

**ESTUDIO ESPECTROSCÓPICO DE OBJETOS DE BRONCE  
PROCEDENTES DE LA SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA  
DEL CORTE J  
(CAMPO ALTO VICENTE SAGRERA. ULLASTRET) <sup>1</sup>**

FRANCISCO GRACIA ALONSO

Con intención de comprobar una posible evolución en la composición de las aleaciones de los objetos de bronce en diversos períodos cronológicos, así como de establecer posibles diferencias entre piezas de naturaleza diversa, y principalmente con ánimo de demostrar la fabricación de las mismas en el yacimiento por medio de la comparación de escorias y fragmentos de piezas terminadas de una misma procedencia locativa, intentando al mismo tiempo determinar la procedencia del mineral utilizado, procedimos a escoger una serie de veinticinco muestras de bronce provenientes del corte J, que junto al corte Q, situado a poca distancia del mismo, son las zonas que han aportado una mayor cantidad de elementos de bronce en el yacimiento de Ullastret. Separadas por estratos y pertenecientes a piezas diferenciadas, presentan la siguiente seriación:

- Pieza n.º 1. E II: escoria.
- Pieza n.º 2. E II: fragmento de vástago de sección circular.
- Pieza n.º 3. E III A: fragmento de fíbula.
- Pieza n.º 4. E IV A: escoria.
- Pieza n.º 5. E IV A: fragmento de vástago de aguja.
- Pieza n.º 6. E IV A: fragmento de fíbula zoomorfa.
- Pieza n.º 7. E IV A: resorte de fíbula zoomorfa.
- Pieza n.º 8. E IV B: escoria.
- Pieza n.º 9. E IV B: anilla.
- Pieza n.º 10. E IV C: fragmento de fíbula zoomorfa.
- Pieza n.º 11. E IV C: fragmento de pieza laminar.
- Pieza n.º 12. E V: escoria.
- Pieza n.º 13. E V: fragmento de fíbula de pie recto elevado.

1. Este trabajo forma parte de nuestra tesis de licenciatura, leída en Barcelona en septiembre de 1982. Las referencias a tipologías y cronologías deben ser consultadas en la misma; F. GRACIA ALONSO, *Mobiliario metálico en bronce, ibérico, del Puig de Sant Andreu. Ullastret*, III volúmenes + láminas, Barcelona 1982, inédita.

- Pieza n.º 14. E VI Este: fragmento de fíbula de pie recto elevado.  
 Pieza n.º 15. E VI Este: escoria.  
 Pieza n.º 16. E VI Este: escoria.  
 Pieza n.º 17. E VI Este: fragmento de vástago.  
 Pieza n.º 18. E VI Este: fragmento de instrumento quirúrgico.  
 Pieza n.º 19. E VI B: fragmento de placa.  
 Pieza n.º 20. E VI Oeste: escoria.  
 Pieza n.º 21. E VI Oeste: fragmento de vástago.  
 Pieza n.º 22. E VII: escoria.  
 Pieza n.º 23. E VII: fragmento de vástago.  
 Pieza n.º 24. E VII: fragmento de placa.  
 Pieza n.º 25. E VIII: fragmento de vástago.

Estratigráficamente, el corte J presenta la siguiente cronología:<sup>2</sup>

- Estratos IX-VIII: finales del siglo VI - inicios del siglo V a. de J. C.  
 Estratos VII-VI: segunda mitad del siglo V - finales del siglo V antes de J. C.  
 Estratos V-IV: finales del siglo V - inicios del siglo IV a. de J. C.  
 Estratos III-II: finales del siglo IV - mediados del siglo III a. de J. C.

Una vez tomadas las muestras, éstas fueron trasladadas al Servicio de Espectroscopia de la Universidad de Barcelona, donde las responsables del mismo, las doctoras Montserrat Baucells Vilella, Gloria Lacorte Reverter y Montserrat Roura Sala, procedieron a la preparación y estudio de las mismas, mediante la técnica de espectroscopia de emisión, realizando un análisis semicuantitativo de las mismas. El procedimiento seguido para ello fue el siguiente:

Se procedió en primer lugar al pesado de las muestras en una balanza de precisión tipo Mettler H-20 y a su ulterior introducción en crisoles de porcelana, siendo el resultado de las mediciones:

Muestra n.º 1:	85,89378 g
Muestra n.º 2:	crisol: 26,11561 g
	muestra: 26,64522 g (0,52961 mg)
Muestra n.º 3:	crisol: 28,97714 g
	muestra: 29,22725 g (0,24011 mg)
Muestra n.º 4:	crisol: 17,24608 g
	muestra: 17,55224 g (0,30616 mg)
Muestra n.º 5:	crisol: 18,22407 g
	muestra: 18,32151 g (0,09744 mg)

2. MARINA PICAZO, *La cerámica ática de Ullastret*, en *Publicaciones Eventuales*, n.º 28, Instituto de Arqueología y Prehistoria, 1977, 146 págs. + XXXIV láms.; CARMÉ RIERA CODINA, *La ceràmica a mà d'Ullastret*, en *Cypsela*, n.º III, S.T.I.A., Gerona, 1980, páginas 117-126.

Muestra n.º 6:	crisol:	18,06431 g	
	muestra:	18,23003 g	(0,16572 mg)
Muestra n.º 7:	crisol:	17,62879 g	
	muestra:	19,93152 g	(2,30272 mg)
Muestra n.º 8:	crisol:	16,83454 g	
	muestra:	17,04754 g	(0,213 mg)
Muestra n.º 9:	crisol:	19,91924 g	
	muestra:	20,19858 g	(0,27934 mg)
Muestra n.º 10:	crisol:	19,28716 g	
	muestra:	19,68475 g	(0,39757 mg)
Muestra n.º 11:	crisol:	24,89081 g	
	muestra:	25,11683 g	(0,22602 mg)
Muestra n.º 12:	crisol:	19,83562 g	
	muestra:	20,48021 g	(0,64459 mg)
Muestra n.º 13:	crisol:	19,52750 g	
	muestra:	19,96604 g	(0,43854 mg)
Muestra n.º 14:	crisol:	20,64689 g	
	muestra:	20,89439 g	(0,24750 mg)
Muestra n.º 15:	crisol:	17,24627 g	
	muestra:	17,61603 g	(0,36976 mg)
Muestra n.º 16:	crisol:	18,06577 g	
	muestra:	18,58878 g	(0,52301 mg)
Muestra n.º 17:	crisol:	18,22674 g	
	muestra:	18,33029 g	(0,10425 mg)
Muestra n.º 18:	crisol:	18,85028 g	
	muestra:	18,94475 g	(0,59447 mg)
Muestra n.º 19:	crisol:	48,02483 g	
	muestra:	48,35640 g	(0,33157 mg)
Muestra n.º 20:	crisol:	17,63155 g	
	muestra:	17,99772 g	(0,36617 mg)
Muestra n.º 21:	crisol:	19,52952 g	
	muestra:	19,76979 g	(0,24027 mg)
Muestra n.º 22:	crisol:	21,20607 g	
	muestra:	21,73763 g	(0,53156 mg)
Muestra n.º 23:	crisol:	19,83718 g	
	muestra:	20,14839 g	(0,31121 mg)
Muestra n.º 24:	crisol:	19,92071 g	
	muestra:	20,10469 g	(0,18398 mg)
Muestra n.º 25:	crisol:	19,28902 g	
	muestra:	19,60214 g	(0,31312 mg)

Tras esta operación, se procedió a atacar las muestras con 15 ml de ácido nítrico diluido a la mitad (HNO<sub>3</sub>, 4N), descomponiendo el material en dicha substancia y procediendo a la evaporación subsiguiente del líquido en una plancha calorífica con baño de arena a temperatura

constante cercana a los 100 °C., repitiéndose esta operación en tres ocasiones.

Una vez atacada la muestra se procede a su calcinado en un horno por espacio de seis horas, y a una temperatura constante de 500 °C., terminada la calcinación, se procedió a una nueva pesada del conjunto crisol-muestra, que arrojó los resultados siguientes:

Muestra n.º 1: 85,61976 g	Muestra n.º 14: 20,89271 g
Muestra n.º 2: 26,63795 g	Muestra n.º 15: 17,57295 g
Muestra n.º 3: 29,09941 g	Muestra n.º 16: 18,52731 g
Muestra n.º 4: 17,05577 g	Muestra n.º 17: 18,32036 g
Muestra n.º 5: 17,88801 g	Muestra n.º 18: 18,88771 g
Muestra n.º 6: 18,22998 g	Muestra n.º 19: 48,31439 g
Muestra n.º 7: 18,31951 g	Muestra n.º 20: 17,98022 g
Muestra n.º 8: 17,50614 g	Muestra n.º 21: 19,74902 g
Muestra n.º 9: 20,08584 g	Muestra n.º 22: 21,73425 g
Muestra n.º 10: 19,66664 g	Muestra n.º 23: 21,16301 g
Muestra n.º 11: 25,09107 g	Muestra n.º 24: 20,07811 g
Muestra n.º 12: 20,46065 g	Muestra n.º 25: 19,56677 g
Muestra n.º 13: 19,91369 g	

Posteriormente se recuperaron los restos de muestra, separándolos de los crisoles de porcelana, y se procedió a mezclarlos con dos catalizadores: Grafito (polvo) y Dióxido de Germanio ( $\text{GeO}_2$ ), en una proporción de 2 a 1 con respecto al dióxido de germanio y de 1 a 1 con relación al polvo de grafito, mezcla que tuvo por objeto conseguir una correcta reacción en el momento de la emisión y posterior impresión del espectro de la muestra.

Las mezclas proporcionales de estos tres elementos, dieron como resultados:

Muestra n.º 1:	Muestra n.º 4:
vegetal: 00,15336 g	vegetal: 00,18258 g
muestra: 00,18851 g (35,15 mg)	muestra: 00,21758 g (35 mg)
$\text{GeO}_2$ : 00,25897 g (105,15 mg)	$\text{GeO}_2$ : 00,28758 g (105 mg)
grafito: 00,29396 g (140,60 mg)	grafito: 00,32258 g (140 mg)
Muestra n.º 2:	Muestra n.º 5:
vegetal: 00,16000 g	vegetal: 00,15590 g
muestra: 00,19500 g (35 mg)	muestra: 00,19090 g (35 mg)
$\text{GeO}_2$ : 00,26500 g (105 mg)	$\text{GeO}_2$ : 00,26090 g (105 mg)
grafito: 00,30500 g (140 mg)	grafito: 00,29590 g (140 mg)
Muestra n.º 3:	Muestra n.º 6:
vegetal: 00,18475 g	vegetal: 00,17847 g
muestra: 00,21975 g (35 mg)	muestra: 00,21847 g (35 mg)
$\text{GeO}_2$ : 00,28975 g (105 mg)	$\text{GeO}_2$ : 00,28347 g (105 mg)
grafito: 00,32480 g (140 mg)	grafito: 00,31847 g (140 mg)

Muestra n.º 7:	GeO <sub>2</sub> : 00,22451 g (105 mg)
vegetal: 00,16134 g	grafito: 00,25951 g (140 mg)
muestra: 00,19634 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,26634 g (105 mg)	
grafito: 00,30134 g (140 mg)	
Muestra n.º 8:	
vegetal: 00,17880 g	
muestra: 00,21380 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,28380 g (105 mg)	
grafito: 00,31880 g (140 mg)	
Muestra n.º 9:	
vegetal: 00,19180 g	
muestra: 00,22680 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,29680 g (105 mg)	
grafito: 00,33180 g (140 mg)	
Muestra n.º 10:	
vegetal: 00,18648 g	
muestra: 00,22148 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,29148 g (105 mg)	
grafito: 00,32648 g (140 mg)	
Muestra n.º 11:	
vegetal: 00,20769 g	
muestra: 00,24269 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,31269 g (105 mg)	
grafito: 00,34769 g (140 mg)	
Muestra n.º 12:	
vegetal: 00,16482 g	
muestra: 00,19982 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,26982 g (105 mg)	
grafito: 00,30482 g (140 mg)	
Muestra n.º 13:	
vegetal: 00,13726 g	
muestra: 00,17226 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,24226 g (105 mg)	
grafito: 00,27726 g (140 mg)	
Muestra n.º 14:	
vegetal: 00,13811 g	
muestra: 00,17311 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,23311 g (105 mg)	
grafito: 00,27811 g (140 mg)	
Muestra n.º 15:	
vegetal: 00,11951 g	
muestra: 00,15451 g (35 mg)	
Muestra n.º 16:	
vegetal: 00,14940 g	
muestra: 00,18440 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,25440 g (105 mg)	
grafito: 00,28940 g (140 mg)	
Muestra n.º 17:	
vegetal: 00,16388 g	
muestra: 00,19888 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,26888 g (105 mg)	
grafito: 00,30388 g (140 mg)	
Muestra n.º 18:	
vegetal: 00,11697 g	
muestra: 00,15197 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,22197 g (105 mg)	
grafito: 00,25697 g (140 mg)	
Muestra n.º 19:	
vegetal: 00,15587 g	
muestra: 00,19087 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,26087 g (105 mg)	
grafito: 00,29587 g (140 mg)	
Muestra n.º 20:	
vegetal: 00,11888 g	
muestra: 00,15388 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,22388 g (105 mg)	
grafito: 00,25888 g (140 mg)	
Muestra n.º 21:	
vegetal: 00,12991 g	
muestra: 00,16491 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,23491 g (105 mg)	
grafito: 00,26991 g (140 mg)	
Muestra n.º 22:	
vegetal: 00,13119 g	
muestra: 00,16619 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,23619 g (105 mg)	
grafito: 00,27119 g (140 mg)	
Muestra n.º 23:	
vegetal: 00,13242 g	
muestra: 00,16742 g (35 mg)	
GeO <sub>2</sub> : 00,23742 g (105 mg)	
grafito: 00,27242 g (140 mg)	

Muestra n.º 24:

vegetal: 00,14474 g  
 muestra: 00,17974 g (35 mg)  
 GeO<sub>2</sub>: 00,24974 g (105 mg)  
 grafito: 00,28474 g (140 mg)

Muestra n.º 25:

vegetal: 00,13715 g  
 muestra: 00,17215 g (35 mg)  
 GeO<sub>2</sub>: 00,24215 g (105 mg)  
 grafito: 00,27715 g (140 mg)

Las mezclas de los tres elementos se disponen en tubos de plástico herméticos, añadiendo en su interior tres bolitas de polivinilo al objeto de impedir su amalgama, efectuado lo cual se traslada a un homogeneizador Mixer-Mill Spex 8000, donde se dispone por espacio de diez minutos. Efectuada esta operación, de la mezcla resultante se pesan por duplicado 40 mg que, dispuestos en alveolos situados en la parte superior de barras de grafito, constituirán la parte de preparación que soportará la emisión espectrográfica, realizada bajo las siguientes condiciones:

Espectrógrafo de red Jarell-Ash, tipo Ebert, de 3,4 m.

Reja de entrada: 8  $\mu$ m.

Placas: Spectrum analysis n.º 1. Kodak.

Electrodos: JMC Grado II.

Zona espectral analizada: 2400 A - 3600 A.

Excitación: Arco de corriente continua.

Los resultados obtenidos del análisis de las placas impresionadas, dados en ppm ( $g = 1/10.000$ ), son los que figuran en las páginas 309 y 310.

En todas las muestras se detecta, asimismo, la presencia de silicio, aunque no se especifica su cantidad.

Como se aprecia en las tablas, no aparece explicitada la cantidad de cobre presente en cada muestra; en todas ellas el cobre es el elemento abrumadoramente mayoritario, pero al ser las franjas producidas en las placas espectrográficas de un grosor muy superior a los patrones de medición empleados (las mediciones se realizan por comparación con el espectro del hierro), no pueden ser expresadas de forma numérica. Por este motivo se procedió a realizar con fragmentos de bronce de las muestras n.ºs 1, 4, 7, 8, 11 y 19, representativos de los distintos estratos, un análisis mayoritario de cobre por espectrofotometría de absorción atómica, cuyo proceso de elaboración fue el siguiente:

Se procedió al pesado de las muestras en una balanza de precisión Mettler H-20, y a su posterior introducción en crisoles de porcelana, siendo el resultado de las mediciones:

muestra	ba	fe	mn	mg	pb	sn	cr	ti	ni	al	be
n° 1	96,32	2429,09	15,99	> 0,5%	1,5%	> 1%	41,59	157,16	95,95	2635,16	< 7
n° 2	< 40	98,32	< 20	> 0,5%	1470,45	>> 1%	< 20	< 21	137,83	< 22	< 7
n° 3	78,98	1845,58	16,96	> 0,5%	363,93	>>> 1%	94,81	139,47	55,05	2377,48	< 7
n° 4	< 40	1666,29	12,43	> 0,5%	737,60	>> 1%	12,93	80,72	126,79	1668,03	< 7
n° 5	354,02	4055,97	12,99	> 0,5%	907,39	>> 1%	2,53	471,65	26,15	6624,64	< 7
n° 6	82,16	1196,5	4,28	> 0,5%	1285,40	>>> 1%	< 20	137,26	44,51	1961,66	< 7
n° 7	< 40	344,29	4,29	> 0,5%	1035,17	>>> 1%	< 20	21	62,64	231,20	< 7
n° 8	434,96	10173,54	64,22	> 0,5%	535,55	131,31	17,45	827,81	14,50	2%	< 7
n° 9	< 40	1168,15	6,43	> 0,5%	1'5%	>>> 1%	24,32	≈ 20	32,06	418,35	< 7
n° 10	84,20	1438,21	18,66	> 0,5%	561,30	>>> 1%	9,07	158,87	43,82	2229,88	< 7
n° 11	92,56	2277,65	13,75	> 0,5%	372,02	>>> 1%	14,39	142,58	19,25	2502,46	< 7
n° 12	124	3712,29	12,02	> 0,5%	925,47	>> 1%	6,56	238,15	72,32	3569,16	< 7
n° 13	124	2330,19	13,37	> 0,5%	1046,88	>> 1%	10,07	220,42	67,27	3801,27	< 7
n° 14	< 40	186,04	2,73	> 0,5%	189,40	> 1%	< 20	< 20	329,81	119,37	< 7

muestra	ba	fe	mn	mg	pb	sn	cr	ti	ni	al	be
n° 15	85,90	1457,97	10,13	> 0,5%	180,54	» 1%	42,10	181,27	85,72	2011,75	< 7
n° 16	113,98	3223,05	16,31	> 0,5%	317,08	» 1%	17,21	186,96	54	2666,40	< 7
n° 17	< 40	1239,45	11,68	> 0,5%	1287,57	» 1%	247,05	20	327,40	346,10	< 7
n° 18	77,75	1569,16	9,07	> 0,5%	1548,29	» 1%	9,11	157,25	149,48	238872	< 7
n° 19	57,43	2159,78	18,97	> 0,5%	623,01	» 1%	≈ 20	139,06	25,79	1949,72	< 7
n° 20	< 40	439,08	3,92	> 0,5%	405,16	» 1%	32,71	< 20	142,97	202,54	< 7
n° 21	< 40	2069,38	10,03	> 0,5%	1284,59	» 1%	39,33	48,33	40,84	948,68	< 7
n° 22	< 40	381,87	< 20	> 0,5%	75,54	» 1%	< 20	< 20	10,10	291,05	< 7
n° 23	< 40	1923,99	3,97	> 0,5%	1642,71	» 1%	18,82	28,22	289,71	447,72	< 7
n° 24	< 40	1826,44	6,69	> 0,5%	551,76	» 1%	31,03	82,49	48,99	1146,13	< 7
n° 25	< 40	518,50	4,40	> 0,5%	543,16	» 1%	20,00	≈ 20	24,65	232,07	< 7

Muestra n.º 1:	Muestra n.º 8:
crisol: 18,28148 g	crisol: 18,26917 g
muestra: 18,41009 g (0,12861 g)	muestra: 18,49140 g (0,22223 g)
Muestra n.º 4:	Muestra n.º 11:
crisol: 18,78932 g	crisol: 18,93403 g
muestra: 18,95656 g (0,16724 g)	muestra: 19,14356 g (0,20953 g)
Muestra n.º 7:	Muestra n.º 19:
crisol: 18,86895 g	crisol: 19,46106 g
muestra: 19,35901 g (0,49006 g)	muestra: 19,66401 g (0,20295 g)

Subsiguientemente se atacaron las muestras, primero mediante 5 ml de ácido nítrico diluido a la mitad ( $\text{NO}_3\text{H}$  4n) y posterior evaporación sobre plancha calorífica con baño de arena; a continuación, y siempre con evaporación por calor, se les aplicó 2 ml de ácido nítrico concentrado al 70 %, 20 ml de CLH en dos ocasiones, añadiendo en la última agua destilada; en tercer lugar se actuó sobre las piezas con ClH más  $\text{H}_2\text{O}_2$  (agua oxigenada), sin conseguir la total disolución del metal. Los restos de mineral fueron atacados en último lugar con una preparación de ácido nítrico más ácido clorhídrico al 25 % y en proporción de 1 a 1 sin resultado, por lo que se empleó en dos ocasiones agua regia (ClH +  $\text{NO}_3\text{H}$  en proporción de 3 a 1), evaporando seguidamente a sequedad. El resultante fue recogido con agua bidestilada y filtrado con papel Whatman n.º 40, siendo preparado posteriormente en matrices aforados de 25 ml.

Los resultados obtenidos del análisis de las placas impresionadas, ca, en un espectrofotómetro de absorción atómica Pye Unicam S.P. 1900 utilizando una longitud de onda de 249,2 nanómetros.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Muestra bronce n.º 1:	47,71 % Cu.
Muestra bronce n.º 4:	54,1 % Cu.
Muestra bronce n.º 7:	56,3 % Cu.
Muestra bronce n.º 8:	66,6 % Cu.
Muestra bronce n.º 11:	51,7 % Cu.
Muestra bronce n.º 19:	50,1 % Cu.

No pueden, sin embargo, realizarse cálculos, ni aproximativos, de los porcentajes de cobre en las otras muestras, principalmente porque el otro elemento mayoritario, el estaño, nos viene indicado por las referencias más que (>), mucho más que (>>) y muchísimo más que (>>>); por ello las deducciones se realizan en base a las comparaciones entre los resultados de las piezas; a nivel de elementos minoritarios; con todo, podemos extraer las siguientes consecuencias:

1.<sup>a</sup> El estaño se configura cuantitativamente como el segundo elemento en las aleaciones; su máxima presencia, el grupo de muestras en las que es más abundante, es el que corresponde a los números 6, 7, 8, 9, 10 y 11, es decir, a las piezas procedentes del estrato IV, que cronológicamente corresponde a los inicios del siglo IV a. de Jesucristo; en esta época se produce la expansión de la utilización de la fíbula en el yacimiento, con la última implantación de los tipos de pie recto elevado con botón terminal (tipo 1.2.), en sus variantes de cabujón terminal (tipo 1.3.) y sobre todo con el cambio que representa la aparición de los tipos zoomorfos (tipo 1.5); debemos tener en cuenta que en esta cronología de inicios del siglo IV se mezclan, por una parte, las destrucciones de los yacimientos ibéricos, representada en Ullastret con la reedificación de la muralla, las invasiones galas y el máximo momento de la influencia ampuritana en el Hinterland indiketa; asimismo es también el período de configuración de la Tène I; podemos insinuar que en este momento, y como consecuencia de los factores geopolíticos, las técnicas de aleación de metales son mejor conocidas, y las proporciones de estaño se aumentan, con lo que la calidad de las piezas mejora sensiblemente.

2.<sup>a</sup> Este aumento de la cantidad de estaño tiene dos consecuencias de orden técnico y estético; cuanto mayor es el volumen de estaño, mayor debe ser la temperatura conseguida en la fundición, puesto que el punto de fusión es más elevado, lo cual implica un desarrollo técnico. De la misma manera, la coloración del bronce resultante varía según el porcentaje de estaño vertido en la aleación; si ésta es superior al 14 %, como es el caso de este grupo de piezas, fechadas en torno al 390 a. de J. C.; la coloración rojiza habitual pasa a un tono dorado, más atractivo estéticamente; esta evolución de tonalidades coincide con el momento de aparición de los cabujones terminales, tanto en las fíbulas de pie recto elevado como en las de tipo zoomorfo; creemos que esto es consecuencia de una idea estética que busca la combinación de las aplicaciones de coral y ónice de color rojo y rosáceo con el dorado del metal de base, lo cual implica al mismo tiempo que las fíbulas adquieren ahora un carácter estético mayor, complementario del empleo funcional de las mismas.

3.<sup>a</sup> De la misma manera, la presencia en determinadas piezas de una cantidad elevada de plomo, que en algunas ocasiones supera el 1,5 %, puede suponer una adición intencionada de este mineral, puesto que por encima del 1 % la presencia de plomo aporta una mayor facilidad en la elaboración y una mayor maleabilidad de las piezas para un trabajo después de la fundición de los diferentes objetos. Es interesante constatar que este aumento de la cantidad de plomo corresponde cronológicamente a mediados del siglo IV a. de J. C. y

que coincide tipológicamente con la aparición de las fíbulas de pie peraltado en «S» (tipo 1.10), las cuales por su característica esencial de torsión del pie en forma de S, para realizar una representación animalística serpentiforme de forma figurada con diferenciación de las estilizaciones terminales de los pies de las piezas zoomorfas, precisan una mayor ductilidad del material.

4.<sup>a</sup> Característica interesante en la mayor parte de las muestras es la abundante presencia de hierro en las aleaciones; esta aparición del hierro puede explicarse según el tipo de mineral de cobre empleado en la fundición. De esta manera podemos tener una materia prima de tipo sulfurado; es decir, un sulfuro cuproso o calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), o bien un sulfuro de cobre y hierro o calcopirita ( $\text{Cu}_2\text{S}-\text{FeS}_2$ ); de la misma manera el hierro se encuentra presente en minerales estañíferos, tales como la estannita ( $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ ), comúnmente localizada junto a los minerales de tipo cúprico y férrico, así como en la casiterita ( $\text{SnO}_2$ ), que entre sus impurezas suele llevar hierro y cobre.

Si la cantidad de hierro presente en el mineral es muy elevada obliga a efectuar una primera fundición del estaño a una temperatura de 1.200 °C. con poco material reductor (que puede ser carbón o bien madera verde) para efectuar una separación; en este caso las escorias de esta fundición disponen de un alto índice de mineral de hierro, y es interesante notar que en nuestra seriación las muestras donde se localiza una mayor presencia de hierro son precisamente algunas de las escorias, como por ejemplo las piezas n.º 4, 8 y 12.

Los elementos minerales presentes en las tablas parecen indicar que los productos utilizados han sido la calcopirita y la casiterita; sobre su presencia en la Península debe recordarse el conocimiento en este momento de las zonas mineras de Riotinto y Cáceres en el sur, así como de las producciones de Bohemia, estando su presencia ligada a la del hierro, puesto que la aparición de algunos tipos de mineral suele ser conjunta. Por lo que respecta a Cataluña, su procedencia es de tipo aluvial en las zonas fluviales. Arqueológicamente, nuestra área no dispone de más testimonios de explotación minera metalífera que el conjunto de Riner, con lo cual no puede establecerse si la zona de Ullastret se abastece de metal en regiones cercanas o bien se encuentra inmersa en la dinámica de comercialización de estos elementos en Europa. Sin embargo debe destacarse que la materia prima para la confección de los utensilios de fabricación ha sido identificada como cercana al yacimiento por lo que respecta a los instrumentos líticos, crisoles y moldes,<sup>3</sup> y que tanto el ónice como el

3. A. M.<sup>a</sup> RAURET DALMAU, *La metalurgia del bronce en la Península Ibérica durante la Edad del Hierro*, en *Publicaciones Eventuales*, n.º 25, Instituto de Arqueología y Prehistoria, 1976, 168 págs., XXXIII láms.; M. T. GENÍS ARMADA, *Los objetos líticos ibéricos*

coral, los dos elementos ornamentales de mayor utilización, son frecuentes en el litoral gerundense y en las zonas de Vich y Sant Marsal de Montseny.

5.<sup>a</sup> Existen, asimismo, variaciones entre los porcentajes de los diversos elementos de la tabla, que hacen suponer un cambio en el mineral de base utilizado, y con ello una posible diversificación de las procedencias del mismo; es notable en este aspecto el aumento progresivo de la cantidad de aluminio, y las diferencias entre las muestras del estrato VIII y las del IV, estando ligada siempre la alta presencia de aluminio a una presencia también elevada del hierro.

6.<sup>a</sup> Por estratos, la composición de los elementos es pareja; esto es particularmente claro en las piezas 10-11 para el estrato IV C y para las piezas 12-13 correspondientes al estrato V; de este hecho podemos deducir dos conceptos:

En primer lugar, las muestras 10 y 11 corresponden a objetos diferentes (un fragmento de fíbula y un fragmento de pieza laminar); por lo que se puede inducir que un mismo tipo de aleación se utilizaría en un mismo período cronológico para todo tipo de piezas.

En segundo lugar, las piezas 12 y 13 corresponden a un fragmento de fíbula y a una escoria, con lo que también podría concluirse que la fabricación de esta pieza se llevó a cabo en el yacimiento. Esta comparación entre escorias y elementos terminados se puede localizar en las muestras n.<sup>o</sup> 14-18, correspondientes al estrato VI este, no siendo coincidentes las muestras de que disponemos para esta dualidad escoria-pieza en el estrato VII; salvando la escasez de muestras analizadas, tenemos comprobada la fundición de objetos en el yacimiento desde finales del siglo v, fecha que aumentará evidentemente con la realización de un espectro mayor de análisis.

La ausencia de análisis de piezas metálicas de yacimientos de la zona impide efectuar comparaciones cuantitativas; creemos que un estudio amplio de las aleaciones de los objetos de bronce en Cataluña, sobre todo para el período cronológico de cambio entre finales del siglo v y el siglo iv a. de J. C., es básico para conocer las rutas economicocomerciales y las influencias culturales en el momento de pleno desarrollo de la cultura ibérica en el área.