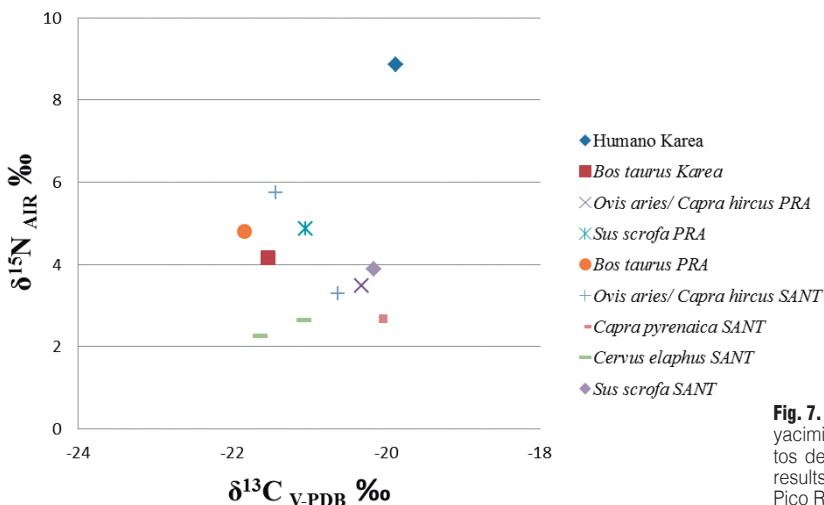
mamos un fragmento de costilla de 500mg, puesto que se trata de un resto que no aporta valor antropológico reseñable y, sin embargo, debido a su estructura es útil en el proceso de obtención del colágeno óseo. Respecto a los restos faunísticos, fue posible muestrear un fragmento del cráneo de *Bos taurus*. De ambas muestras, tanto la humana como la faunística, conseguimos extraer suficiente colágeno óseo de fracción >30kDa para poder realizar los análisis por duplicado. Todos los resultados cumplen con los baremos de control de calidad, según los cuales se estipula que los datos de %C deben ser >30, los de %N >10 y que la ratio elemental C: N debe oscilar entre 2.9 y 3.6 (Ambrose, 1993; Van Klinken, 1999).

La única muestra faunística analizada nos aporta valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de -21.5 ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$  4.2 ‰, los cuales coinciden con los datos que conocemos de estudios previos cercanos (Sarasketa-Gartzia et al., 2017) de ecosistemas terrestres tipo  $\text{C}_3$  (Van der Merwe y Vogel, 1978). Los resultados obtenidos tras el análisis sobre el colágeno de la muestra humana son los siguientes:  $\delta^{13}\text{C}$  de -19.9 ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$  de 8.9 ‰ (ver tabla 2 y figura 7). Estos datos de  $\delta^{13}\text{C}$  coinciden con una dieta basada principalmente en alimentos de origen terrestre tipo  $\text{C}_3$ . Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , por su parte, muestran claramente al ser humano en un nivel trófico superior al resto faunístico analizado (4.5‰ mayor), así como a otros restos faunísticos de otros yacimientos de la misma cronología que podemos utilizar a modo de comparativa (Sarasketa-Gartzia et al., 2017).

Especie	Muestra S-UCT	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	% C	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	% N	C: N
Humano	18456	-19.87	38.36	8.85	13.62	3.29
<i>Bos taurus</i>	18457	-21.54	35.33	4.15	12.53	3.29

**Tabla 2:** Valores medios de  $\delta^{13}\text{C}$ ‰ y  $\delta^{15}\text{N}$ ‰ y parámetros de calidad del colágeno (%C, %N y C:N) de las dos medidas analizadas para cada muestra. / Average values of  $\delta^{13}\text{C}$ ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$ ‰ and collagen quality parameters of the two measurements analyzed for each sample (%C, %N y C:N).

### Resultados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$



**Fig. 7.** Resultados de los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  del yacimiento de Karea y resultados faunísticos de los yacimientos de Santimamiñe y Pico Ramos. /  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotopic results of Karea site and faunistical results of Santimamiñe and Pico Ramos sites.

### 3.2.5.2. Análisis de isótopos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

Los análisis de isótopos de estroncio están basados en las proporciones de dos de sus isótopos ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) en diferentes zonas geológicas. Cada zona tiene unas proporciones concretas de estos dos isótopos de estroncio, entre 0.700 y 0.750, debido a que el isótopo radiogénico de estroncio deriva de la descomposición del rubidio ( $^{87}\text{Rb}$ ) y, por lo tanto, depende de la antigüedad de la roca y de procesos geológicos. Como consecuencia, las rocas más antiguas tienen los valores más altos de estroncio, puesto que llevan más tiempo sufriendo la descomposición del  $^{87}\text{Rb}$  (Bentley, 2006). Los valores de estroncio presentes en las rocas pasan a través de la cadena trófica hasta los tejidos corporales humanos, sin sufrir el fraccionamiento isotópico. En este estudio se ha tomado una muestra de esmalte y, además, muestras actuales de plantas y caracoles para establecer el estroncio biodisponible.

#### 3.2.5.2.1 Análisis de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en muestras actuales:

(1) Los caracoles se limpiaron manualmente, con agua destilada y un cepillo desechable, y tras un baño de ultrasonidos fueron trasladados al laboratorio limpio del *Department of Geological Sciences de la University of Cape Town* (Sudáfrica). Las muestras fueron introducidas en recipientes de teflón de 7 ml, para, a continuación recolectar el estroncio usando el sistema de separación química por columnas (Pin et al., 1994). (2) Las plantas, en cambio, fueron incineradas previo al mencionado proceso de recolección de estroncio por columnas.

Con el objetivo de generar una base de datos del estroncio biodisponible del entorno inmediato del yacimiento (Jurásico, Lias-Dogger; fuente: igme), se tomaron muestras actuales de cinco plantas (herbáceas y arbustivas) y cinco caracoles. Los taxones botánicos seleccionados fueron los siguientes: *Smilax aspera*, *Hedera hélix*, *Cyatheales*, *Rosaceae*, *Poaceae*. Todas las muestras de caracoles eran de la especie *Helix aspersa*.

#### 3.2.5.2.2. Análisis de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en muestras arqueológicas:

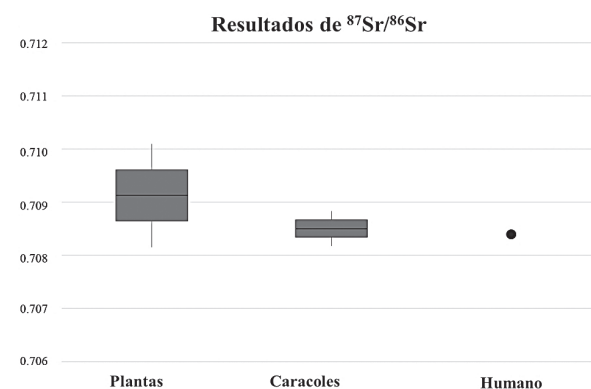
Tras la obtención y limpieza de, aproximadamente, 20mg de esmalte se procede a la digestión de la muestra en  $\text{HNO}_3$ , y previo al proceso de columnas, fueron calculadas las concentraciones de Sr (Cope land et al., 2008), con el fin de establecer que no ha habido contaminación diagenética. La fracción fue finalmente diluida a una concentración de Sr 200 ppb para el análisis utilizando un *Nu Instruments Un Plasma HR MC-ICP-MS*. Los análisis fueron referenciados con NIST SRM987, usando el valor de referencia  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.710255. Todos los datos de isótopos de estroncio fueron corregidos para la interferencia isobárica del rubidio 87, la señal medida por  $^{85}\text{Rb}$  y el ratio natural  $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb}$ . El fraccionamiento de masa instrumental fue corregido usando el ratio medido de  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  y la ley exponencial y el valor real de  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  de 0.1194, los ratios  $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  representados en la tabla 3 entran dentro de los parámetros esperados.

Para proceder con el análisis de isótopos de estroncio se muestreó un segundo molar, del cual se tomaron 20 mg de esmalte dentario tras eliminar la capa superficial del mismo mediante una fresa pulidora de diamante acoplada a un Dremmel.

Muestra S-UCT	Material	Concentración Sr (ppm)	$^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr (V)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
18103	<i>Smilax aspera</i>	-	0.056574	7.91	0.708609
18104	<i>Hedera hélix</i>	-	0.056545	7.79	0.708796
18105	<i>Cyatheales</i>	-	0.056542	7.08	0.708956
18106	<i>Rosaceae</i>	-	0.056308	5.56	0.709630
18107	<i>Poaceae</i>	-	0.056546	6.15	0.709657
18204	Caracol	-	0.056602	8.79	0.708452
18205	Caracol	-	0.056563	7.37	0.708281
18206	Caracol	-	0.056648	6.74	0.708542
18207	Caracol	-	0.056552	6.03	0.708520
18208	Caracol	-	0.056567	7.11	0.708737
18265	M2 Humano	73.77	0.056587	7.17	0.708398

**Tabla 3:** Lista de las muestras actuales y muestra fósil de Karea. Las concentraciones han sido realizadas únicamente en la muestra fósil con el fin de comprobar su estado de preservación. / List of current samples and sample of Karea. In order to verify its state of preservation only Karea concentrations have been analyzed.

Los resultados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de las muestras actuales de plantas y caracoles (n=10) para el cálculo de los valores biodisponibles del entorno geológico del yacimiento de Karea, que se abre sobre un substrato del Jurásico, se encuentran en el rango de  $0.708737 \pm 0.000474$  ( $1\sigma$ ) como se ve ilustrado en la tabla 3. El resultado isotópico de estroncio obtenido para la muestra de molar (0.708398) coincide plenamente con el rango biodisponible obtenido, tal y como podemos observar en la figura 8.



**Fig. 8.** Resultados de los ratios isotópicos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de las plantas, caracoles y la muestra dentaria humana. / Results of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopic ratios of plants, snails and human tooth sample.

#### 4. DATACIÓN MEDIANTE $^{14}\text{C}$

La datación de  $^{14}\text{C}$  fue realizada sobre un fragmento de costilla del individuo que fue recogida *in situ*. Dicha muestra fue procesada por la *Oxford Radiocarbon Accelerator Unit* (ORAU) de la *University of Oxford* (Reino Unido) que dio como resultado una fecha radiocarbónica de  $4125 \pm 35$  años ( $4686 \pm 96$  cal BP). Fecha que correspondería a época Calcolítica (figura 9).

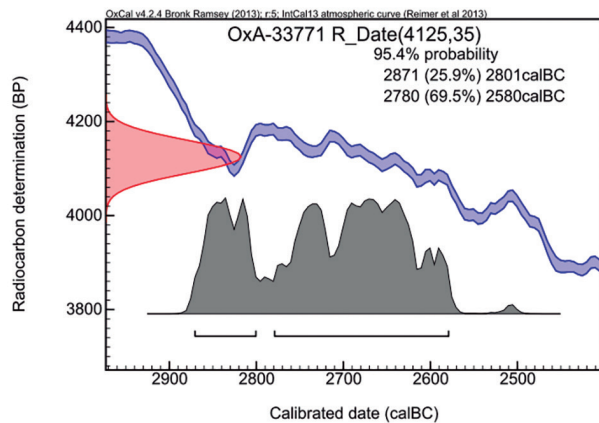


Fig. 9. Gráfica de calibración de Karea-B. / Calibration graph of Karea-B.

#### 5. DISCUSIÓN

Concluido el estudio material de Karea podemos afirmar que estamos frente a un yacimiento de finalidad dual cuyo marco cronológico comprende cronologías del Calcolítico a la Edad del Bronce. A pesar de haber obtenido una datación de  $^{14}\text{C}$  que sitúa la inhumación de Karea-B en época Calcolítica, en lo que respecta a Karea-A no ha podido establecerse cronología absoluta. Por ello, hemos tenido que basarnos en las características de los fragmentos cerámicos recuperados y a modo de cronología relativa establecer que el depósito de Karea-A estaría más próximo a la Edad del Bronce. Por este motivo, y teniendo en cuenta el yacimiento en todo su conjunto, hemos consensuado que lo adecuado es situar la cronología de Karea dentro de una horquilla cultural amplia (Gorrotxategi y Yarritu, 1990).

Los restos arqueológicos recuperados en Karea-A parecen indicar que la ocupación de la misma fue breve y puntual. Este tipo de ocupaciones temporales se han documentado durante el Neolítico y la Edad de los Metales en cuevas como Anton Koba (Aranzazu), Lokatza (Ataun) o Ermitia (Deba) (Altuna et al., 1982, 1995) y han sido atribuidas a grupos ganaderos trashumantes (Edeso et al., 2010; Edeso y Mujika, 2012). Es muy probable, por lo tanto, y a falta de estudios que aporten más información de la zona, que la ocupación de Karea-A se diese por parte de grupos ganaderos trashumantes de la Edad del Bronce. Este planteamiento se ve reforzado si tenemos en cuenta que Karea está situada en un emplazamiento próximo a los valles fluvia-

les del Urola y el Oria, y que con las mejoras climáticas del Holoceno sería un buen enclave para llevar a cabo diversas actividades como, por ejemplo, la ganadería (Ontañón y Armendariz, 2005). Asimismo, las propias características de la cueva la convertirían en un buen lugar donde establecer un refugio temporal ya que la entrada era accesible y la galería adecuada para albergar a un pequeño grupo de personas. En cronologías de la Edad del Bronce y en el Valle del Urola podríamos establecer paralelismos con Danbolin (Zestoa), Aitze (Zestoa) o Urkitte-Aitz II (Azkoitia), entre otras (Altuna et al., 1982, 1995).

La actividad de estos grupos ganaderos trashumantes es posiblemente uno de los factores que determine la presencia de cuevas de carácter sepulcral en zonas de montaña (Mujika y Edeso, 2011). Estos grupos, en determinados momentos, se verían en la necesidad de llevar a cabo alguna inhumación y teniendo en cuenta que ocupaban zonas kársticas, es lógico pensar que hiciesen uso de cuevas próximas o incluso de aquellas que habitaban o habían habitado (Edeso y Mujika, 2012). Por tanto, y en relación a esto último, pueden identificarse diferentes modelos de ocupación o uso. Armendariz y Etxeberria (1995), por ejemplo, establecen tres modelos: 1) cavidades con uso habitacional y funerario superpuesto; 2) aquellas que contienen ocupación y uso funerario contemporáneo y 3) cuevas de uso exclusivamente funerario. Por otra parte, Sarobe (2012) señala que pueden identificarse dos tipos de cavidades sepulcrales: a) cuevas amplias y de fácil acceso que tienen espacios habitacionales y b) cuevas estrechas y de difícil acceso, donde solo se da la presencia de enterramientos. En lo referente a Karea, suponiendo que el derrumbe que separó Karea-A y Karea-B se dio en fechas posteriores y en base a las cronologías establecidas, estaríamos frente a una cueva amplia de fácil acceso y donde se superponen una inhumación calcolítica y una ocupación breve de la Edad del Bronce. En lo que respecta a la localización de los depósitos funerarios dentro de las cuevas y aunque puedan observarse ubicaciones, dimensiones u orientaciones diversas, queda de manifiesto que los grupos humanos tenían cierta tendencia a depositar los cuerpos en pequeños lugares intrínsecos y/o de difícil acceso con la intención de proteger o resguardar los cuerpos (Armendariz, 1983, 1992, 1997, 1999; Armendariz y Etxeberria, 1983). Es probable, y a pesar de que se propone de manera generalizada que depositaban los cuerpos directamente en el suelo, que adecuasen la zona para proteger el depósito funerario: construcción de muretes, estructura de madera... (Mujika y Edeso, 2011). La ubicación de la inhumación de Karea-B en una gatera lateral estrecha y alejada de la entrada, junto a no ser detectable a primera vista, corrobora esa tendencia de proteger el cadáver; tendencia que también puede observarse en cavidades de cronología calcolítica como Amalda IV (Zestoa), Astui-Gaina (Zestoa) o Akaitztxiki II (Enirio-Aralar), entre otras (Altuna et al,

1995). En lo referente a la presencia de estructuras en Karea-B, tenemos que indicar que no se detectó ningún vestigio de ello.

Los estudios antropológicos realizados sobre los restos humanos de Karea-B por su parte, dejan de manifiesto que se depositó un único cadáver, al igual que en las ya citadas Amalda IV (Zestoa) o Astui-Gaina (Zestoa). Las cuevas sepulcrales sin embargo, y por norma general, eran empleadas para albergar inhumaciones colectivas (Armendariz, 1990, 1992; Armendariz y Etxeberria, 1995), siendo ejemplo de ello Jentiletxeta I (Mutriku), Iruaxpe I (Aretxabaleta) o Urtao II (Oñati) (Altuna et al., 1995). Esta diferenciación en el número de personas inhumadas, no obstante, podría estar relacionada con la propia composición de los grupos. Las cuevas con un único o escaso número de individuos, como sería Karea, podrían tener relación con pequeñas agrupaciones humanas cuya ocupación de la zona fuese, posiblemente, puntual; por el contrario, las cavidades sepulcrales donde el número de inhumados es mayor, podrían ser reflejo de grupos humanos de mayor tamaño que llevaron a cabo una ocupación más prolongada o intensa de la zona (Edeso et al., 2010; Mujika y Edeso, 2011). Por otra parte, e independientemente del número de personas inhumadas, ha podido determinarse que en las cuevas sepulcrales no hay sesgos en relación al sexo o la edad (Ontañón y Armendariz, 2005). Al hilo de esto, y retomando los datos del estudio antropológico, podemos establecer que el individuo de Karea-B se trataría de un hombre joven del Calcolítico que, y teniendo en cuenta lo expuesto en este apartado, pudo pertenecer a un pequeño grupo que se encontraba de pastoreo o de paso por la zona de Karea (a falta de estudios que, como ya hemos dicho anteriormente, aporten más información en torno a la zona y las dinámicas de los grupos humanos).

En lo referente a los resultados de isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de Karea-B, estos muestran un consumo mayoritario de proteínas de origen terrestre tipo  $\text{C}_3$ , coherente con los patrones de alimentación esperables para esta cronología. A nivel isotópico, no hay rastro de consumo de recursos marinos, y posiblemente tampoco de recursos de agua dulce, a pesar de la cercanía a los recursos fluviales de los ríos de Irueta y Bero, ambos afluentes del río San Pedro que desemboca en el Oria. Esto no quiere decir que no consumieran recursos acuáticos, sino que no lo hacían en cantidades suficientes como para reflejarse en la signatura del colágeno óseo. Respecto a la relación de estos resultados con los obtenidos en otras investigaciones en zonas cercanas, podemos afirmar que encajan a la perfección con los datos previos: con Pico Ramos y Santimamiñe de la costa vizcaína (Sarasketa-Gartzia et al., 2017), con el yacimiento neolítico de Cotero de la Mina y el de la Edad de Bronce La Garma A en Cantabria (Arias, 2005), con los alaveses Fuente Hoz y Kurtzebide (Sarasketa-Gartzia et al., 2018) por un lado, y Las Yurdinas II, Los Husos, Peña Larga, El Sotillo, Alto de la Huesera, La Chabola

de la Hechicera y Longar por otro (Fernández-Crespo y Schulting, 2017) y finalmente el único yacimiento de Gipuzkoa publicado hasta el momento, el yacimiento de Ondarre de la Edad de Bronce (Fernández-Crespo et al., 2016). Todos ellos muestran un consumo mayoritario de alimentos terrestres de tipo  $\text{C}_3$ , con pequeñas variaciones, para cronologías postneolíticas. Es reseñable, por lo tanto, que a partir del Neolítico el ser humano parece dar la espalda a la costa y a sus posibles recursos, incluso encontrándose a pocos kilómetros de la misma; tal y como hemos podido comprobar, no sólo en Karea sino también en otros yacimientos costeros como los mencionados Pico Ramos y Santimamiñe.

Los resultados de ratios de isótopos de estroncio, por su parte, serían compatibles con que el individuo viviera durante su infancia en el entorno geológico en que se enmarca el yacimiento, o bien con otras zonas de afloramiento del Jurásico (teniendo en cuenta que el molar analizado se trata de un M2, cuyo periodo de mineralización se desarrolla entre el nacimiento y los 10 meses de edad (Bentley, 2006)). Este patrón lo podemos relacionar, al igual que lo que ocurre con los resultados de isótopos estables de carbono y nitrógeno, con la hipótesis tradicional que ha caracterizado el periodo Calcolítico con el sedentarismo. Desgraciadamente, los análisis de estroncio en Gipuzkoa son inexistentes para cronologías prehistóricas, por lo que no es posible establecer relaciones entre resultados de diferentes yacimientos de la zona cercana. Sin embargo, podemos comparar los datos expuestos en el presente artículo con los realizados en los yacimientos de Pico Ramos y Santimamiñe en Bizkaia (Sarasketa-Gartzia et al., 2017), los alaveses Fuente Hoz y Kurtzebide (Sarasketa-Gartzia et al., 2018) y el yacimiento aragonés de la cueva de San Juan (Villalba-Mouco et al., 2017). Si tenemos en cuenta estos datos, observamos diferentes patrones en función de la zona geográfica. Si bien así como los yacimientos vizcaínos y alaveses destacan por su alto grado de movilidad, menos de un 20% de los individuos del yacimiento aragonés mostraron valores de estroncio alóctonos. Por lo tanto, debemos reseñar la alta variabilidad y aparente contradicción en los patrones de movilidad de los diferentes individuos analizados hasta ahora en las zonas cercanas para esta cronología.

Para finalizar con este apartado, nos centraremos en los restos faunísticos y cerámicos recuperados, así como en los vestigios de fuego detectados en el depósito funerario de Karea-B. La presencia de fragmentos cerámicos en los ajuares de las cuevas sepulcrales sería un hecho habitual (Apellániz, 1975) y en el caso de Karea-B así se verifica, habiéndose recuperado varios fragmentos que corresponderían a dos recipientes decorados de tamaño considerable. La decoración y tipología de estos sin embargo, parecen contradecir la cronología calcolítica obtenida por la datación de  $^{14}\text{C}$ , ya que la forma carenada de uno y la decoración plástica del otro, encajarían mejor en cronologías del

Bronce. Esto en principio, resulta contradictorio pero teniendo en cuenta la ocupación de la Edad del Bronce de Karea-A, estos fragmentos pudieron ser depositados por ese mismo grupo. Si partimos de la base de que los grupos ganaderos podían recurrir de manera sistemática a zonas que conocían (Edeso et al., 2010; Edeso y Mujika, 2012) podrían conocer la existencia de la inhumación previa; y por ello, a la vez que habitaron la cueva, depositar la cerámica. En lo referente a los restos faunísticos recuperados en los ajuares funerarios de las cuevas sepulcrales, se aprecia una selección de piezas donde priman los huesos largos, y que según Apellániz (1975) se daría de manera intencionada. En el caso de Karea-B se confirma la preferencia de huesos largos pero no podemos afirmar si hubo intencionalidad en esa selección. En lo que respecta a las especies identificadas, *Bos taurus* y un ovicáprido, su presencia podría estar relacionada, una vez más, con las características de los grupos humanos ya que durante el Calcolítico el ganado mayoritariamente era ovino, y en cronologías posteriores como el Bronce, predominó el bovino (Edeso y Mujika, 2010). Asumiendo que este fuese el ajuar funerario, podemos concluir que se trataba de un conjunto modesto. Armendariz y Etxeberria (1995) destacan el carácter selectivo y modesto de los ajuares recuperados en las cuevas sepulcrales guipuzcoanas como Aintzulo (Errezil), Amalda IV (Zestoa) o Astui-Gaina (Zestoa) (Altuna et al., 1995). Debemos indicar a su vez, que no debe desecharse la posibilidad de que se depositasen elementos de carácter perecedero junto a los cadáveres y que por lo tanto, no tengamos una representación real de los mismos.

Respecto a la presencia de carbón previo a la inhumación de Karea-B, se podría plantear que el cadáver en cuestión hubiese sido cremado o incinerado. Sin embargo, y en el caso que nos ocupa, no se aprecian alteraciones térmicas o fracturas de los huesos por exposición al fuego (Fernández-Crespo, 2016). Dicha alteración tampoco se ha detectado en los restos cerámicos ni faunísticos. Por tanto, quedaría descartada la práctica de cremación o incineración del cuerpo, dando pie a otro tipo de interpretaciones. En relación a la presencia de fuego en cuevas sepulcrales, Apellániz (1975) plantea el uso de este como una práctica funeraria ritual, mientras que Andrés (1977, 1979) lo interpreta como una medida de orden práctico para albergar futuras inhumaciones. Ontañón y Armendariz por su parte (2005), exponen que a pesar de haberse encontrado en alguna ocasión señales de ello, no hay constancia de que se realizasen cremaciones en estos contextos sepulcrales de manera sistemática.

## 6. CONCLUSIONES

El yacimiento de Karea está compuesto por una inhumación calcolítica y una ocupación de baja intensidad de la Edad del Bronce. En lo que respecta al depósito funerario, vemos que sigue la tendencia de otras

cuevas del Valle del Urola al ser un depósito funerario de un único individuo, situado en un espacio reducido de difícil acceso, y con un ajuar modesto. Los análisis isotópicos realizados al individuo de Karea, dejan patente la importancia de los recursos terrestres tipo C<sub>3</sub> en la alimentación del mismo. De igual manera, los datos obtenidos de estroncio muestran una posible procedencia local del individuo, coherente con lo esperado en una cronología calcolítica. La presencia de carbones en los niveles previos al depósito funerario resulta interesante ya que, ni en los huesos humanos ni en el resto de materiales recuperados, se aprecia exposición al fuego, pudiendo haberse empleado con fines higiénicos o rituales. La ocupación del Bronce por su parte, correspondería a una breve y puntual estancia por parte de grupos ganaderos trashumantes.

La cueva de Karea no solo aporta información que corrobora las teorías expuestas a partir del estudio de otras cavidades de carácter sepulcral. Su descubrimiento también pone de manifiesto que todavía desconocemos parte de la prehistoria guipuzcoana. Se espera que, en futuras investigaciones y a medida que avancen las excavaciones en esta zona, podamos obtener más datos en torno a los comportamientos y dinámicas sociales de estos grupos, además de generar un corpus de datos isotópicos de las diferentes zonas geográficas del tercio norte peninsular, que nos ayuden a comprender los patrones de alimentación y movilidad territorial en la Prehistoria de la región. Por tanto, y como ya han manifestado otros investigadores con anterioridad (Armendáriz y Etxeberria, 1983; Sarobe, 2012), vemos necesario impulsar la investigación de este tipo de cavidades, no solo con el fin de darlas a conocer, sino de completar la Prehistoria guipuzcoana desde un punto de vista más amplio. Para ello, es necesario impulsar y publicar los estudios multidisciplinares de aquellos materiales recuperados en intervenciones arqueológicas.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo constituyó el nicho de la TFM de la primera firmante en el Máster de Cuaternario: Cambios Ambientales y Huella Humana de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. AAM e ISG se benefician de una beca predoctoral concedida por el Gobierno Vasco. AAM, ISG y AA están parcialmente financiados por el proyecto de investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación de España HAR2014-53536-P (La ruta occidental del poblamiento de la Península Ibérica durante el Paleolítico medio y superior), y el Grupo de Investigación de Prehistoria de la Universidad del País Vasco (IT-622-13). Especial agradecimiento a Vanessa Villalba, Fayrooza Rawoot, Kerry Gray e Ian Newton por la asistencia técnica, y a Christel Tinguely por los valores de las concentraciones de Sr. Gracias también a E. Azpeitia por su colaboración en la localización del yacimiento.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

Altuna, J.; Armendariz, A., Barrio, L. Del, Etxeberria, F., Mariezcurrera, K., Zumalabe, F. J. y Peñalver, J., 1982. Carta Arqueológica de Gipuzkoa. *Munibe* 34, 1-242.

Altuna, J.; Armendariz, A., Barrio, L. Del, Etxeberria, F., Mariezcurrera, K., Zumalabe, F. J. y Peñalver, J., 1995. Carta Arqueológica de Gipuzkoa. II. Cuevas. *Munibe Antropología-Arqueología*, Suplemento 10.

Ambrose, S.H., 1993. Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretative considerations. In: Stanford, M.K. (Ed.), *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology*. Gordon and Breach Science Publishers, Langhorne, 59-130.

Andrés, M.T., 1977. Las estructuras funerarias del Neolítico y Eneolítico en la Cuenca Media del Ebro. *Príncipe de Viana* 146/147.

Andrés, M.T., 1979. Ritos funerarios de la Cuenca Media del Ebro. Neolítico y Eneolítico. *Berceo* 97, 3-25

Antxieta Jakintza Taldea, 2009. C. Gipuzkoa, C.31. Varios, C.31.8. Ikuluteko Gaiñe y Cueva de Karea (Aia, Gipuzkoa). *Arkeoikuska* 2008, 453. Departamento de Cultura, Eusko Jaurlaritza.

Apellániz, J.M., 1973. Corpus de materiales de las culturas prehistóricas con cerámica de la población de cavernas del País Vasco meridional. *Munibe Ciencias Naturales*, Suplemento 1, 1-361.

Apellániz, J.M., 1975. El grupo de Santimamiñe durante la Prehistoria con cerámica. *Munibe Antropología-Arqueología* 27, Fascículo 1-2, 2-132.

Armendariz, A., 1988. Vaso campaniforme cordado de la cueva de Amalda II (Cestona, Gipuzkoa). *Munibe Antropología-Arqueología* 40, 83-88.

Armendariz, A., 1990. Las cuevas sepulcrales en el País Vasco. *Munibe Antropología-Arqueología* 42, 153-160.

Armendariz, A., 1992. La idea de la muerte y los rituales funerarios durante la Prehistoria en el País Vasco. *Munibe Antropología-Arqueología*, Suplemento 8, 13-22.

Armendariz, A., 1994. El mundo funerario en épocas prehistóricas. *Cuadernos de Sección, Ciencias Médicas* 3, 161-167.

Armendariz, A., 1997. Neolítico y Calcolítico en el País Vasco Peninsular. *Isturitz* 7, 23-36.

Armendariz, A. y Etxeberria, F., 1983. Las cuevas sepulcrales de la Edad de Bronce en Gipuzkoa. *Munibe Antropología-Arqueología* 35, 247-354.

Armendariz, A. y Etxeberria, F., 1995. Revisión del fenómeno funerario en las cuevas sepulcrales del País Vasco. In: Bertranpetit, J., Vives, E. (Ed.), *Muntayes i Població. El passat dels Pirineus des d'una perspectiva multidisciplinària*. Centre de Trobada de les Cultures Pirinenques.

Bentley, R., 2006. Strontium isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review. *Journal of Archaeological Method and Theory* 13, 135-187.

Brothwell, D.R., 1981. *Digging up bones* (3rd ed.). Cornell University Press, Ithaca, New York.

Brown, T.A., Nelson, D.E., Vogel, J.S. y Southon, J.R., 1988. Improved Collagen Extraction by Modified Longin Method. *Radiocarbon* 30, 171-177.

Caruso-Fermé, L., 2013. *Los recursos vegetales en arqueología*. Editorial Dunken, Buenos Aires.

Copeland, S.R., Sponheimer, M., LeRoux, P.J., Grimes, V., Lee-Thorp, J.A., De Ruiter, D.J. y Richards, M.P., 2008. Strontium isotope ratios ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) of tooth enamel: a comparison of solution and laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry methods. *Rapid communications in mass spectrometry* 22, 3187-3194.

De Niro, M.J. y Epstein S., 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 495-506.

De Niro, M.J. y Epstein S., 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45, 341-351.

Edeso, J.M., Mendizábal, M. y Mujika, J.A., 2010. Estrategias de gestión de los recursos de montaña por las poblaciones dolménicas y contemporáneas en el Pirineo Occidental en: Fernández Eraso, J. y Mujika J.A. (coord.), 2010. *Actas del Congreso Internacional sobre Megalitismo y Otras Manifestaciones Funerarias Contemporáneas en su Contexto Social, Económico y Cultural*. *Munibe, Suplemento* 32, 368-388.

Edeso, J.M. y Mujika, J.A., 2012. Megalitismo y cuevas sepulcrales en Gipuzkoa. Distribución espacial y características generales. *Isturitz* 12, 83-114.

Fernández-Crespo, T., 2016. El papel del fuego en los enterramientos neolíticos finales/calcolíticos iniciales de los abrigos de la Sierra de Cantabria y sus estribaciones (valle medio-alto del Ebro). *Trabajos de Prehistoria* 73 (1), 128-146.

Fernández-Crespo, T., Mujika, J.A. y Ordoño, J. (2016). Aproximación al patrón alimentario de los inhumados en la cista de la Edad del Bronce de Ondarre (Aralar, Guipúzcoa) a través del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno sobre colágeno óseo. *Trabajos de Prehistoria* 73 (2), 325-334.

Fernández-Crespo, T. y Schulting, R.J. (2017). Living different lives: early social differentiation identified through linking mortuary and isotopic variability in Late Neolithic/Early Chalcolithic north-central Spain. *PLoS One* 12(9), e0177881.

France, D.L., 2009. *Human and Nonhuman Bone Identification*. A Color Atlas. CRC Press, United States.

Gorrotxategi, J. y Yarritu, M.J., 1990. El Complejo Cultural del Neolítico Final-Edad del Bronce en el País Vasco Cantábrico. *Munibe Antropología-Arqueología* 42, 107-123.

Iriarte-Chiapusso, M. J., 2010. C. Gipuzkoa, C.1. Aia, C.1.2. Cueva de Karea. *Arkeoikuska* 2009, 325. Departamento de Cultura, Eusko Jaurlaritza.

Jantz, R. L., 1993. Modifying stature estimation from the femur and tibia: Author's response. *Journal of Forensic Sciences* 38:760-763.

König, H.E. y Liebich, H.G., 2004. *Anatomía de los animales domésticos. Tomo 1: Aparato Locomotor*. Editorial Médica Panamericana, Argentina.

Longin, R. 1971. New Method of Collagen Extraction for Radiocarbon Dating. *Nature* 230, 241-242.

Minawaga, M. y Wada, E., 1984. Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1135-1140.

Mujika, J.A. y Edeso, J.M., 2011. Los primeros agricultores y ganaderos trashumantes en Gipuzkoa del Neolítico a la Edad del Hierro. Diputación Foral de Gipuzkoa, Donostia.

Ontañón, R. y Armendariz, A., 2005. Cuevas y megalitos: los contextos sepulcrales colectivos en la Prehistoria reciente Cantábrica. *Munibe Antropología-Arqueología* 57, 275-286.

- Pin, C., Briot, D., Bassin, C. y Poitrasson, F., 1994. Concomitant separation of strontium and samarium-neodymium for isotopic analysis in silicate samples, based on specific extraction chromatography. *Analytica Chimica Acta* 298, 209–217.
- Richards, M.P., Douglas, T., Koch, E., 2003. Mesolithic and Neolithic subsistence in Denmark: New isotope data. *Current Anthropology* 44 (2), 288–295.
- Richards, M.P. y Hedges, R.E.M. 1999. Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by Late Mesolithic humans at sites along the Atlantic Coast of Europe. *Journal of Archaeological Science* 26, 712–722.
- 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. In: Flors, E. (Coord.), *Monografies de Prehistòria i Arqueologia Castellonenque, 8: Torre la Sal (Ribera de Cabanes, Castellón), evolución del paisaje antrópico desde la prehistoria hasta el Medioevo*, 411–418. Servei d' investigacions arqueològiques i prehistòriques, Castelló.
- Salazar-García, D.C. y Silva Pinto, V., 2017. Isótopos en la Prehistoria y Arqueología Valencianas. *Saguntum Extra* 19, 75–91.
- Sarasketa-Gartzia, I., Villalba-Mouco, V., Le Roux, P., Arrizabalaga, A. y Salazar-García, D.C., 2017. Late Neolithic-Chalcolithic socio-economical dynamics in northern Iberia. A multi-isotope study on diet and provenance from Santimamiñe and Pico Ramos archaeological sites (Basque Country, Spain). *Quaternary International* 481, 14–27.
- Sarasketa-Gartzia, I., Villalba-Mouco, V., Le Roux, P., Arrizabalaga, A. y Salazar-García, D.C., 2018. Anthropoc resource exploitation and use of the territory at the onset of social complexity in the Western Pyrenees: a multi-isotope approach. *Archaeological and Anthropological Science. Springer Special Issue*. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0678-7>
- Sarobe, O., 2012. La investigación de las cuevas sepulcrales de Gipuzkoa. Pasado, presente y futuro. In: Fernández Eraso, J.M.; Mujika, J.A., Actas del Congreso Internacional sobre Megalitismo y otras manifestaciones funerarias contemporáneas en su contexto social, económico y cultural. *Munibe Antropología-Arqueología*, Suplemento 32, 598–605.
- Schoeninger, M.J. y De Niro, M.J., 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 625–639.
- Schweingruber, F.H., 1990. *Mikroskopische Holzanatomie*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
- Tapia, J., Ceberio, M., 2011. Los yacimientos en cueva de Gipuzkoa. Un balance de su estado de conservación. *Munibe Antropología-Arqueología* 62, 499–515.
- Tauber, H. 1981. <sup>13</sup>C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark. *Nature* 292, 332–333.
- Trotter, M. y Gleser, G.C., 1958. A re-evaluation of estimation of stature based on measurements of stature taken during life and of long bones after death. *American Journal of Physical Anthropology* 16: 79–123.
- Van der Merwe, N.J. y Vogel, J.C., 1978. <sup>13</sup>C content of human collagen as a measure of Prehistoric diet in Woodland North America. *Nature* 276, 815–816.
- Van Klinken, G.J., 1999. Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *Journal of Archaeological Science* 26, 687–695.
- Villalba-Mouco, V., Sauqué, V., Sarasketa-Gartzia, I., Pastor, M.V., le Roux, P.J., Vicente, D., Utrilla, P. y Salazar-García, D.C. 2017. Territorial mobility and subsistence strategies during the Ebro Basin Late Neolithic-Chalcolithic: a multi-isotope approach from San Juan cave (Loarre, Spain). *Quaternary International* 481, 28–41.
- Walker, P.L., 2008. Sexing skulls using discriminant function analysis of visually assessed traits. *American Journal of Physical Anthropology* 136:39–50.
- White, T.D., Black, M.T. y Folkens, P.A., 2012. *Human osteology*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Zapata, L. y Peña-Chocarro, L., 2013. Macrorrestos vegetales arqueológicos en: García Díez, M.; Zapata, L. (Eds.), *Métodos y técnicas de análisis y estudio en arqueología prehistórica. De lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos*, 307–318. Euskal Herriko Unibertsitatea Argitalpen Zerbitzua, Leioa.