

MINERALOGIA Y COMPORTAMIENTO GEOQUIMICO DEL ORO EN LOS MACIZOS LHERZOLITICOS BETICO-RIFEÑOS (ESPAÑA Y MARRUECOS)

J. Torres-Ruiz *, F. Gervilla * y M. Leblanc **

RESUMEN

Los macizos lherzolíticos de la Serranía de Ronda y de Beni Bousera representan porciones del Manto superior, emplazadas en la Corteza continental tras haber sufrido varios episodios de fusión parcial. Dichos macizos contienen gran variedad de rocas: lherzolitas, harzburgitas, dunitas, piroxenitas, y mineralizaciones magmáticas de Cr, de Cr-Ni, y de sulfuros de Fe-Ni-Cu.

Los contenidos medios en Au en los distintos tipos de rocas indican un comportamiento de elemento incompatible durante los procesos de fusión parcial del Manto. Tanto el Au como los elementos del grupo del platino (EGP) no muestran relación alguna con los contenidos en S.

El Au y los EGP se encuentran fuertemente concentrados en las mineralizaciones. Frente al usual comportamiento de los metales nobles en depósitos magmáticos en rocas máficas-ultramáficas, en este caso el Au, junto con Pt y Pd, se concentran en las mineralizaciones de Cr-Ni, asociados a los arseniuros de Ni. La mayor parte de estos elementos parecen encontrarse en solución sólida dentro de la niquelina. La transformación de este mineral produce la segregación de minerales de oro en forma de oro nativo y aleaciones de Au-Cu y de Au-Cu-Ag. En las mineralizaciones de sulfuros de Fe-Ni-Cu el contenido en metales nobles es muy bajo, y en ellas el Au se particiona a favor de los cuerpos ricos en sulfuros de Cu ($Cu \gg Ni$).

El comportamiento de los metales nobles en este contexto sugiere que los fundidos parciales, a partir de los que se segrega el «ore magma», debieron generarse por fusión parcial de un Manto empobrecido y que tales fundidos estuvieron inicialmente infrasaturados en S y As y enriquecidos en metales nobles. Durante la formación de las mineralizaciones, el As ha jugado un papel determinante como colector del Au (así como del Pt y Pd). La temprana saturación del líquido en As condiciona la pobreza de Au, Pt y Pd en las mineralizaciones de sulfuros.

Palabras clave: *Macizos lherzolíticos, peridotitas, piroxenitas, oro, cromita, arseniuros de Ni, sulfuros de Fe-Ni-Cu.*

ABSTRACT

The Lherzolite massifs from the Serranía de Ronda and Beni Bousera are pieces of the upper mantle emplaced in the continental crust. Before their crustal emplacement, the Lherzolite suffered several partial melting events, giving rise to depleted peridotites (harzburgites and dunitas) as well as to pyroxenites and magmatic Cr, Cr-Ni and (Fe-Ni-Cu) sulfide ores.

The average Au content are strongly concentrated in the mineralizations, especially in the Cr-Ni ores, in contrast with the usual behaviour of the noble metals in magmatic ores related to mafic-ultramafic rocks. Au, Pt and Pd are concentrated in the Ni arsenides where most of the former elements are hidden in solid solution in the niccolite. The alteration of niccolite produces the exsolution of native Au and alloys of Au-Cu and Au-Cu-Ag. In most (Fe-Ni-Cu) sulfide ores, the Au content is very low. However, the bodies with the highest Cu/Ni ratio and with hydrothermally altered wall rocks are enriched in Au.

* Dpto. Mineralogía y Petrología (Universidad de Granada) e Instituto Andaluz de Geología Mediterránea (CSIC-Universidad de Granada). Avda. Fuentenueva, s/n. 18002 Granada.

** Centre Géologique et Géophysique, CNRS Université de Montpellier II, Montpellier, France.

The geochemical behaviour of noble metals suggests that the parental partial melts of the «ore magma» were generated from a depleted mantle source and originally, they were S- and As-undersaturated and enriched in noble metals. During ore formation, As played an important role as collector of Au (as well as of Pt and Pd); therefore, the earlier As saturation of the liquids and the subsequent crystallization of the Ni arsenides produced Au-, Pt- and Pd-depleted (Fe-Ni-Cu) sulfide ores.

Key words: *Lherzolite massifs, peridotites, pyroxenites, gold, chromite, Ni-arsenides, (Fe-Ni-Cu) sulfides.*

Introducción

Estudios previos, sobre las mineralizaciones magmáticas de cromita-arseniuros de Ni y de sulfuros de Fe-Ni-Cu de las cordilleras Bético-Rifeñas, señalan la presencia de concentraciones significativas de oro y elementos del grupo del platino (EGP). En las mineralizaciones de Cr-Ni de Beni Bousera (Marruecos), Oen y Kieft (1974) describen la presencia de aleaciones de Au-Cu incluidas en menas ricas en niquelina; Vinogradova *et al.* (1979) analizan granos de oro nativo con contenidos en cobre de hasta 13 % en peso y Leblanc y Johan (1986) indican que un concentrado de niquelina contiene 12 ppm de Au. En el conjunto de las mineralizaciones Bético-Rifeñas, Leblanc y Gervilla (1988) y Leblanc *et al.* (1990) ponen de manifiesto: 1) la similitud de patrones de distribución de oro y elementos del grupo del platino; 2) que el oro está fundamentalmente concentrado en las mineralizaciones de Cr-Ni (asociado a la fase de arseniuros de Ni) y 3) la presencia de granos de Au-Cu y Au-Bi-Te.

Nuevos datos analíticos de muestras de los diferentes tipos de mineralizaciones, tanto en muestras frescas como alteradas, han permitido confirmar las conclusiones de estos trabajos previos, así como aportar nuevos conocimientos acerca de la mineralogía y distribución del oro y sobre su comportamiento durante los procesos de alteración de las mineralizaciones. Asimismo, análisis preliminares de muestras de las distintas facies de las rocas máficas y ultramáficas encajantes han permitido analizar el comportamiento del oro durante los procesos de fusión parcial de las peridotitas mantélicas y durante la subsecuente fraccionación de los líquidos generados.

Contexto geológico

Los macizos lherzolíticos de la Serranía de Ronda (España) y de Beni Bousera (Marruecos) están situados en las denominadas Zonas Internas de la cadena alpina Bético-Rifeña o Dominio Cortical de Alborán (Torres-Roldán, 1979; Balanyá y García-Dueñas, 1987) (fig. 1). Los macizos de la Serranía de Ronda constituyen la base de una unidad tectónica alpujárride,

denominada Unidad de los Reales (Navarro Vila y Tubía, 1983). El macizo de Beni Bousera forma parte de los Sebtiides.

Estos macizos han sido interpretados como porciones del manto superior que han sido emplazadas en la corteza continental, durante la orogenia alpina, mediante procesos de cizalla en una zona de falla transformante en relación con la apertura del Atlántico Norte (Lundeen, 1978; Kornprobst y Vialzeuf, 1984; Tubía y Cuevas, 1986). En la Serranía de Ronda las peridotitas muestran una distribución de facies minerales, a veces incompleta, de tal modo que, desde el contacto con la secuencia metapelítica suprayacente de la Unidad de los Reales hacia posiciones cada vez más alejadas, aparecen sucesivamente: lherzolitas con granate, lherzolitas con espinela (subfacies Ariegita), lherzolitas con espinela (subfacies Seiland) y lherzolitas con plagioclasa (Obata, 1980). El macizo de Beni Bousera muestra un patrón similar de distribución de lherzolitas con granate y con espinela (Reuber *et al.*, 1982). La interpretación de esta distribución de facies minerales ha sido, y es, objeto de controversia. De acuerdo con Frey *et al.* (1985) las peridotitas (originalmente lherzolitas con granate) sufrieron fusión parcial en grado variable (0-30 %), con intensidad decreciente desde el núcleo a la periferia, en condiciones de presión ligeramente por encima de 30 Kb. Los líquidos generados, de composición picrítica, dieron lugar a la formación de piroxenitas por procesos de fraccionamiento cristal/líquido, con un patrón de diferenciación progresiva hacia fuera de los cuerpos peridotíticos (Suen y Frey, 1987). Según Obata (1980), la distribución de facies minerales responde a un patrón concéntrico y es el resultado de sucesivos reequilibrios subsólidos durante el ascenso del diapiro, desde condiciones de estabilidad de las lherzolitas con granate (20-25 Kb) hasta la base de la corteza. Sin embargo, en Beni Bousera, Kornprobst (1969) indica que las peridotitas y piroxenitas se equilibraron en facies de lherzolita con espinela y que las lherzolitas con granate se producen por desagregación tectónica de capas de piroxenitas con granate. Recientes investigaciones han puesto de manifiesto la existencia de dunitas residuales asociadas a diversos tipos de piroxenitas (formadas a partir de líquidos tanto de afinidad transicional

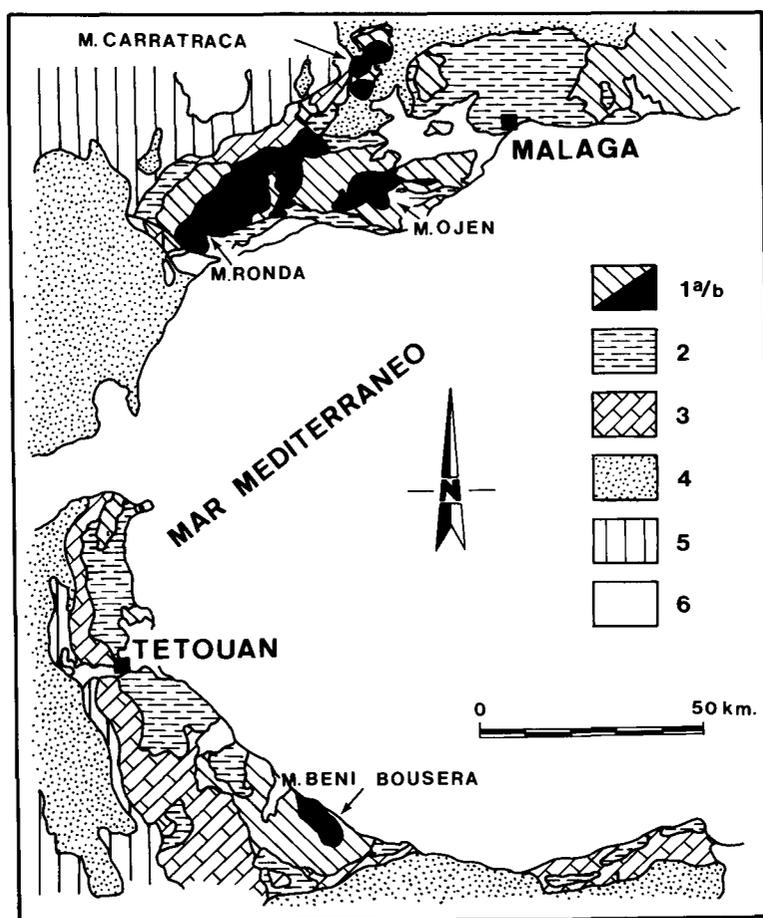


Fig. 1.—Situación geológica de los macizos lherzolíticos bético-rifeños. 1) Complejo Alpujarride y Sebides: a) metasedimentos; b) rocas ultramáficas. 2) Complejo Maláguide y Gomarides. 3) Dorsal. 4) Unidades de Flysh. 5) Zonas externas de la Cordillera bético-rifeña. 6) Materiales Neógeno-Cuaternarios postorogénicos.

toleítica-alcalina, como boninitica, Remaidi *et al.*, 1991), y segregaciones de plagioclasa y diques de gabros discordantes a la foliación en la zona de lherzolitas con plagioclasa. Estos hechos ponen de manifiesto la existencia de, al menos, un segundo episodio de fusión parcial en condiciones de presión moderada a baja.

Mineralizaciones

En los macizos Bético-Rifeños de la Serranía de Ronda y de Beni Bousera se pueden diferenciar cuatro tipos de mineralizaciones: de cromita (tipo Cr), de cromita-arseniuros de Ni (tipo Cr-Ni), de sulfuros de Fe-Ni-Cu con grafito y cromita (tipo S-G) y de sulfuros ricos en Cu (tipo S) (Oen, 1973; Oen *et al.*, 1979; Gervilla *et al.*, 1987 y 1988; Gervilla y Leblanc, 1990). Los macizos de la Serranía de Ronda y de Beni

Bousera muestran idéntico tipo de mineralizaciones y rocas encajantes. En el espacio, las mineralizaciones se distribuyen de manera que las de tipo Cr se localizan exclusivamente en facies de lherzolitas con plagioclasa; las de los tipos Cr-Ni y S-G lo hacen en facies de lherzolitas con espinela y lherzolitas con granate, y las de tipo S se encuentran sólo en lherzolitas con granate (Gervilla *et al.*, 1988).

La mineralizaciones de cromita se presentan como pequeños «pods» y venas (de varios metros de longitud y escasos decímetros de espesor), dispuestos con sus máximas dimensiones paralelas a la foliación de las lherzolitas encajantes y presentan hastiales de dunita. La asociación mineral es relativamente simple. Las masas en forma de «pods» están constituidas por las cromitas más ricas en Al, asociadas a ortopiroxeno (enstatita) y diópsido cromífero. Los filones están compuestos por las cromitas más ricas en Cr, pequeñas cantidades de maucherita (hasta 2 %)

y pentlandita y ganga de ortopiroxeno (enstatita-broncita).

Las mineralizaciones de cromita-arseniuros de Ni aparecen como pequeñas lentes y/o filones, tanto concordantes como discordantes respecto a la foliación de las lherzolitas. Sus tamaños están comprendidos entre escasos metros a varias decenas de metros de longitud y menos de 1 m de espesor. Las menas están compuestas esencialmente por cromita y niquelina y menores proporciones de diarseniuros y sulfoarseniuros de Ni-Fe-Co, sulfuros de Fe-Ni-Cu y óxidos de Ti. Los minerales de ganga son fundamentalmente ortopiroxeno y/o cordierita y, localmente, plagioclasa y flogopita. La mayor parte de los arseniuros y sulfoarseniuros aparecen como fases intersticiales respecto a los granos de cromita. También se observan pequeñas inclusiones de arseniuros y sulfuros en la cromita. Las asociaciones minerales y quimismo mineral muestran cambios progresivos de unas masas a otras, desde aquellas enclavadas en facies de lherzolitas con espinela (subfacies Seiland) hasta las enclavadas en facies de lherzolitas con granate, es decir en dirección a la periferia de los cuerpos peridotíticos. Así en esta dirección se producen los siguientes hechos: 1) aumento en la proporción de arseniuros/cromita, 2) aparición de óxidos de Ti, 3) aumento de los contenidos en Al, Fe, Zn y V de las cromitas y 4) enriquecimiento en Al y Fe en el ortopiroxeno y posterior paso a ganga de cordierita en su lugar.

Las mineralizaciones de sulfuros de Fe-Ni-Cu se localizan en zonas de fractura, bien como pequeños filones de escasos centímetros de espesor, bien como masas irregulares o «stockworks». Están compuestas esencialmente por pirrotina, pentlandita, calcopirita y cubanita, con cantidades variables de grafito, menores proporciones de cromita y ganga de piroxeno, plagioclasa y/o flogopita rica en sodio. Del mismo modo que las mineralizaciones de Cr-Ni, muestran cambios graduales en las asociaciones minerales y quimismo mineral hacia la periferia de los cuerpos peridotíticos. Así, desde las masas enclavadas en lherzolitas con espinela (subfacies Seiland) hasta las lherzolitas con granate muestran la siguiente evolución: 1) aumento en la razón sulfuros/grafito, 2) enriquecimiento de la cromita en Al, Fe, Ti, V y Zn y 3) aumento del contenido en sulfuros ricos en Cu (calcopirita). Las mineralizaciones más externas ricas en calcopirita están desprovistas de cromita y grafito; contienen pequeñas cantidades de esfalerita y desarrollan alteración hidrotermal de sus hastiales, con aparición de serpentina, clorita y talco. Estas variaciones han permitido diferenciar entre mineralizaciones ricas en grafito y con cromita (tipo S-G) y mine-

ralizaciones sin grafito ni cromita y ricas en sulfuros de cobre (tipo S).

De acuerdo con los trabajos de Oen (1973), Leblanc (1986), Gervilla *et al* (1987 y 1988), Leblanc y Temagout (1989) y Gervilla y Leblanc (1990) entre otros, estas mineralizaciones son claramente de origen magmático y tienen una fuente común, relacionada con la evolución de los cuerpos peridotíticos. El modelo propuesto señala que las mineralizaciones se forman en condiciones de moderada a baja presión (desde ≈ 10 hasta 5 Kb), a través de procesos de fraccionamiento magmático y progresivo descenso de las condiciones de presión, a partir de una fracción inmiscible, rica en S y As, segregada a alta temperatura (> 1.300 °C), durante el fraccionamiento de un fundido máfico. Dicho fundido máfico probablemente se generó durante un evento de fusión parcial de rocas mantélicas en condiciones de moderada a baja presión (15-5 Kb). El progresivo descenso de las condiciones P-(T) y la evolución por fraccionamiento cristal/líquido e inmiscibilidad de líquidos del fundido máfico, durante su migración, produjo la formación secuencial de los distintos tipos de mineralizaciones y su progresiva evolución composicional, creando el patrón de distribución existente.

Material analizado y métodos analíticos

Se ha determinado el contenido en oro de un total de 61 muestras de distintos tipos de mineralizaciones y rocas encajantes de los macizos lherzolíticos de Ojén, Ronda, Carratraca y Beni Bousera (22 corresponden a muestras frescas de rocas encajantes máficas y ultramáficas, 31 a muestras frescas de mineralizaciones y 8 a mineralizaciones alteradas). De la práctica totalidad también se ha analizado el contenido en elementos del grupo del platino y en un buen número de ellas se han determinado los contenidos en S, As, Cr y Ni (tablas 1 y 2).

Los análisis químicos de rocas han sido realizados por «X-Ray Assay laboratories Ltd», Don Mills, Ontario (Canadá). Todas las muestras han sido molidas en mortero de ágata para evitar contaminaciones. El oro y los platinoides se han determinado mediante «INAA» o «ICP/MS», con unos límites de detección de 1×10^{-3} ppm para el oro, $0,2 \times 10^{-3}$ ppm para el Ir, 3×10^{-3} ppm para el Os y 1×10^{-3} ppm para el resto de elementos del grupo del platino. El cromo y el níquel han sido determinados por «ICP», con unos límites de detección de 2 ppm para el Cr y de 1 ppm para el Ni. Arsénico y azufre han sido determinados respectivamente mediante «AAS» y «FRX», con unos límites de detección de 0,1 ppm (As) y 50 ppm (S).

Para los cálculos y representaciones de datos por debajo del límite de detectabilidad se ha tomado el valor mitad ($Au = 0,5 \times 10^{-3}$ ppm; S = 25 ppm).

Los análisis de las fases minerales del oro han sido analizadas en la Universidad de Módena (Italia), mediante microsonda electrónica ARL-SEMQ, con unas condiciones de trabajo de 20 kV y 20 nA y diámetro de haz incidente de 1 micra. Las fotografías de «scanning» se han obtenido en los Servicios Técnicos de la Universidad de Granada, usando una microsonda electrónica CAME-BAX SX 50.

Resultados

Mineralogía del oro

En las mineralizaciones se han detectado y analizado granos de oro nativo y otros constituidos por aleaciones de oro-cobre y de oro-cobre-plata. Algunos granos contienen también pequeñas cantidades de bismuto, así como trazas de telurio (tabla 3). Los tamaños oscilan entre 1 y 80 micras. La distribución de estos granos en las muestras estudiadas es muy irregular y puntual.

La mayor frecuencia de aparición y las mayores cantidades detectadas de oro nativo y/o aleaciones corresponde a las mineralizaciones de cromita-arseniuros de níquel, en las que, a través del microscopio y/o por «scanning», se han localizado estos minerales en la práctica totalidad de las muestras. La abundancia de minerales de oro está relacionada de forma directa con la razón arseniuros/cromita y, de manera especialmente significativa, con el grado de transformación de la niquelina a otros arseniuros y/o sulfoarseniuros (lollingita, gersdorffita, maucherita y/o westerveldita) (figs. 2 a 4). La mayoría de los granos de oro se localizan como fases intergranulares en los contactos entre niquelina y sus minerales de transformación. Sólo un pequeño porcentaje se encuentra como diminutas gotitas dentro de la niquelina. En muestras con fuerte alteración supergénica también son relativamente frecuentes los granitos de minerales de oro asociados a óxidos y oxihidróxidos de Fe.

En algunas muestras de la mina de La Gallega (Serranía de Ronda) también se han encontrado las aleaciones de oro asociadas a altaíta (PbTe) formando granos mixtos (fig. 5).

Muy raramente aparecen diminutos granos de oro (con tamaños < 10 micras) incluidos en la cromita, tanto en las mineralizaciones de tipo Cr-Ni como en las de tipo Cr, y entre piroxenos anfibolitizados de la ganga. En las mineralizaciones de sulfuros no se han encontrado minerales de oro.

Como se observa en los datos de la tabla 3, en las mineralizaciones de la Serranía de Ronda hay granos de oro nativo muy puros, así como aleaciones de oro-cobre de composición bastante homogénea y constante. Los contenidos medios de las aleaciones son de: 71,93 % (Au), 27,15 % (Cu), 0,31 % (Ag) y 0,36 % (Bi). Sin embargo, en las mineralizaciones de Beni Bousera se han encontrado aleaciones de oro-cobre-plata con diversos patrones de zonación. Así, en Galarós los cristales presentan una zona central constituida por una aleación de Au-Cu-Ag, con contenidos respectivos de 70 %, 19 % y 11 %, mientras que los bordes están constituidos por una aleación de Au-Cu con contenidos del orden de 72 % y 27 % respectivamente. Ambas zonas muestran contenidos en Bi del 0,3 %. En otro indicio de Beni Bousera (Talbambiden) se han encontrado cristales cuyos bordes y finas láminas según los planos de exfoliación están constituidas por aleaciones de oro-cobre, mientras que el resto de cristal está compuesto de una aleación de Au y Ag (figs. 6 a 9).

Tabla 1.—Análisis de rocas máficas y ultramáficas (Au y EGP en ppm $\times 10^3$; Cr, Ni, As y S en ppm).

Muestra	Sigla	Au	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	PGE	Cr	Ni	As	S
1 Hz	OJ-201	<1	11	4	4	1	3	2	25	1.960	2.530	0,2	<50
2 Hz	OJ-205	<1	6	3	6	1	1	1	18	1.980	2.630	0,2	<50
3 Lz	OJ-223	1	7	3	4	1	4	6	25	1.970	2.010	4,8	<50
4 Lz	RO-179	<1	9	3	8	1	3	3	27	1.810	2.210	0,1	367
5 Lz	RO-168	2	8	3	6	2	4	7	30	2.180	2.230	0,1	118
6 Lz	RO-125b	3	13	4	5	1	4	4	31	1.660	2.590	0,1	<50
7 Lz	RO-126	6	4	3	3	1	5	3	19	2.460	2.260	0,4	<50
8 Lz	RO-90	2	7	2	9	2	4	9	33	3.250	2.760	0,1	<50
9 Lz	RO-173	<1	10	4	7	2	4	6	33	2.160	2.340	0,1	<50
10 Lz	RO-202	<1	36	6	3	2	6	6	59	2.590	2.220	0,1	84
11 Lz	RO-200	1	9	3	6	2	4	7	31	2.080	2.220	0,1	<50
12 Lz	RO-203	<1	4	3	10	2	5	5	29	2.040	2.360	0,1	<50
13 Lz	OJ-200	1	8	3	6	1	3	6	27	2.010	2.180	0,1	<50
14 Lz	OJ-224	<1	8	3	7	3	9	8	38	2.230	2.190	0,1	<50
15 Wbs	RO-178	2	3	0	1	1	1	2	8	1.210	492	0,2	178
16 Wbs	RO-182	<1	3	0	3	1	1	2	10	884	315	0,3	68
17 Wbs	OJ-225	5	3	0	2	1	4	22	32	1.000	573	0,1	<50
18 Wbs	ES-24	3	3	1	1	1	5	2	13	957	590	0,1	515
19 Wbs	RO-125c	7	3	1	1	1	1	3	10	11.100	1.050	0,1	<50
20 Clpx	BB-111	11	3	0	3	2	1	5	14			1,2	1.420
21 Clpx	R-7	4	26	5	7	4	52	27	121	6.740	1.640	0,2	<50
22 Clpx	OJ-215	4	3	0	1	2	4	11	21	3.210	1.220	0,3	336

Hz = Harzburgitas; Lz = Lhersolitas; Wbs = Websteritas; Clpx = Clinopiroxenas.

Tabla 2.—Análisis de mineralizaciones (Au y EGP en ppm $\times 10^3$; Cr, Ni, As y S en ppm).

Muestra	Sigla	Au	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	PGE	Cr	Ni	As	S
23 Cr	RO.1	1.600	58	180	320	40	190	130	918	309.000	6.100	100,0	
24 Cr	RO.6	48	12	50	95	12	75	60	304	272.000	20.000	500,0	
25 Cr	RO.23	61	300	500	670	86	340	16	1.912	203.000	900	100,0	
26 Cr	AC-5	3.400	28	128	190	27	160	160	693	239.000	15.400	370,0	<50
27 Cr	CAB-10B	1	98	585	600	100	130	5	1.518	243.000	271	3,0	124
28 Cr-Ni	RO.9	3.700	110	170	270	49	310	330	1.239	137.000	77.600	101.000,0	
29 Cr-Ni	RO.14	3.400	56	120	210	35	250	260	931	107.000	47.100	58.000,0	
30 Cr-Ni	O.6811	8.000	16	150	490	65	460	610	1.791	122.000	115.000	162.000,0	
31 Cr-Ni	LG-33	7.900	38	118	300	36	270	310	1.072	200.000	86.600	92.000,0	393
32 Cr-Ni	LG-50	9.500	51	133	420	59	320	370	1.353	166.000	125.000	120.000,0	607
33 Cr-Ni	O.6613	9.200	18	190	420	62	430	550	1.670	152.000	122.000	156.000,0	
34 Cr-Ni	O.6643	15.000	68	210	390	91	410	540	1.709	129.000	111.000	128.000,0	
35 Cr-Ni	K5	18.000	400	620	1.000	240	1.500	1.400	5.160	83.200	282.000	371.000,0	
36 Cr-Ni	BB.16	11.000	350	300	700	220	1.600	1.500	4.670				
37 Cr-Ni	SA.13	21.530	286	280	565	282	570	425	2.408				
38 Cr-Ni	RO.28	15.000	100	100	400	400	400	400	1.800				
39 Cr-Ni	I	34.800											
40 Cr-Ni	II	15.000											
41 Cr-Ni	BB.26	14.000	50	200	500	200	200	150	1.300				
42 S-G	EG.2	52	9	13	23	10	25	116	196	21.500	32.100	440,0	287.900
43 S-G	EG.6	40	11	18	30	12	62	54	187		14.000	340,0	
44 S-G	EG.7	24	15	9	110	4	18	96	252				
45 S-G	EG.7 bis	75	50	50	100	100	100	100	500				
46 S-G	EG.13	13	15	10	100	4	10	79	218				
47 S-G	EG-2 bis	35	8	18	79	14	31	87	237				
48 S-G	I.4	68	11	20	36	16	77	267	427		19.000	200,0	
49 S-G	I.5	32	8	16	26	8	3	140	201		25.000	100,0	
50 S-G	I.9	6	15	21	59	10	15	180	300				
51 S-G	AM.2	50	10	40	80	20	40	250	440				
52 S	MT.4	3.800	8	6	10	3	20	20	67		4.750	1.040,0	
53 S	MT.12	1.400	8	3	5	3	45	9	73		2.500	220,0	
54 Cr-Ni*	BB.30	47.000	850	8.400	8.600	3.000	14.000	4.700	39.550	106.000	37.000	4.800,0	
55 Cr-Ni*	BB.31	12.000	260	440	750	370	8.600	2.800	13.220	116.000	35.500	6.300,0	
56 S-G*	RO.25	230	82	130	140	38	190	220	800	53.600	9.300	23.500,0	
57 S-G*	RO.26	450	35	110	290	29	87	73	624	16.400	12.400	15.200,0	
58 S-G*	RO.27	100	35	26	62	1	100	69	293	29.500	500	100,0	100
59 S-G*	RO.32	80	20	40	84	5	63	27	239	25.100	7.500	100,0	100
60 S-G*	EA-2	46	9	15	63	1	62	85	235	83.800	81	38,0	<50
61 S-G*	BB.28	20	14	13	15	4	8	83	137	4.400	11.000	110,0	300

* = mineralizaciones alteradas.

Cr = mineralizaciones de cromita; Cr-Ni = min. de cromita-arseniuros de Ni; S-G = min. de sulfuros de Fe-Ni-Cu con grafito y cromita; S = min. de sulfuros de Fe-Ni-Cu ricos en Cu.

Tabla 3.—Análisis de granos de oro (en %).

	LG-1	LG-2	LG-3	LG-4	LG-5	LG-6	LG-7	LJ-1	LJ-2	LJ-3	GA-1c	GA-1b	GA-2
Au	71,26	71,68	71,40	72,43	72,47	72,74	71,52	97,14	97,97	98,75	69,90	71,86	70,68
Cu	27,48	27,62	27,67	26,72	27,13	26,45	27,00	0,86	1,12	0,06	18,54	27,04	24,92
Ag	0,36	0,28	0,13	0,34	0,31	0,17	0,55	0,94	0,42	0,00	10,95	0,82	2,76
Bi	0,39	0,44	0,31	0,30	0,46	0,34	0,27	0,51	0,23	0,56	0,32	0,35	0,34
	99,49	100,02	99,51	99,79	100,37	99,70	99,34	99,45	99,75	99,36	99,71	100,07	98,70

LG y LJ = Muestras de la Serranía de Ronda (mineralizaciones de La Gallega y Los Jarales).

GA = Muestras de Beni Bousera (mineralización de Galarós). c = centro de grano; b = borde de grano.

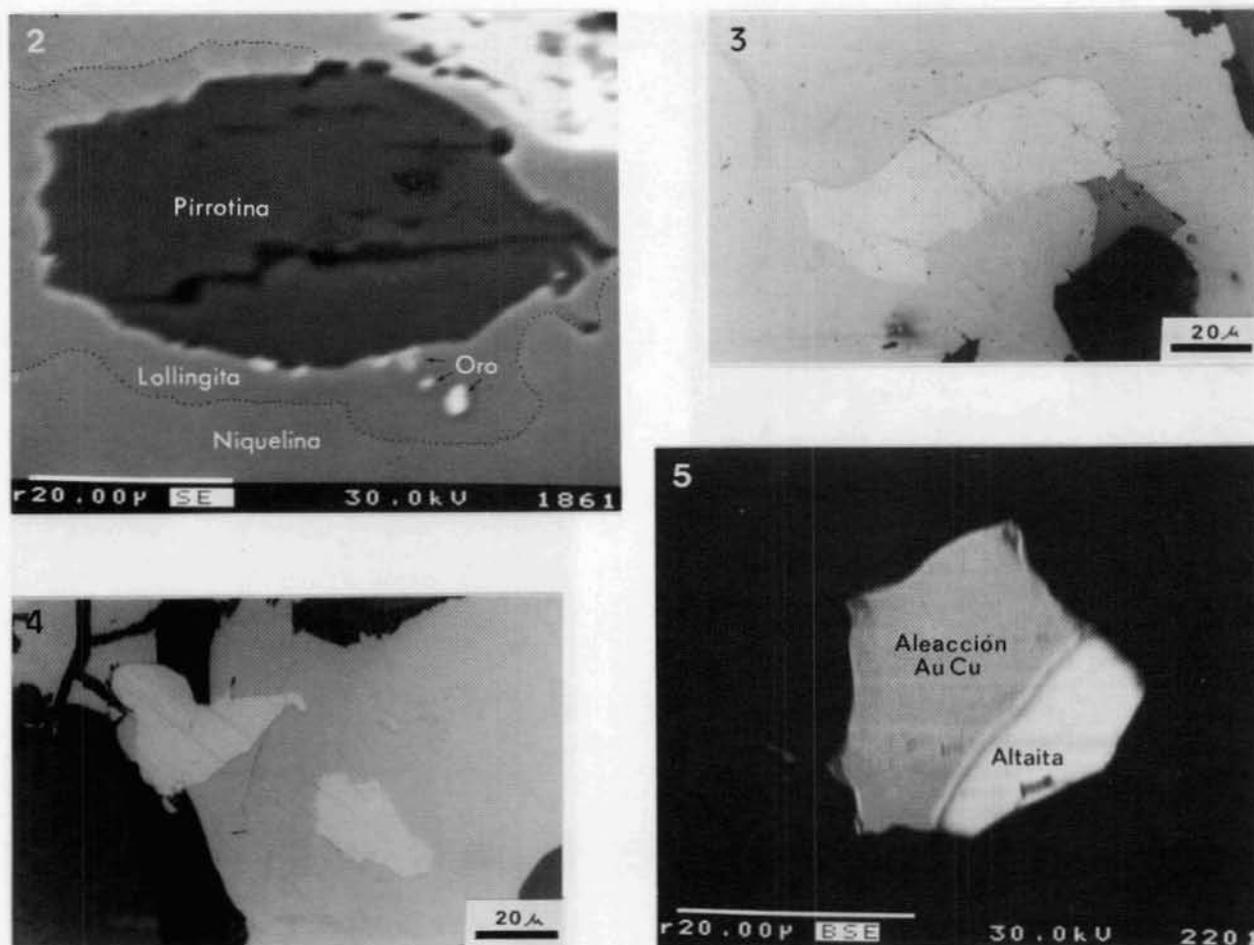


Fig. 2.—Pequeños granos de oro en la zona de transformación de niquelina a lollingita. Imagen de electrones retrodispersados.

Figs. 3 y 4.—Microfotografías de luz reflejada de granos de oro asociados a arseniuros de Ni. Un polarizador.

Fig. 5.—Grano mixto constituido por aleación de Au-Cu y altaita. Imagen de electrones retrodispersados.

Aspectos geoquímicos

En las tablas 1 y 2 se recogen los análisis de Au, EGP, Cr, Ni, As y S de rocas encajantes y mineralizaciones. Aunque los datos sobre rocas máficas y ultramáficas son escasos, los resultados obtenidos permiten efectuar las siguientes consideraciones:

Los contenidos en Au de las rocas ultramáficas oscilan entre $< 1 \times 10^{-3}$ ppm y 6×10^{-3} ppm, con valores de $< 1 \times 10^{-3}$ ppm en las harzburgitas y un valor medio de $1,5 \times 10^{-3}$ ppm en las lherzolitas (fig. 10). Aunque sólo se han analizado dos muestras de harzburgitas, los datos aquí obtenidos son coherentes con los resultados de Stockman (1982) en el macizo de Ronda, en los que se indica un valor medio de $1,6 \times 10^{-3}$ ppm para las lherzolitas y un empobrecimiento en Au en las harzburgitas. Comparados

con los de otras peridotitas alpinas, los valores obtenidos son del mismo rango que los señalados por Lorand *et al.* (1989) para las peridotitas masivas e interestratificadas con capas máficas de Ariège (Francia) y son ligeramente inferiores a los promedios de $2,7 \times 10^{-3}$ ppm obtenidos por Garuti *et al.* (1984) para las lherzolitas de Balmuccia y Baldissero en Ivrea Verbano (Italia).

Las rocas máficas presentan unos contenidos en Au comprendidos entre 3 y 11×10^{-3} ppm, con un valor medio de $4,6 \times 10^{-3}$ ppm (fig. 10), ligeramente inferior al promedio obtenido por Stockman (1982) para estas mismas rocas en el macizo de Ronda (6×10^{-3} ppm).

De manera similar a lo que sucede en las peridotitas de Ivrea Verbano y Ariège, los contenidos en Au y en EGP de las rocas máficas y ultramáficas no

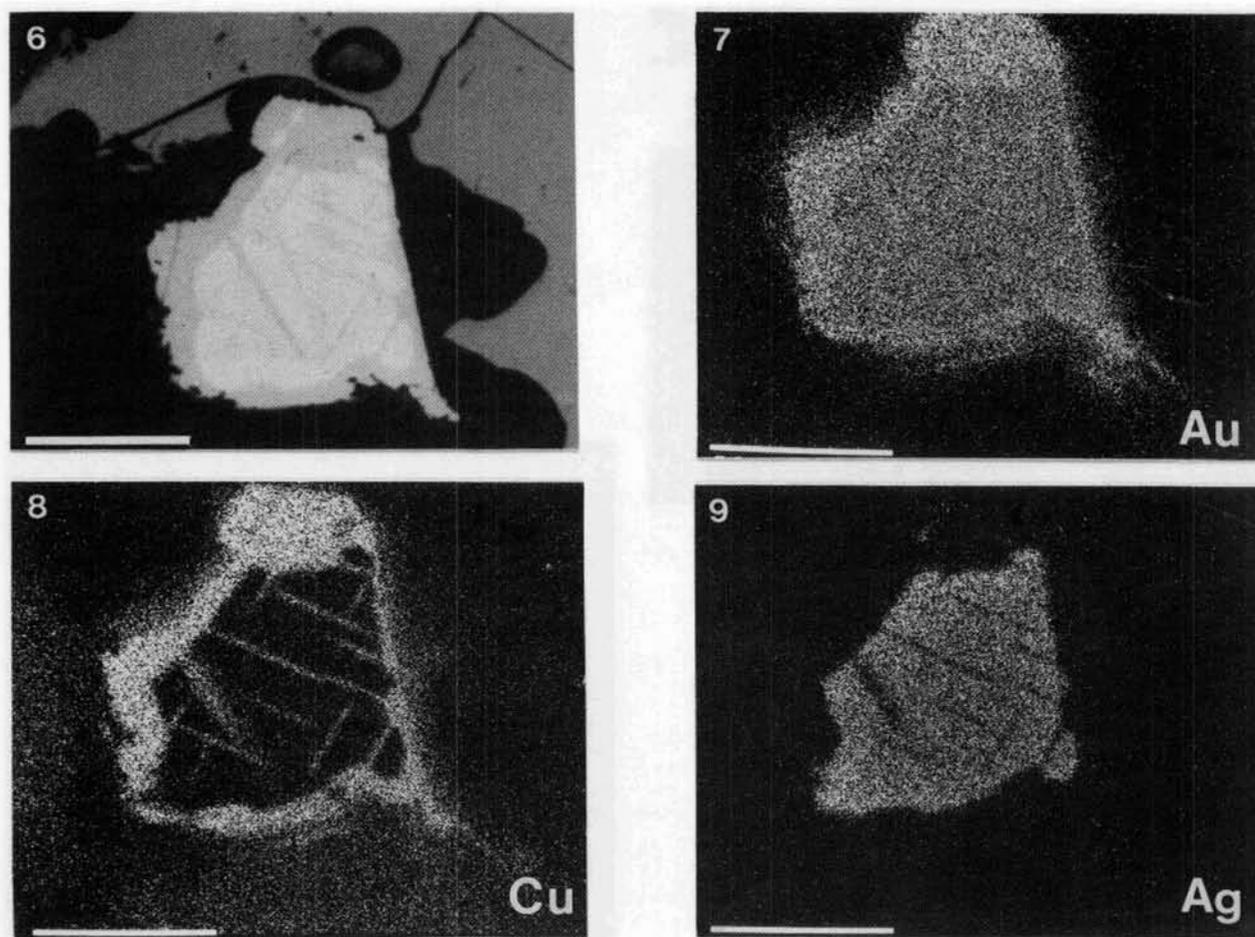


Fig. 6.—Microfotografía de luz reflejada de grano constituido por aleación de Au-Ag-Cu (centro de la foto). Un polarizador. Escala: barra = 20 micras.

Figs. 7 a 9.—Zonación composicional del grano de la figura 6. Imágenes de rayos X. Escala: barra = 20 micras.

muestran correlación alguna respecto a los contenidos en S (fig. 11). Tampoco se detectan correlaciones entre los contenidos en metales nobles y los contenidos en Cr y/o Ni.

En los distintos tipos de mineralizaciones, los contenidos en Au, y también en EGP, son muy superiores a los de las rocas máficas y ultramáficas. Dentro de las mineralizaciones, estos elementos presentan un importante fraccionamiento y se concentran fuertemente en las mineralizaciones de cromita-arseniuros de Ni (tipo Cr-Ni) (fig. 10).

En las mineralizaciones de cromita (tipo Cr) los contenidos en Au son extremadamente variables (valores extremos de 1×10^{-3} y 3,4 ppm), sin que tenga significación alguna la determinación de su valor medio. Como ya se ha comentado en el apartado de mineralogía, esta distribución tan irregular del Au viene determinada por la muy esporádica y puntual

presencia de diminutas partículas de oro nativo incluidas en los granos de cromita, lo que confiere un «efecto pepita» en las determinaciones analíticas realizadas. En estas mineralizaciones no hay correlación entre los contenidos en Au y EGP (fig. 12).

Las mineralizaciones de cromita-arseniuros de Ni (tipo Cr-Ni) son las más ricas en metales nobles. En rocas frescas, los contenidos en Au oscilan entre 3,4 y 34,8 ppm, con un valor medio en torno a 14 ppm. Por su parte los valores del conjunto de EGP están comprendidos entre 0,93 y 5,16 ppm, con un valor medio en torno a 2 ppm. Los valores medios de los platinoides son del mismo orden de magnitud que los de los condritos C1 (Naldret y Duke, 1980), mientras que los del oro son 100 veces superiores. En rocas alteradas supergénicamente los valores aumentan en general (fig. 10), habiéndose obtenido valores de hasta 47 y 39,55 ppm en Au y EGP respectivamente

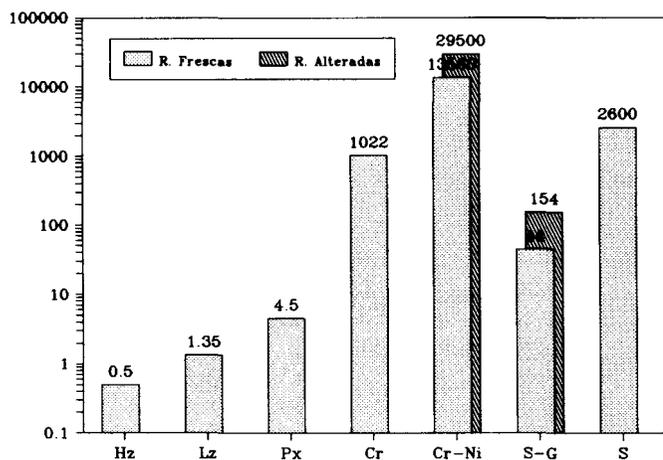


Fig. 10.—Contenidos medios en Au de las mineralizaciones y rocas de caja (ppm × 1.000). Hz: harzburgitas; Lz: lherzolitas; Px: piroxenitas; Cr: mineralizaciones de cromita; Cr-Ni: min. de cromita-arseniuros de Ni; S-G: min. de sulfuros de Fe-Ni-Cu con grafito y cromita; S: min. de sulfuros de Fe-Ni-Cu ricos en Cu.

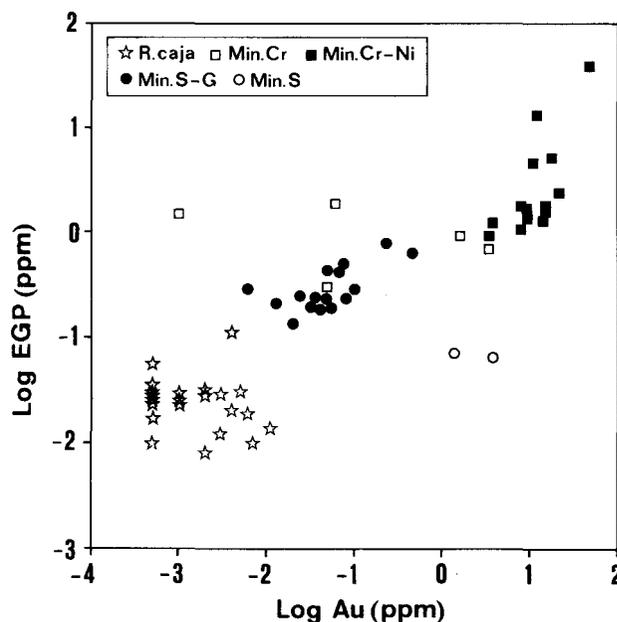


Fig. 12.—Diagrama de correlación Au-EGP.

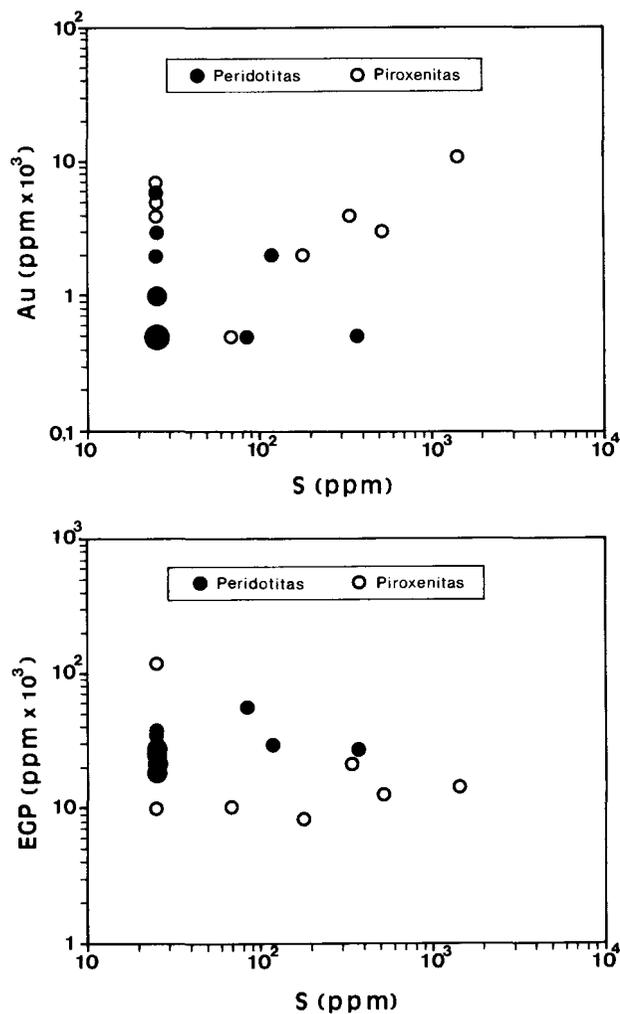


Fig. 11.—Diagramas de correlación Au-S y EGP-S.

en una muestra de Beni Bousera. El Au y el conjunto de EGP tienen un comportamiento similar y muestran una correlación positiva entre sí tanto en muestras frescas como alteradas (fig. 12), con un coeficiente de correlación lineal $r = 0,87$. A su vez, Au y EGP muestran una buena correlación positiva con los contenidos en Ni y As, pero sólo en muestras frescas (fig. 13). Los valores de los coeficientes de correlación lineal son los siguientes: $Au-Ni = 0,84$; $Au-As = 0,81$; $EGP-Ni = 0,97$ y $EGP-As = 0,95$. Leblanc y Gervilla (1988) analizan concentrados de cromita y de niquelina e indican que hay una fuerte partición de los metales nobles entre las dos principales menas presentes: Os, Ir y Ru están concentrados en la cromita, mientras que el resto de platinoides y el Au están concentrados fuertemente en los arseniuros de Ni. En especial, el Au muestra una marcada similitud de comportamiento con Pt y Pd. Los autores antes citados ponen de manifiesto que alrededor del 85 % del conjunto de EGP y la mayoría del Au se encuentran en la niquelina.

A pesar de que Au y EGP están fuertemente concentrados en los arseniuros de Ni, sin embargo, en muestras sin alteración supergénica no se detectan minerales del grupo del platino, y en el caso del Au no hay correlación entre los contenidos en este elemento y las proporciones de minerales de oro presentes.

En las mineralizaciones de sulfuros de Fe-Ni-Cu, ricas en grafito y con cromita (tipo S-G), los contenidos en Au están comprendidos entre 6×10^{-3} y 78×10^{-3} ppm en muestras frescas y entre

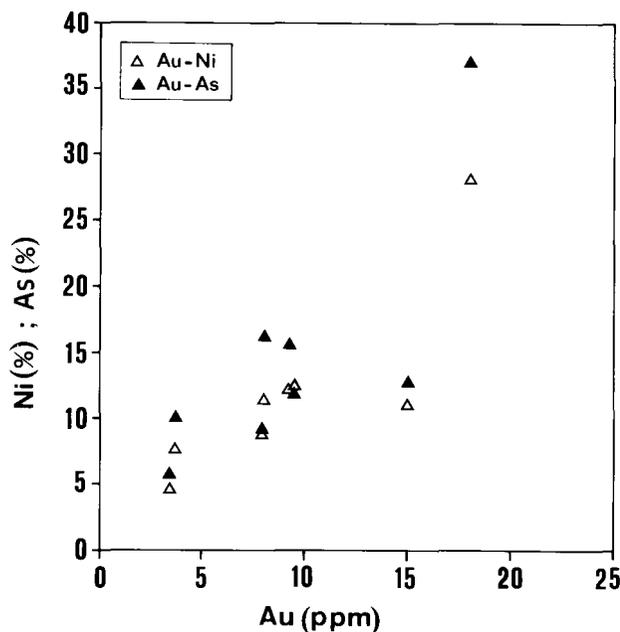


Fig. 13.—Diagrama de correlaciones Au-Ni y Au-As.

20×10^{-3} y 230×10^{-3} ppm en muestras alteradas (valores medios de 44×10^{-3} ppm y 154×10^{-3} ppm respectivamente, fig. 10) y los de EGP entre 0,187 y 0,5 (valor medio de 0,296 ppm). El Au muestra también una cierta correlación positiva con los contenidos en EGP, tanto en muestras frescas como alteradas ($r = 0,73$) (fig. 12). Frente a estas mineralizaciones, las de sulfuros ricos en Cu, sin grafito ni cromita (tipo S), presentan un fuerte aumento de los contenidos en Au (valor medio de 2,6 ppm, fig. 10) y una disminución del contenido en EGP (valor medio de 70×10^{-3} ppm).

Discusión de resultados

Los contenidos medios de Au de harzburgitas, lherzolitas y capas máficas, con un progresivo enriquecimiento en el mismo orden citado, indican que, durante los procesos de fusión parcial del manto, el oro tiene un comportamiento de elemento incompatible, concentrándose en los fundidos parciales. Este comportamiento ha sido también señalado por Stockman (1982) para las rocas del macizo de Ronda y por Dupuy *et al.* (1981) en las peridotitas ofiolíticas no acumulativas de Nueva Caledonia (tectonitas). Cabe señalar, sin embargo, que en otros macizos lherzolíticos alpinos, como los de Ariège e Ivrea Verbano no hay correlación entre los contenidos en Au y el carácter refractario de las rocas ultramáficas (Lorand *et al.*, 1989 y Garuti *et al.*, 1984).

La ausencia de covariaciones entre contenidos en Au, y también EGP, con respecto al contenido en S de las rocas máficas y ultramáficas, y el que el Au, Pt y Pd se concentren fuertemente en los arseniuros de Ni, son hechos que, en principio, no parecen coherentes con la conclusión de Mitchell y Keays (1981) de que los metales nobles en el manto se encuentran esencialmente formando parte de un componente intergranular rico en sulfuros, retenido en las peridotitas, y formado a partir de un fundido de sulfuro inmiscible separado durante los procesos de fusión parcial. A este respecto, Stockman (1982) señala que en las peridotitas de Ronda no es realístico el requerimiento esencial para el modelo de partición de estos elementos entre fundido silicatado-fundido sulfurado, ya que en su opinión no debieron existir sulfuros como fase separada en el líquido durante la fusión parcial. Esta falta de covariaciones de Au y/o EGP respecto al S es un hecho que también ha sido puesto de manifiesto en los macizos lherzolíticos de Ivrea Verbano y Ariège (Garuti *et al.*, 1984 y Lorand *et al.*, 1989). Por otra parte, la concentración de metales nobles en el «ore magma», segregado de los fundidos parciales, invalida la conclusión de Stockman (1982) de equiparar los contenidos medios de las piroxenitas en estos metales a los que tendrían los líquidos generados por fusión parcial.

El comportamiento de los metales nobles en el contexto aquí estudiado parece coherente con la deducción de que los fundidos parciales, a partir de los que se segrega el «ore magma» que produce las mineralizaciones, debieron generarse por fusión parcial de un manto empobrecido, y que tales fundidos estuvieron inicialmente infrasaturados en S y As. Como indican Hamlyn *et al.* (1985) y Barnes *et al.* (1985), entre otros, la naturaleza de la región fuente y el grado de fusión parcial condicionan el patrón de comportamiento de los elementos calcófilos, de tal forma que magmas generados en regiones fuente poco o nada empobrecidas, debido a bajos o moderados grados de fusión parcial, están saturados en S y son rápidamente empobrecidos en metales preciosos en estadios precoces de fraccionamiento de silicatos, permitiendo la coprecipitación de un componente sulfuro inmiscible. Por contra, magmas generados a partir de una región fuente altamente empobrecida están inicialmente infrasaturados en S y concentran los metales calcófilos en las fracciones líquidas. En este segundo caso se generan magmas tales como los de tipo boninitico y magnesianos relacionados bajos en Ti, los cuales son ricos en metales preciosos. Una composición similar a la señalada ha sido invocada por algunos autores para los magmas tempranos de Bushveld. Estos hechos son acordes con la hipótesis señalada por Gervilla *et al.* (1988), Gervilla (1990) y Gervilla y Leblanc (1990), según la cual las minera-

lizaciones se originan a través de procesos de fraccionamiento magmático, a partir de un líquido inmiscible, rico en S y As, segregado durante el fraccionamiento de un fundido máfico generado durante un segundo evento de fusión parcial de las peridotitas, en condiciones de moderada a baja presión (entre > 10 y 5 Kb). La reciente caracterización de acumulados piroxeníticos asociados a las mineralizaciones (datos no publicados) indican una afinidad boninitica.

Especialmente llamativa y particular es la partición de Au y EGP en los distintos tipos de mineralizaciones. Así, contrariamente a lo habitual en depósitos magmáticos de metales nobles asociados a rocas máficas y ultramáficas, en los que dichos metales se particionan a favor de líquidos inmiscibles sulfurados (casos de Bushveld, Stilwater, Norilsk, Sudbury, etc.), en este caso, el Au, junto con el Pt y Pd, se concentran fuertemente en la fase de arseniuros.

Desgraciadamente apenas si existen algunos datos sobre distribución y contenidos en As en rocas mantélicas, siendo el origen de este elemento una de las principales cuestiones a resolver en el modelo metalogénico propuesto para las mineralizaciones de la Serranía de Ronda y Beni Bousera. No obstante, en la literatura se encuentran algunos apoyos para un probable origen mantélico de este elemento. Así, Lorrain (1987) encuentra una asociación primaria de arseniuros de Ni en capas de piroxenita de Beni Bousera y aboga por un origen mantélico para el As, añadiendo que esta anomalía debe añadirse al resto de anomalías geoquímicas que caracterizan a estos macizos. Este autor sugiere un proceso de separación común para el As y S, mediante inmiscibilidad de un líquido rico en S + As, en condiciones de alta P y alta T. En las rocas mantélicas del complejo ofiolítico del macizo de Lewis Hills, Newfoundland, Edwards (1990) indica también la existencia de arseniuros primarios de Pt-Pd en piroxenitas fraccionadas a partir de líquidos boniniticos, y aboga por un origen mantélico para el As. En las rocas aquí estudiadas el As ha jugado, pues, un papel determinante como colector del Au y EGP (en especial Pt y Pd), asumiendo el papel habitual del S en las mineralizaciones magmáticas de sulfuros de Fe-Ni-Cu. La saturación en As y cristalización de niquelina con anterioridad a la saturación en S y formación de las mineralizaciones de sulfuros, hace que estas últimas mineralizaciones queden empobrecidas en tales elementos.

Como ya se ha señalado el Au, junto con Pt y Pd, se encuentran fuertemente concentrados en la niquelina sin que se detecten minerales de Pt y/o Pd y, por otra parte, la mayoría de los granos de oro nativo aparecen cuando la niquelina se transforma a otros arseniuros o sulfoarseniuros de Ni. Asimismo, minerales de estos elementos también están presentes

cuando los arseniuros de Ni están alterados supergénicamente. Estos hechos han llevado a proponer como hipótesis el que la mayor parte del Au y de Pt y Pd se encontraran originalmente como solución sólida dentro de la niquelina (Leblanc y Gervilla, 1988, Leblanc *et al.*, 1990). A este respecto, conviene señalar que Hansen y Anderko (1958) y Pearson (1967) indican que Pt, Pd y Au pueden sustituir al Ni en una fase de arseniuro de Ni. Asimismo, recientes datos experimentales sobre el sistema Ni-As-Pd (Gervilla *et al.*, 1991) parecen dar base a dicha hipótesis, ya que a 790 °C (temperatura del orden de la estimada para la cristalización de la niquelina de las mineralizaciones), tanto la niquelina como la rammelsbergita y la maucherita pueden disolver porcentajes en peso de Pd de hasta 6,20, 7,40 y 2,46 respectivamente. Aunque no se ha investigado el sistema Au-Ni-As, de la similitud de comportamiento geoquímico del Au y Pd, cabría esperar que el Au pueda también ser albergado en la estructura de la niquelina a alta temperatura. De esta forma podría, pues, explicarse la asociación de estos elementos con la niquelina y la formación de fases minerales de tales elementos sólo cuando acontece la transformación o destrucción de esta fase mineral.

En su conjunto las mineralizaciones de sulfuros están empobrecidas en Au y EGP respecto a los arseniuros de Ni. Dentro de ellas, sin embargo, Au y EGP presentan un comportamiento muy diferente. Así, el Au se encuentra fuertemente concentrado en las mineralizaciones ricas en sulfuros de Cu ($Cu \gg Ni$), las cuales representan los últimos productos de cristalización, mientras que el conjunto y cada uno de los platinoideos están preferencialmente concentrados en las mineralizaciones pobres en Cu ($Ni \gg Cu$). Este comportamiento del Au, particionándose a favor de mineralizaciones ricas en Cu, es un hecho frecuente en mineralizaciones magmáticas de sulfuros de Ni-Fe-Cu. Tal es el caso de los depósitos de Sudbury (Hoffman *et al.*, 1979), de Kambalda (Leshner y Keays, 1984) y de Hosanger, Flat y Ertelein en Noruega (Boyd *et al.*, 1988; Barnes *et al.*, 1988) entre otros. Sin embargo, contrariamente a lo que sucede en las mineralizaciones aquí estudiadas, en las mineralizaciones ricas en Cu de los depósitos mencionados existe un enriquecimiento no sólo de Au sino también de Pd y a veces de Pt, mientras que hay un empobrecimiento en el resto de los platinoideos respecto a las mineralizaciones de Ni-Fe-Cu asociadas. La explicación a este comportamiento es objeto de controversia. Algunos autores opinan que los sulfuros ricos en Cu con alta concentración de Au, Pd y Pt es resultado de removilización hidrotermal (Keays *et al.*, 1981). Sin embargo, otros autores sugieren que las mineralizaciones ricas en Cu corresponden al producto fraccionado final de un líquido

sulfurado de Fe-Ni-Cu producido después de la cristalización de una solución sólida monosulfurada (Naldrett *et al.*, 1982). En nuestro caso, el hecho de que las mineralizaciones ricas en Cu sólo estén enriquecidas diferencialmente en Au y no en Pd y Pt, y el que los hastiales muestren una importante alteración hidrotermal, nos hace pensar en que el enriquecimiento en Au se ha debido producir por procesos de removilización hidrotermal.

El estudio comparativo de los resultados analíticos y del comportamiento de Au y EGP en muestras frescas y alteradas, pone de manifiesto que tanto Au como el conjunto de EGP se comportan como elementos inmóviles durante los procesos de alteración supergénica de las mineralizaciones. Estos elementos, junto con el níquel se concentran en las zonas de oxidación. El Ni y el As muestran una mayor movilidad a escala de muestra, aunque también quedan fundamentalmente retenidos en la zona de meteorización. El Ni se encuentra asociado a oxihidróxidos de Fe y, junto con el As, precipita constituyendo finas costras y venillas de annabergita. Esta diferente capacidad migratoria de Au y EGP frente al As y al Ni hace que en las muestras alteradas dejen de existir las correlaciones que muestran todos estos elementos en muestras frescas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Prof. G. Garuti, de la Universidad de Módena, las facilidades concedidas y la ayuda prestada para la realización de los análisis cuantitativos de granos de oro y aleaciones, mediante microsonda electrónica.

Este trabajo ha sido subvencionado por la DGICYT, a través del Proyecto de Investigación PB87/0274, y por el Grupo de Investigación 4028 de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Balanyá, J. C. et García-Dueñas, V. (1987). Les directions structurales dans le Domaine d'Alborán de part et d'autre du Détroit de Gibraltar. *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 304, serie II, 929-933.
- Barnes, S. J.; Naldrett, A. J. and Gorton, M. P. (1985). The origin of the fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas: *Chem. Geology*, 53: 303-323.
- Boyd, R. and Nixon, F. (1985). Norwegian nickel deposits: A review. *Geol. Surv. Finland, Bull.*, 333: 364-394.
- Dupuy, C.; Dostal, J. and Leblanc, M. (1981). Distribution of copper and gold in ophiolites from New Caledonia. *Can. Mineral.*, 19: 225-232.
- Edwards, S. J. (1990). Harzburgites and refractory melts in the Lewis Hills massif. Bay of islands ophiolite complex: the base-metals and precious-metals story. *Can. Mineral.*, 28: 537-552.
- Frey, F. A.; Suen, C. J. and Stockman, H. W. (1985). The Ronda high temperature peridotite: Geochemistry and petrogenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49: 2469-2491.
- Garuti, G.; Gorgoni, C. and Sighinolfi, G. P. (1984). Sulfide mineralogy and chalcophile elements abundances in the Ivrea-Verbanò mantle peridotites (Western Italian Alps). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 70: 69-87.
- Gervilla, F. (1990). *Mineralizaciones magmáticas ligadas a la evolución de las rocas ultramáficas de la Serranía de Ronda (Málaga, España)*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 185 págs.
- Gervilla, F.; Torres-Ruiz, J. y Fenoll Hach-Alí, P. (1987). Las mineralizaciones de Cr-Ni de los macizos ultrabásicos de la provincia de Málaga (Sur de España): caracterización, tipos composicionales y relaciones con las facies de las rocas encajantes. *Bol. Geol. y Min.*, 98-3, 357-375.
- Gervilla, F.; Leblanc, M. y Torres-Ruiz, J. (1988). Relaciones entre la zonalidad petrológica y metalogénica de los macizos Lherzolíticos de las cadenas alpinas del Mediterráneo Occidental (Cordilleras Bético-Rifeñas y Kabylías). *Estudios Geol.*, 44: 375-383.
- Gervilla, F. and Leblanc, M. (1990). Magmatic ores in high-temperature alpine-type Lherzolite massifs (Ronda, Spain, and Beni Bousera, Morocco). *Econ. Geol.*, 85: 112-132.
- Gervilla, F.; Makovicky, E.; Makovicky, M. and Rose-Hansen, J. (1991). Los arseniuros de níquel como portadores de elementos del grupo del platino. Resultados experimentales en el sistema Ni-As-Pd a 790 °C y 450 °C. *Bol. Soc. Española Mineralogía.*, 14-1, 17-18.
- Hamlyn, P. R.; Keays, R. R.; Cameron, W. E.; Crawford, A. J. and Waldron, H. M. (1985). Precious metals in magnesian low-Ti lavas: Implications for metallogenesis and sulfur saturation in primary magmas. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49: 1797-1811.
- Hoffman, E. L.; Naldrett, A. J.; Van Loon, J. C. and Hancock, R. G. V. (1979). The noble-metal content of ore in the Levack West and Little Stobie mines, Ontario. *Can. Mineral.*, 17: 437-451.
- Keays, R. R., Roos, J. R. and Woolrich, P. (1981). Precious metals in volcanic peridotite-associated nickel sulphide deposits in western Australia II: Distribution within the ores and host rocks at Kambalda. *Econ. Geol.*, 76: 1645-1674.
- Kornprobst, J. (1969). Le massif ultrabásique de Beni Bouchera (Rif Interne, Maroc): Etude des peridotites de haute température et de haute pression, et des pyroxenolites à grenat ou sans grenat, qui leur sont associées. *Contr. Mineral. Petrol.*, 23: 283-322.
- Kornprobst, J. and Vialzeuf, D. (1984). Transcurrent crustal thinning: a mechanism for the uplift of deep continental crust-upper mantle relationship. In: *The Mantle and Crust-Mantle relationship*. J. Kornprobst Ed. Elsevier, Amsterdam, 347-352.
- Leblanc, M. (1986). Co-Ni arsenide deposits, with accessory gold, in ultramafic rocks from Morocco: *Can. J. Earth. Sci.*, 23: 1592-1602.
- Leblanc, M. and Gervilla, F. (1988). Platinum group elements and Au distribution in Ni arsenide-chromite veins from the Rifo-Bético Lherzolite massifs (Morocco/Spain). En: Prichard *et al.* (Eds.) *Geoplatinum 87*. Publ. Elsevier Applied Science, London, 181-198.
- Leblanc, M. and Temagout, A. (1989). Chromite pods in a lherzolite massif (Collo, Algeria). Evidence of oceanic-type mantle rocks along the western Mediterranean alpine belt. *Lithos*, 23: 153-162.
- Leblanc, M.; Gervilla, F. and Jedwab, J. (1990). Noble

- metals segregation and fractionation in magmatic ores from Ronda and Beni Bousera lherzolite massifs (Spain, Morocco). *Mineral. Petrol.*, 42: 233-248.
- Leshner, C. M. and Keays, R. R. (1984). Metamorphically and hydrothermally mobilized Fe-Ni-Cu sulphides at Kambalda, Western Australia. In *Sulphide Deposits in Mafic and Ultramafic rocks*, D. L. Buchanan and M. J. Jones Ed. Institute of Mining and Metallurgy, London, 62-69.
- Lorand, J. P. (1987). Sur l'origine mantellaire de l'arsenic dans les roches du manteau: exemple des pyroxenites à grenat du massif Lherzolitique des Beni Bousera (Rif, Maroc). *C.R. Acad. Sci. Paris.*, 305: 383-386.
- Lorand, J. P.; Bodinier, J. L.; Dupuy, C. and Dostal, J. (1989). Abundance and distribution of gold in the orogenic-type spinel peridotites from Ariège (Northeastern Pyrenees, France). *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 53: 3085-3090.
- Lundeen, M. T. (1978). Emplacement of the Ronda peridotite, Sierra Bermeja, Spain. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89: 172-180.
- Mitchell, R. H. and Keays, R. R. (1981). Abundances and distribution of gold, palladium and iridium in some spinel and garnet lherzolites: implications for the nature and origin of precious metal-rich intergranular components in the upper mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 45: 2425-2442.
- Naldrett, A. J. and Duke, J. M. (1980). Pt metals in magmatic sulfide ores; the occurrence of these metals is discussed in relation to the formation importance of these ores. *Science*, 208: 1417-1424.
- Naldrett, A. J.; Innes, D.; Gorton, M. P. and Sowa, J. (1982). Compositional variations within and between five Sudbury ore deposits. *Econ. Geol.*, 77: 1519-1534.
- Navarro-Vila, F. et Tubía, J. M. (1983). Essai d'une nouvelle différentiation des Nappes Alpujarrides dans le secteur occidental des Cordillères Bétiques (Andalousie, Espagne). *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 296, série II, 111-114.
- Obata, M. (1980). The Ronda peridotite: garnet-, spinel and plagioclase-lherzolite facies and the P-T trajectories of a high-temperature mantle intrusion. *J. Petrol.*, 21:(3), 533-572.
- Oen, I. S. (1973). A peculiar type of Cr-Ni-mineralization; cordierite-chromite-nicolite ores of Málaga, Spain, and their possible origin by liquid unmixing. *Econ. Geol.*, 68: 831-842.
- Oen, I. S. and Kieft, C. (1974). Nickelinite with pyrrhotite and cubanite exsolutions, Ni-Co-rich loellingite and Au-Cu-alloy in Cr-Ni ores from Beni Bousera, Morocco: *Neues Jb. Mineral. Mon.*, 1: 1-8.
- Oen, I. S.; Kieft, C. and Westerhof, A. B. (1979). Variation in composition of chromites from chromites-arsenide deposits in the peridotites of Málaga, Spain. *Econ. Geol.*, 74: 1630-1636.
- Remaidi, M.; Gervilla, F.; Bodinier, J. L.; Leblanc, M. and Torres-Ruiz, J. (1991). Harzburgite, dunite, and pyroxenite association in the Ronda ultramafic bodies. Geochemical evidence on percolation-reaction processes in sub-continental Mantle. (Abstract). In Meeting of the working group of IGCP Project n.º 256. *Ophiolite genesis and the evolution of oceanic Lithosphere*. Granada, 1991, 15-16.
- Reuber, I.; Michard, A.; Chalouan, A.; Juteau, T. and Jermoumi, B. (1982). Estructure and emplacement of the alpine type peridotites from Beni Bousera, Rif, Morocco: A polyphase tectonic interpretation. *Tectonophysics*, 82: 231-251.
- Stockman, H. W. (1982). *Noble metals in the Ronda and Josephine peridotites*. Ph. D. Thesis, Cambridge, Massachusetts Inst. Technology, 180 págs. (inédita).
- Suen, C. J. and Frey, F. A. (1987). Origins of the mafic and ultramafic rocks in the Ronda peridotite. *Earth Planet. Sci. Letters*, 85: 183-202.
- Torres-Roldán, R. L. (1978). The tectonic subdivision of the Betic zone (Betic Cordilleras, southern Spain): its significance and other possible geotectonic scenarios for the western Alpine Belt. *Am. J. Sci.*, 279: 19-51.
- Tubía, J. M. and Cuevas, J. (1986). High-temperature emplacement of Los Reales peridotite nappe (Betic Cordillera, Spain). *J. Struct. Geol.*, 8:(3/4), 473-482.
- Vinogradova, R. A.; Kroutov, G. A.; Mikhailov, N. P.; Roudachevsky, N. A. and Vialsov, L. N. (1976). Sur les produits de transformation de la nickeline provenant des filons de chromite-nickeline du massif des Beni Bousera au Maroc du Nord. *Mines et Géologie*, Rabat, Morocco, 39: 41-48.

Recibido el 10 de noviembre de 1991
Aceptado el 30 de diciembre de 1991