

NUEVAS APORTACIONES A LA TIPOLOGIA DE METALES PRECIOSOS PARA EXPLORACION EN ESPAÑA.

Por R. CASTROVIEJO (*)

R E S U M E N

La investigación y la exploración de yacimientos de metales preciosos se cuentan entre las actividades geológico-mineras más intensamente desarrolladas en España desde la década de los ochenta, impulsadas y finalmente casi paralizadas por las condiciones de mercado. Aunque los resultados tangibles en forma de nuevas minas desarrolladas y todavía hoy activas sean limitados, el esfuerzo realizado ha producido notables avances en el conocimiento de la Geología de los metales preciosos en la Península Ibérica. Este trabajo intenta una sistematización y una reflexión crítica sobre este reciente progreso, partiendo de un intento actualizado de síntesis de los conocimientos adquiridos, mediante la **clasificación tipológica (Cuadro 1)** de los yacimientos de metales nobles españoles, en el marco de la Geología Peninsular.

Se establecen 9 grandes grupos en función del principal metal precioso beneficiado **-platino y EGP** o elementos del grupo del platino, **plata y oro-** y del entorno geológico, en el contexto de las grandes unidades geo-estructurales de la Península Ibérica. Dichos grupos se subdividen en 20 tipos, los cuales son caracterizados individualmente.

Con respecto a los metales, el oro recibe la especial atención que corresponde a su **interés minero**, mientras que la producción minera española de EGP sigue siendo nula. El oro, lo mismo que la plata, era extraído mayoritariamente en España de depósitos de *gossan* (tipo 19), derivados de pre-concentraciones en sulfuros masivos (tipo 9), en la Faja Pirítica Ibérica (Provincias de Huelva y Sevilla, SO de España), los cuales aportaban más del 60 % de la producción minera de metales preciosos de la UE (Unión Europea) hasta mediados los años noventa. Como resultado de las investigaciones realizadas y ante el próximo agotamiento de éstos, el protagonismo se desplaza actualmente a concentraciones de skarn y jasperoide (tipos 13 y 13a: El Valle), en Asturias.

En el *Macizo Hespérico* se han definido varios metalotectos relacionados con concentraciones de **oro** ligadas a zonas de cizalla hercínicas en Galicia, Extremadura, etc.; otras concentraciones de oro se relacionan con intrusiones de granitoides o pórfidos y con formaciones de skarn (p. ej. NO peninsular, Pirineos) o jasperoide (El Valle, Asturias); en la Faja Pirítica se han investigado los tipos 9 y 19, con resultados muy positivos, aunque el agotamiento del *gossan* aurífero (t. 19) y los problemas mineralúrgicos de las menas refractarias (t. 9) limitan el desarrollo minero. Se ha encontrado **platino y EGP ± cromita** en complejos ofiolíticos obducidos en el N de Galicia (p. ej. Complejo de Cabo Ortegal), similares a los del N de Portugal (Complejos de Bragança y Morais). Se ha descubierto un pequeño yacimiento de **plata** en Fuenteheridos (Aracena, Huelva), pero no se ha logrado la reactivación de ninguno de los famosos distritos argentíferos clásicos (yacimientos filonianos como Guadalcanal, Sevilla, o Hiendelaencina, Guadalajara).

En *dominios alpinos* se han reconocido yacimientos epitermales de **oro y plata** de distintos tipos (p. ej. Minas Transacción y Santa Bárbara, Almería, t. 15 y 16, respectivamente) en la provincia volcánica neógena del SE español (Almería-Murcia) pero no se ha llegado a valorar la totalidad del potencial minero de la región. Se ha puesto de manifiesto la existencia de cuerpos epitermales portadores de metales nobles en un área potencial que se extiende a lo largo de más de un centenar de kilómetros hacia el N de las minas citadas (fig. 2) y se ha demostrado la factibilidad de su teledetección por *"thematic mapper"*. No se han descrito típicas concentraciones epitermales *sediment-hosted*, pero existen condiciones para que puedan darse. Con respecto a la **plata**, se ha encontrado y espera desarrollo minero un yacimiento de Zn-Pb-Ag en Mazarrón (Murcia). Por otra parte se conocen macizos ultramáficos en la Serranía de Ronda (Málaga) con indicios de **EGP** y Au, pero no concentraciones económicas. En el zócalo hercínico de dominios alpinos se han detectado concentraciones auríferas en skarn y otros indicios. Por fin, las concentraciones auríferas detríticas (paleoplaceres y placeres) terciarias y cuaternarias, muy explotadas por los romanos, han sido investigadas por diversas compañías sin resultados mineros positivos por el momento.

Finalmente, se presenta una valoración crítica del progreso realizado en los últimos años y se plantean cuestiones que toda-

(*) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Dept. Ingeniería Geológica, Ríos Rosas, 21, Madrid.

vía no han recibido una respuesta adecuada o que, por su interés minero, merecen un mayor esfuerzo de investigación. El balance es un conocimiento profundizado de la geología de los metales preciosos españoles, el reconocimiento pleno y la notable producción de los cuerpos de gossan auro-argentífero de la Faja Píritica Ibérica y el inicio de actividades de desarrollo y producción en Asturias (Río Narcea Gold Mines, t. 13 y 13a), por hablar sólo de los resultados actualmente económicos.

Por otra parte han de destacarse algunas cuestiones que podrían constituir atractivas metas para futuras investigaciones: entre ellas, en primer lugar, la culminación de la investigación de los *cinturones auríferos* asturianos; la definición de los controles de las concentraciones de EGP/Au (t. 1 y 2); la recuperación del oro en menas refractarias del Macizo Hespérico; el establecimiento de modelos metalogénicos, geométricos y geoquímicos más precisos de los diferentes tipos de mineralizaciones del Macizo Hespérico; la definición de la evolución en profundidad de los cuerpos mineralizados Au-Ag en los distritos epitermales conocidos (p. ej. Cabo de Gata, Almería) y de la extensión regional de estos tipos, en parte bajo formaciones pre-terciarias metamórficas y sedimentarias, en la provincia volcánica neógena del SE de España, así como la hipotética existencia de mineralizaciones diseminadas del tipo Carlin. Se proponen precisiones terminológicas en la definición del concepto epitermal.

Palabras clave: Metales preciosos, Oro, Plata, Platino, EGP, Tipología, Metalogena, España, Exploración.

A B S T R A C T

A summary review is made of the geology of Spanish precious metals deposits, which are classified -see typological classification in [Table 1](#)- and described in the framework of the Iberian Geology. Their exploration and mining potential -see [Table 2](#)- are also reviewed, after the intensive exploration work along the 1980's and early 1990's led to a deeper understanding and new definitions of various types of deposits and prospects, and also to some mining development. Hypogene gold deposits in the Hercynian *Hesperian Massif*, and epithermal gold deposits in the SE Spain *Neogene calc-alkaline volcanic province* are emphasized.

In the *Hesperian Massif*, different *metallotects* have been demonstrated to be related to attractive concentrations of gold, bound to Hercynian shear-zones, in Galicia, in Extremadura, etc.; other concentrations (e. g., in Galicia and Asturias) are related to granite or porphyry intrusions and skarn and jasperoid formations. **Platinum** (\pm chromite) has been found in ophiolitic thrust complexes occurring in N Galicia, e.g. the *Herbeira Massif* of the Cabo Ortegal Complex, as well as in Northern Portugal (*Bragança and Morais complexes*). Exploration for **silver** has demonstrated a small orebody in Fuenteheridos (Aracena, SW Spain).

Exploration for **gold** in *Alpine domains* has shown interesting prospects to occur in their Hercynian basement, e.g. skarn deposits, but has been most active in the Neogene calc-alkaline volcanic province of SE Spain, formerly worked for Pb-Ag-Zn-(Cu) and for Sn (Fe), and then known for its rich Au-Ag ores (e.g. the now exhausted *Filón 340* in the Rodalquilar mine), but its full potential has yet to be realized. Epithermal precious metals-bearing bodies have been shown to occur in a region spreading over one hundred Km. northwards from those mines, and the feasibility of their detection by remote sensing has been demonstrated. Sediment-hosted epithermal deposits have not yet been found in the region, but are not to be excluded. An attractive base metal and **silver** deposit has been proved near Mazarrón (Murcia). In another context, the ultramafic massifs of the *Serranía de Ronda* (Málaga) are known as PGE/Au *metallotects*.

The overall picture of these years of research is an increased knowledge of the Spanish precious metals ore geology, summarized in the updated typology; the full reconnaissance and mining production of the gossan bodies of the SW Iberian Pyrite Belt ([SWIPB](#)); and the development of several prospects (Carlés, Salave, Mazarrón, etc.), some of them leading to active gold mines at present (Asturias), and of the ephemeral Transacción, Almería, gold mine, which after a short period of activity had to yield to the negative trend of gold prices, and was closed in 1992.

On the other hand, some questions have arisen which define interesting goals for future research, first of all the complete definition of the Asturias gold belts for mining; but also others, such as: definition of the controls of EGP/Au mineralization in the Cabo Ortegal Thrust Complex and in the Serranía de Ronda (Málaga) Ultramafic Complex; the recovery of gold in the refractory ores from the Hesperian Massif, the precise metallogenetic, geometric, and geochemical models of the different types of shear-zone and other orebodies in Hercynian terrains; the evolution at depth of the Au-Ag orebodies in the known epithermal districts (e.g. Cabo de Gata, Almería); and the regional extent and exploration of this type of orebodies (partly, under metamorphic and sedimentary Hercynian formations) in the SE Spain Neogene volcanic province, as well as the hypothetical existence of disseminated, sediment-hosted Carlin-Type ore bodies. The foreseeable exhaustion of the most economic precious metals orebodies mined in the European Union (EU) in the last decade, the gold- and silver-bearing gossan bodies of the SWIPB, gives way to the now emerging gold mining potential of the NW Iberian (particularly Asturias) region.

Key words: Precious metals, Gold, Silver, Platinum, PGE, Typology, Metallogeny, Spain, Exploration.

INTRODUCCION

La evolución de los precios de los metales preciosos en el mercado mundial dio lugar a finales de los años setenta y durante la década de los ochenta a una intensa actividad de exploración minera, la cual innovó notablemente el conocimiento de la geología de los metales preciosos españoles. El oro es sin duda el metal que ha sido más buscado y será, por tanto, el que recibirá más atención en este trabajo. La plata, hoy, se beneficia como subproducto. El platino y los elementos de su grupo (EGP) no tienen tradición minera en la Península Ibérica y, aunque han sido explorados, han suscitado relativamente poco interés. No obstante, todos ellos serán discutidos brevemente.

Este trabajo se propone un esfuerzo de síntesis, sobre los resultados científicos logrados, y de valoración de su significado para la exploración minera en España, apoyándose tanto en la propia experiencia del autor¹ como en otros trabajos publicados o comunicaciones personales. Aparte de las dificultades subjetivas implícitas en la valoración de este considerable volumen de información diversa y variada, existe otra dificultad, en buena parte insuperable, ligada a la naturaleza misma de la exploración minera: el carácter confidencial de muchos de los estudios realizados, que impide su divulgación. No obstante, lo publicado hasta ahora parece suficiente, por su volumen y calidad, para intentar una síntesis que recoja los nuevos conocimientos geológicos. La drástica reducción de la inversión en exploración a principios de los años noventa, ligada a las sucesivas caídas de los precios del oro, especialmente a partir de diciembre 1997, es un motivo más para hacer balance y procurar, al menos, una valoración científica del esfuerzo realizado. Como primer paso, se propone una tipología de las concentraciones de metales preciosos españoles (Cuadro 1) que actualiza anteriores clasificaciones, incorporando nuevos datos, ideas y modelos. A continuación, se expone o

(¹) Particularmente en sendos trabajos (1994 a, b y 1995 a, b) dedicados, más específicamente, a los aspectos de exploración y de clasificación tipológica de los yacimientos de metales preciosos españoles, respectivamente. El lector interesado puede encontrar en ellos informaciones complementarias y una bibliografía específica más completa.

discute brevemente la geología de cada tipo y su significado para la exploración minera. Finalmente, se hace una valoración de los resultados de exploración y, sobre todo, se plantean diversas cuestiones que no han sido todavía resueltas y que esperan respuesta de futuros esfuerzos de investigación.

TIPOLOGIA DE YACIMIENTOS

Antecedentes

A nivel mundial, se han publicado diversas tipologías de concentraciones auríferas. Aunque algunas de ellas proceden de investigadores relevantes o tienen amplia difusión (p. ej. las de BOYLE, 1979, 1980, 1987; BACHE, 1981), no siempre son prácticas para exploración por diferentes razones, ya sea por el uso de criterios excesivamente teóricos, ya por una prolijidad excesiva, ya por emplear conceptos demasiado generales o ambiguos, que hacen que un mismo yacimiento se pueda encontrar fácilmente en varios tipos diferentes, lo que genera confusión.

Entre los antecedentes españoles, debe destacarse, como referencia general, el inventario preliminar de J. BURKHALTER (IGME, 1984) sobre el oro en España (Cuadro 2, en CASTROVIEJO, 1995 a). Igualmente para el oro, V. CRESPO (1988) presenta un balance de gastos y proyectos de exploración (1983-1987) que, además de datos históricos y económicos, aporta una clasificación tipológica de los yacimientos españoles de oro (Cuadro 3, en CASTROVIEJO, 1995 a). Más recientemente, el autor (CASTROVIEJO, 1994 -a y -b, 1995 -a y -b) elaboró una tipología para el conjunto de los metales preciosos, actualizada con los datos de exploración a la fecha. R. URBANO (1994) expone los resultados de los trabajos del ITGE (para el oro), adoptando una tipología basada en la clasificación de J. Burkhalter para los yacimientos auríferos españoles; sin embargo, por la fecha en que ésta fue elaborada (IGME, 1984) y sin poner en duda el incuestionable mérito del trabajo pionero de J. Burkhalter, dicha clasificación no puede reflejar los avances logrados en la década y media transcurrida desde su presentación; como hace notar su autor (IGME, 1984): "*El encaje de los yacimientos auríferos españoles en el marco de cualquier clasifi-*

CUADRO 1 - CLASIFICACION TIPOLOGICA DE YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE METALES NOBLES (*)			
TIPO	METAL	CARACTERIZACION	EJEMPLO
CONCENTRACIONES EGP/Au EN COMPLEJOS MAFICOS/ULTRAMAFICOS			
1	EGP	En el Macizo Hespérico: t. Ofiolítico	C. Ortegál
2	EGP	En dominios Alpinos: Menas Cr-Ni, con EGP/Au	S. Ronda
CONCENTRACIONES Pt Y EGP EN SEDIMENTOS Y SUELOS			
3	EGP	Detríticas/residuales, de tipos 1/2	id. 1, 2
CONCENTRACIONES DE Ag o Pb, Zn/Ag (**) EN TERRENOS HERCINICOS			
4	Ag	Filonos argentíferos en rocas metamórficas Hercínicas	Guadalcanal
5	Ag	Menas Ag en formaciones volcano-sedimentarias y carbonatadas	Aracena, Huelva
6	Ag	Filonos hidrotermales Pb-Zn-(Ag)	Linares
CONCENTRACIONES Pb, Zn/Ag EN PROV. VOLCANICA NEOGENA DEL SE ESPAÑOL			
7	Ag	En relación con intrusiones someras Neógenas en rocas pre-Terc.	La Unión
8	Ag	Concentr. epitermales relac. volcanitas Neógenas calco-alcálinas	Cabo de Gata
CONCENTRACIONES VOLCANO-SEDIMENTARIAS EN EL MACIZO HESPERICO (***)			
9	Au	Diseminaciones Au con sulfuros masivos	Huelva
CONCENTRACIONES HIPOGENICAS Au EN TERRENOS HERCINICOS			
10	Au	Filonianas, en zona de cizalla	Fervenza
11	Au	Hidrotermales, relac. con granitoides	Salave
12	Au	Mixtas (z. cizalla en granitoides)	Corcoesto
13	Au	En formaciones de skarn con sulfuros	Carlés
13 a	Au	En formaciones oxidadas con jaspeoide	El Valle
14	Au	Filonos Sb(As)-Au y otros	Extremadura, León
CONCENTRACIONES Au EN PROVINCIA VOLCANICA NEOGENA DEL SE ESPAÑOL			
15	Au	Encajante volcánico, tipo ácido-sulfatado (<i>high-sulfidation</i>)	Rodalquilar
16	Au	Encajante volcánico, tipo adularia-sericita (<i>low-sulfidation</i>)	Cabo de Gata
17	Au	Encajante no volcánico	Lomo de Bas
CONCENTRACIONES Au EN SEDIMENTOS DETRITICOS NEOGENOS Y RECIENTES			
18	Au	Paleoplaceres, en especial Neógenos, y placeres auríferos	NO Peninsular
DEPOSITOS DE METALES PRECIOSOS EN FORMACIONES DE GOSSAN			
19	Au	Concentr. superg. Au-Ag en gossan de sulfuros masivos (<i>tipo 9</i>)	Huelva

(*) Au, Ag y EGP o *platinidos* (elementos del grupo del platino).
 (**) En los tipos 6 y 7 la plata sólo se ha beneficiado como sub-producto.
 (***) En el tipo 9, hasta ahora, oro y plata se benefician como sub-productos.

cación tipológica de las existentes a nivel mundial ofrece dificultades prácticamente insoslayables en el momento actual, si se pretende efectuar con un mínimo de rigor metalogenético. Esta imposibilidad se basa en el escaso conocimiento que se posee sobre la mayor parte de las mineralizaciones dado que, en general, las explotacio-

nes mineras y los estudios correspondientes se remontan a épocas bastante lejanas".

Finalmente, las más recientes investigaciones han supuesto valiosos aportes al conocimiento. Y la realidad minera ha sufrido en España un importante vuelco en cuanto a la tipología de los

yacimientos más productivos, que pasan a ser concentraciones hipogénicas hidrotermales (Asturias), en lugar de las concentraciones oxidadas supergénicas, tipo gossan, de la Faja Pirítica Ibérica, ya casi exhaustas. Aunque esta evolución puede ser encajada sin violencia en la tipología propuesta (1994, 1995), resulta interesante una revisión a la luz de los nuevos conocimientos; por otra parte, ésta es obligada por la constatación de un error, fortuito pero grave, en la única versión castellana publicada en España (1995 a): el cuadro esencial, que muestra el esquema de clasificación tipológica, apareció con modificaciones incomprensibles, al parecer por errores informáticos de edición de la revista, las cuales lo hacen ininteligible. Ello obliga a una corrección de dicha publicación y a la presentación del cuadro auténtico (Cuadro 1), actualizado, que sirve de base a la presente discusión.

Se ha optado por una tipología de utilidad práctica y que, al tiempo, cumpla un requisito científico fundamental para exploración: basarse en hechos objetivos, que puedan ser contrastados por cualquier observador. Se ha preferido utilizar criterios descriptivos y obviar así discusiones genéticas excesivamente teóricas, cuando no infundadas para el nivel de conocimientos existente. Evitando el peligro de encadenar la exploración a modelos dogmáticos, tampoco se desprecian los esfuerzos de interpretación ni otras aportaciones teóricas (cf. Metalogenia).

La figura 1 ofrece, en el marco geológico de la Península Ibérica, la ubicación de los yacimientos/indicios discutidos y, particularmente, de los que sirven de referencia para los distintos tipos. Por evidentes problemas de escala, no siempre puede individualizarse la ubicación de concentraciones importantes pero próximas (es el caso de las de la Faja Pirítica Ibérica o de las que constituyen el conjunto Carlés, El Valle, etc. de Río Narcea, Asturias, de las que sólo se señala Carlés, C en fig. 1). La figura 2 muestra, en esquema, la provincia volcánica neógena del SE Peninsular, con los indicios correspondientes.

Propuesta de clasificación actualizada. Criterios

La clasificación tipológica presentada en el Cuadro 1 distingue 20 tipos de concentraciones

de metales preciosos, articulados en nueve grandes grupos atendiendo, en primer lugar, al principal metal precioso beneficiado (EGP o elementos del grupo del platino, **plata u oro**) y, seguidamente, a los datos generales del entorno geológico. La distinción entre tipos se basa en características específicas, consideradas esencialmente desde un punto de vista descriptivo, es decir, apoyado en hechos de observación más que en conceptos interpretativos.

Dicha clasificación se distingue de las anteriormente citadas por utilizar sistemáticamente, como criterio básico, la relación con el entorno geológico, con las grandes unidades estructurales de la Península Ibérica. Sólo cuando se ha establecido esta relación se consideran otras singularidades, genéticas o de otro tipo. Se espera, al recurrir a este criterio fundamental geológico y descriptivo, ganar en claridad y evitar el típico escollo de las interpretaciones polémicas. Estas son importantes para hacer avanzar la ciencia, pero con frecuencia dificultan el lograr un consenso inicial ampliamente aceptado, un lenguaje común.

Se considera el oro como objeto capital por su significado minero. La plata es extraída en España conjuntamente con el oro en la mayor parte de los casos, por lo que la tipología es en gran parte común. Los EGP, carentes de producción minera española, pueden caracterizarse con facilidad en unos pocos tipos (t. 1 a 3). En caso de concentraciones polimetálicas, se considerará el metal precioso que constituya la principal sustancia beneficiada. Si el metal/es precioso/s se obtiene/n únicamente como subproducto de otro tipo de minería (vbgr. el oro de los sulfuros masivos, la plata de filones Pb-Zn), en rigor, no se trata de un yacimiento de metales preciosos y no será objeto principal de atención, pero sí se define y se le reserva un lugar en la clasificación. De lo contrario, concentraciones tan significativas como los sulfuros complejos de la Faja Pirítica Ibérica (*tipo 9*), que hasta hace poco han sido, directa (*tipo 9*) o indirectamente (*tipo 19*), la fuente principal de la minería de metales preciosos de la Unión Europea, no deberían ni siquiera ser mencionadas; evidentemente debe evitarse tal despropósito, más aún si se tiene en cuenta que un eventual éxito en las investigaciones mineralúrgicas en curso para concentrar el oro

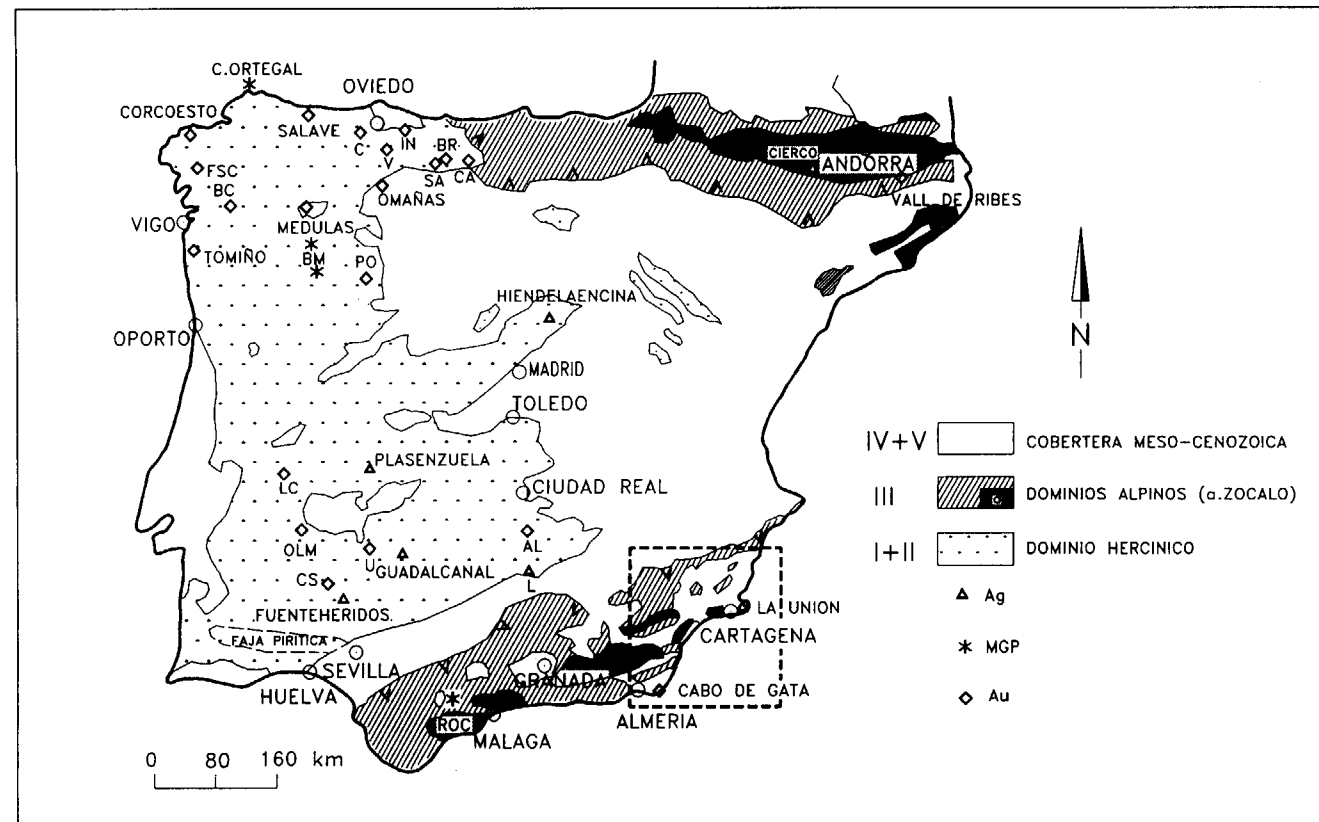


Figura 1.- Esquema geológico de la Península Ibérica (modificado de CASTROVIEJO 1994 a). El Dominio Hercínico se compone de terrenos precámbricos y paleozoicos (Macizo Hespérico). Los dominios alpinos se componen de terrenos mesocenoicos y zócalo hercínico. La Cobertera comprende terrenos mesocenoicos pre- y sin-alpinos y cuencas terciarias post-alpinas. Recuadro: área ampliada en la fig. 2.

Abreviaturas de localidades e indicios/minas citados: AL: Almuradiel (tipo 14); BC: Brués-Carballiño (t. 11); BM: Complejo de Bragança y Morais (t. 1); BR: Burón-Riaño (t. 14); C: Conjunto Río Narcea (Carlés t. 11; El Valle, t. 13a; Boinas, etc.); CA: Carracedo (t. 13); CS: Cala (t. 13) Sultana (t. 11); FSC: Fervenza-Santa Comba (t. 10, 12); IN: Infiesto (t. 13); L: Linares-La Carolina, Sierra Morena (t. 6); LC: La Codosera (t. 10); OLM: Anticlinorio Olivenza-Monesterio (t. 10); PO: Pino del Oro (t. 10); ROC: Ronda, Ojén, Carratraca (t. 2); SA: Salamón (t. 14); U: Usagre (t. 14); V: Villamanín (t. 14).

refractario podría suponer el paso de dichos yacimientos a yacimientos de metales preciosos en sentido estricto, pasando a ser subproducto del oro los sulfuros actualmente beneficiados.

El criterio seguido, aun siendo fruto de un esfuerzo de racionalización, es desde luego también limitado y cuestionable. En primer lugar, no se ha pretendido hacer un catálogo exhaustivo de todas las posibles concentraciones de metales preciosos —como el meritorio inventario para el oro de J. BURKHALTER, *op. cit.*—, sino prestar atención principalmente a las de verdadero interés minero, actual o potencial (yacimientos o indicios), de las que hay una idea suficiente-

mente precisa como para poder definirlos. Como orientación, para apreciar el significado minero de cada tipo, se presenta en el Cuadro 2 (actualizado de CASTROVIEJO, 1994 a) una estimación de reservas de algunos yacimientos característicos.

Los indicios insignificantes, mal conocidos y de caracterización dudosa serán antes descartados que convertidos en falsos proto-tipos. Por esta razón se han agrupado, como *tipo 14*, una serie de indicios y antiguas minas que, si bien parecen tener ciertos rasgos en común, podrían tal vez ser diferenciados (distinguiéndose sub-tipos o incluso algún nuevo tipo) en el futuro, cuando se disponga de valoraciones y estudios más com-

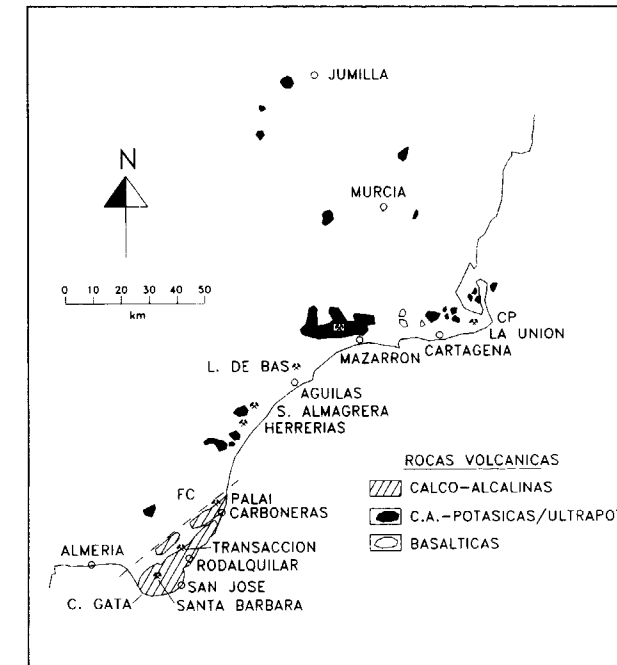


Figura 2.- Distribución de rocas volcánicas neógenas en el SE de España y situación de las minas/indicios comentadas. El área corresponde al recuadro de la fig. 1. Modificado de LOPEZ RUIZ y RODRIGUEZ BADIOLA, 1980. Las rocas calcoalcalinas potásicas y shoshoníticas y las ultrapotásicas de estos autores se representan conjuntamente, por razones de escala, como "C.A.-potásicas/ultrapotásicas". Los símbolos de mina corresponden a distritos mineros de Pb-Zn-Ag, (Fe, Mn, Sn, Sb) o Au. Abreviaturas: FC Falla de Carboneras, CP Cabo de Palos.

pletos. Este riesgo de modificación futura —hecha ya realidad en el nuevo tipo 13 a—, se considera compensado por la ganancia en sencillez y coherencia, que deben ser condiciones indispensables de toda tipología.

Otro tipo de limitaciones se plantea en torno a la atención prestada a otros procesos, entre ellos los genéticos². Así, puede parecer a algunos innecesaria para una tipología e inconsecuente con los principios de simplicidad aludidos más arriba la distinción de los *tipos 9 y 19* (sulfuros masivos y cuerpos de gossan derivados de los mismos, respectivamente). De hecho, esta distinción no siempre se ha hecho: el *tipo 5* agrupa concentra-

⁽²⁾ Los criterios genéticos pueden ser aceptables como base de clasificación únicamente cuando superan el nivel de conjeturas y se corresponden con hechos significativos, claramente demostrables y firmemente apoyados en la realidad por medio de observaciones objetivas.

ciones argentíferas en formaciones volcano-sedimentarias y carbonatadas y en masas de óxidos derivadas de las mismas. La diferencia entre ambos casos radica en la necesidad o no de tal distinción.

En el primer caso, es evidente que se trata siempre de cuerpos de considerable entidad minera, distinguiéndose los de ambos tipos (t. 9 y 19), a pesar de su clara relación espacial y genética, no sólo por procesos de concentración y edades diferentes, sino también por geometrías, composiciones mineralógicas y contenidos metálicos bien diferenciados que dan lugar a bien distintas actividades productivas (mineras y mineralúrgicas), por las que se extraen los metales preciosos únicamente como sub-producto en el caso de los sulfuros masivos y como producto esencial en el caso de las masas oxidadas; además, las reservas de gossan serán agotadas, al ritmo actual de extracción, en pocos años, lo que no es previsible todavía para los sulfuros masivos de esta gran provincia metalogénica. Hay, pues, hechos significativos que justifican un tratamiento diferenciado.

Por el contrario, la pequeña entidad de los cuerpos reconocidos hasta ahora en el segundo caso (t. 5) no aconsejan una distinción teóricamente posible, pero sin significado práctico en el estado actual de conocimientos, ya que en este caso (Fuenteheridos) los procesos supergénicos, que al fin y al cabo afectan a cualquier yacimiento suficientemente importantes como para justificar su separación: por ello se ha optado por el principio de simplicidad y se han agrupado en un mismo tipo las concentraciones primarias y secundarias. Lo cual no impide que si algún día llegase a reconocerse la existencia de cuerpos significativos de gossan argentífero (distinto del auro-argentífero del t. 19), pudiese desglosarse tal tipo para incorporarlo por derecho propio a la clasificación.

Se ha querido, pues, evitar la tentación de hacer una tipología que lleve la ambición teórica al extremo de contemplar todos los casos posibles aunque no existan (o, lo que es lo mismo, definir objetos inexistentes), para optar, más modestamente, por una tipología práctica y realista, referida a la geología española, que se corresponda

CUADRO 2 - ESTIMACION DE RESERVAS Y LEYES DE ALGUNOS EJEMPLOS DE YACIMIENTOS TIPO (*)			
TIPO	EJEMPLO	RESERVAS ⁽¹⁾	LEY ⁽²⁾
5	Fuenteheridos	2	4% (Pb+Zn)
		3	77 Ag
19	Río Tinto (Huelva)	5	47 Ag
	Tharsis (F. Sur, Lapilla)	5	0,9 Au
10/12	Cuerpo medio ⁽³⁾ , estimación	0,03	2 Au
11	Salave (Asturias)	16,5	3 Au
13	Carlés (Asturias)	2,6	5 Au
			10 Ag
13 a	El Valle (Asturias)	10	4 Au
9	Lomero Poyatos (Huelva)	0,5	6 Au
	Masa Migollas (Sotiel, Huelva)	6	2 Au
	Filón Norte, Tharsis	86	0,8 Au
	Masa Los Frailes (Aznalcóllar, Sevilla)	50	0,7 Au
	La Zarza (Huelva)	10	70 Ag
15	Rodalquilar, cuerpo medio ⁽³⁾	0,5-1	6 Au
18	Depósito medio	5-25 mill. m ³	1,3 Au
			0,1/0,15 g/m ³ Au

(*) Tipo indicado por su número (Cuadro 1).

⁽¹⁾ En millones de toneladas métricas (t), salvo indicación contraria; estas cifras son estimaciones de reservas existentes (todavía no extraídas a la fecha; información adicional: CASTROVIEJO, 1994 a)

⁽²⁾ En ppm Au o Ag, salvo indicación contraria.

⁽³⁾ Las cifras indicadas se refieren únicamente a cuerpos discretos, individuales. Las reservas de un distrito o incluso de una mina serán normalmente un múltiplo del tonelaje dado, dependiendo del número de cuerpos mineralizados que se han definido (sus contenidos metálicos se estiman, en una primera aproximación, equivalentes). Por ejemplo, en el distrito de Rodalquilar se conocen varios cuerpos separados, que pertenecen a distintos propietarios; en el supuesto de 5 cuerpos como el estimado -la evaluación de reservas no se ha terminado- podría estimarse un contenido total de Au metal de unas 2,5 a 3 t, frente a las 6 ya extraídas. Algunos yacimientos de los tipos 10 a 13 en el NO Peninsular podrían contener varios cuerpos, con un metal contenido total de unas 5 a 50 t Au (es decir, 2 a 10 millones t de reservas, con leyes de 1,5 a 5 ppm de oro).

con los hechos conocidos y con la realidad de los datos de exploración, a expensas de poder ser ampliada y actualizada si los futuros conocimientos así lo exigiesen.

DESCRIPCION Y GEOLOGIA DE TIPOS ESPAÑOLES

Una vez establecidos los criterios, la caracterización de cada tipo se hará, más que por una definición o enumeración de rasgos abstractos, apoyándose en la descripción sucinta del representante(s) más apropiado(s) en su marco

geológico, lo que al menos debería garantizar el contacto directo con la realidad, la referencia concreta a objetos realmente existentes. Dicha descripción se hará por sustancias y siguiendo el orden del Cuadro 1. Todos los yacimientos citados se encuentran ubicados en las figuras 1 a 3; de ellos sólo serán descritos, por razones obvias de espacio, los que por su significado o importancia interesan al objeto del presente trabajo; por las mismas razones, se citan sólo las referencias bibliográficas imprescindibles (más datos en CASTROVIEJO, 1994 a-b, 1995 b). El cuadro 2, ya comentado, ofrece una estimación de reservas de representantes típicos.

Platino y elementos del grupo del platino (EGP)

Los metales del grupo del platino son los únicos, entre los preciosos, que carecen de toda tradición minera (extractiva) en España, aunque se conoce la existencia de indicios desde los trabajos pioneros de D. ORUETA (1919) en las formaciones ultramáficas de la Serranía de Ronda (Málaga).

Existen concentraciones de EGP (en algunos casos también auríferas)

* hipogénicas, en complejos ultramáficos

- del Macizo Hespérico (*tipo 1*), en el NO de la Península Ibérica,

- y del Dominio Alpino (*tipo 2*), en el Sur (provincia de Málaga),

* así como indicios de concentraciones supergénicas de los mismos en formaciones detríticas recientes y suelos (*tipo 3*), en ambas regiones. Estas últimas han sido reconocidas por D. ORUETA (*op. cit.*) y por V. SHASHKIN (1992), en los sectores Sur y Noroeste, respectivamente; el conocimiento presente de este tipo les confiere escasa importancia, excepto como guías de exploración.

- El *tipo 1*, ofiolítico o polimetamórfico, está bien representado en el Macizo Hespérico por los macizos ultramáficos de Galicia y Norte de Portugal³ (figura 3). El complejo ofiolítico de Cabo Ortegal, explorado por Adaro, es el que ha dado resultados más alentadores; S. MONTEERRUBIO (1991) demostró contenidos de hasta 6 ppm Pt+Pd (análisis de roca total) en peridotitas cromíticas del Macizo de Herbeira, con enriquecimientos aparentes de los EGP tanto en las capas cromíticas como en la matriz serpentinitica. Por otra parte, en otras unidades del mismo complejo, como ocurre típicamente en series ofiolíticas (p. ej. Chipre), se han beneficiado concentraciones volcansedimentarias sulfuradas de cobre.

- El *tipo 2* está representado por los macizos ultramáficos de Ronda, Ojén y Carratraca (Málaga, fig. 1). Las formaciones de la Serranía de Ronda son las primeras que llamaron la atención por su contenido en EGP (ORUETA, 1919),

⁽³⁾ Ya en 1949 puso de manifiesto J. M. Coteló Neiva la existencia de EGP en los Macizos de Bragança y Morais (Portugal).

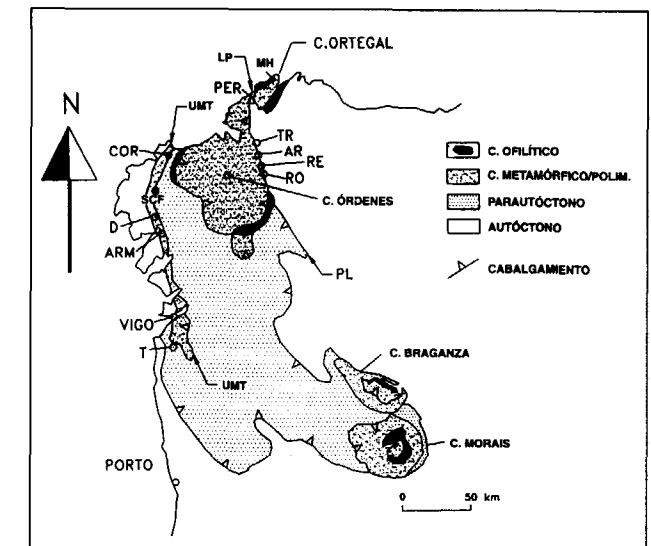


Figura 3.- Distribución de unidades alóctonas en la Zona Galicia-Tras os Montes (Sectores Galicia O y Portugal N del Macizo Hespérico, modificado de RIBEIRO *et al.*, 1990, y QUESADA, 1992), indicando situación de complejos alóctonos (= C) y de algunas zonas de cizalla mayores relacionadas con concentraciones Au, que se corresponden con los márgenes de la Unidad de Malpica Tui (= UMT) y con el Lineamiento de Pontedeume (= LP). Distritos e indicios auríferos (tipos 10-12): AR Aranga; ARM Armada; COR Corcoesto; D Donas; PER Pereiro; RE Remouran; RO Roñon; SC-F área Santa Comba O-Fervenza; T Tomiño; TR Traviesas. Los Complejos de Cabo Ortegal, Ordenes, Bragança y Morais contienen complejos ofiolíticos con metalotectos de EGP, tipo 1, entre ellos el Macizo de Herbeira (MH).

aparte de las diversas mineralizaciones de sulfuros de Ni que contienen, ya explotadas en varias minas.

Los trabajos recientes (GERVILLA y LEBLANC, 1990) distinguen tres tipos de menas (cromita; cromita con arseniuros de Ni; S-G o sulfuros de Ni-Fe-Cu-grafito), la segunda de las cuales, con EGP y hasta 35 ppm de Au, es interpretada como de un tipo único, exclusivo del orógeno Bético-Rifeño. También se han encontrado trazas de MGP como inclusiones en cromita del primer tipo (TORRES-RUIZ *et al.*, 1993).

PLATA

La plata, caracterizada en la Península Ibérica por una metalogenia variada, se cuenta entre los metales tradicionales de la minería española. Dada su frecuente asociación, como sub-pro-

ducto, con oro o con *base metals* (Pb, Zn), muchos de sus yacimientos figurarán en la tipología como de oro o de plomo/cinc. Estos últimos, es decir, los de Pb-Zn (Ag), desbordan el objetivo estricto de este trabajo, pero merecen, al menos, una mención, ya que buena parte de la producción tradicional y reciente española de plata se debe a estos tipos (t. 6 y 7) de yacimientos, aunque en los últimos años se hayan visto todas sus minas obligadas a cerrar⁴.

Se han definido los siguientes tipos:

* Concentraciones de plata o de plomo-cinc (plata) en terrenos hercínicos (la mayor parte en el Macizo Hespérico, pero también en el zócalo hercínico de dominios alpinos):

- *Tipo 4: Filones argentíferos en rocas metamórficas hercínicas.* Se trata de un grupo muy amplio de yacimientos hipogénicos, con varias clases posibles por lo que se refiere a ambientes geológicos y a condiciones y procesos de formación. A él pertenecen las más famosas minas de plata españolas, como Guadalcanal y Hiendelaencina, pero no conserva ni una sola activa desde hace varios decenios, lo que representa una seria dificultad para su investigación y limita la precisión de los conocimientos posibles.

El yacimiento de **Hiendelaencina**, Guadalajara (MARTINEZ FRIAS, 1992) y otros de su distrito, en el Sistema Central, han sido interpretados como concentraciones epitermales⁵ de Ag-(Pb-Zn), relacionadas con episodios de tectónica distensiva y volcanismo calco-alcalino del Carbonífero/ Pérmico (CONCHA *et al.*, 1992), aunque hay opiniones divergentes (TORNOS *et al.*, 1993; CONCHA *et al.*, 1993). El yacimiento de **Guadalcanal** (Sevilla) muestra marcadas similitudes con los de Kongsberg (Noruega) y Cobalt (Ontario), y se caracteriza por complejas paragénesis de arse-

⁽⁴⁾ Esta tendencia negativa podría no obstante corregirse en fechas próximas, si llegan a culminar los trabajos de desarrollo en Mazarrón (t. 8).

⁽⁵⁾ La interpretación de estos yacimientos como epitermales ha conducido a su equiparación -tal vez lógica desde dichos presupuestos genéticos, pero también equivoca desde el punto de vista de la coherencia tipológica- con los de Herrerías-Sierra Almagrera (Almería), clasificados en el tipo 8 en la presente tipología, por su relación con el volcanismo neógeno del SE español.

niuros, antimoniueros y sulfosales de plata (CASTROVIEJO, 1990 b), cuya precipitación *topomine-ral* aparece asociada a ciertos niveles (metavolcanitas básicas fuertemente propilitizadas) del encajante, análogos a los *Fahlbänder* de Kongsberg. Estos ejemplos más famosos no agotan el tipo 4: *vbgr.*, en las minas de **Plasenzuela** (Trujillo, Cáceres) se extraía la plata de filones mesotermales de arsenopirita, sulfuros y sulfosales de plata, encajados en metasedimentos epizonales del *Complejo Esquisto-Grauváquico* y espacialmente relacionados con una intrusión granítica (LAGO *et al.*, 1989), que muestran bastantes similitudes con los del distrito de Coeur d'Aléne, Idaho (USA).

- *Tipo 5: Concentraciones argentíferas, con o sin plomo-cinc, relacionadas con formaciones volcánico-sedimentarias y / o carbonatadas.* Se consideran únicamente los yacimientos en que la plata es el metal principal, excluyéndose por tanto los explotados prioritariamente para oro u otros metales, aunque también contengan plata: *vbgr.* los de la Faja Pirítica Ibérica (t. 9). El yacimiento de **Fuenteheridos** (Sierra de Aracena, Huelva) puede considerarse como el representante típico. Los cuerpos mineralizados consisten en concentraciones estratiformes, probablemente volcánicas, de sulfuros y sulfosales de plata, barita, etc.; el encajante, en formaciones carbonatadas y volcánico-sedimentarias de edad Proterozoico-Cámbrico.

- *Tipo 6: Filones hidrotermales Pb-Zn-(Ag) en el Macizo Hespérico (la mayoría) o en el Zócalo Hercínico de Cadenas Alpinas (Pirineos).* Encajan habitualmente en granitoides o en rocas metamórficas. Tradicionalmente han sido interpretados como yacimientos hipogénicos relacionados con el ciclo hercínico, pero algunas interpretaciones recientes tienden a considerarlos post-hercínicos. Esto no tiene por qué alterar su posición en la presente tipología descriptiva, basada en sus rasgos generales y en el entorno geológico. Desde el punto de vista minero, la plata es únicamente un sub-producto. Los distritos más representativos, antaño muy importantes y hoy inactivos, se encuentran en una amplia región que abarca desde Sierra Morena Oriental (*vbgr.* Linares y La Carolina, Jaén) hasta Extremadura (*vbgr.* Azuaga, Badajoz); en el zócalo pirenaico destaca el de Cierco (Lérida. CASTROVIEJO y MORENO, 1983).

* Concentraciones de plata y / o plomo-cinc (plata) relacionados con el volcanismo de la provincia neógena calco-alcalina del Sureste peninsular:

- *Tipo 7: Yacimientos filonianos, disseminaciones y masas o mantos de Pb-Zn-(Fe, Sn, Ag), relacionados con intrusiones someras terciarias en formaciones hercínicas y mesozoicas del Dominio Bético.* Han tenido gran importancia desde tiempos pre-romanos y han seguido en actividad a lo largo de más de 2000 años, hasta el cierre reciente de las Minas de la Unión, Cartagena (figs. 1 y 2), consideradas en su momento como las explotaciones de Pb-Zn-Ag de más baja ley del mundo. La interpretación genética de estos yacimientos ha sido polémica (PAVILLON, 1969; OEN *et al.*, 1975; OVEJERO *et al.*, 1976), en especial por lo que se refiere al papel del volcanismo y al origen de los metales (aportes volcánicos versus herencia de formaciones pre-terciarias), pero como tipo pueden ser caracterizados en conjunto como concentraciones espacialmente relacionadas con intrusiones someras de la región volcánica neógena del SE de España, incluso cuando están emplazados en formaciones hercínicas metamórficas o mesozoicas.

- *Tipo 8: Concentraciones epitermales Pb (Zn)-Ag(Au) y Ag relacionadas con las volcanitas neógenas calcoalcalinas del SE peninsular, emplazadas en rocas terciarias, volcánicas o no, o incluso en formaciones hercínicas (transicionales al tipo 7).* No son muchos los ejemplos que pueden ser considerados como yacimientos de plata, es decir, en los que la plata es el metal principal. Dos podrían ser citados como típicos: Herrerías, Almería para plata (MARTINEZ FRIAS *et al.*, 1989) y Mazarrón, Murcia para Zn-Pb-Ag (MORALES y FENOLL, 1990). Otros ejemplos en Cabo de Gata y Rodalquilar serán tratados con los yacimientos auríferos (tipos 15 a 17).

ORO

El oro tiene una larga tradición minera en España y, al igual que la plata, se presenta en épocas y tipos variados. Estos pueden ser clasificados como:

* Concentraciones volcánico-sedimentarias en

terrenos metamórficos hercínicos. Han sido la principal fuente de la reciente producción española (y de la Unión Europea) de oro, ya sea como subproducto de la minería de sulfuros masivos (oro primario, disseminado en las masas de sulfuros: *tipo 9*), muy bien representados en la Faja Pirítica Ibérica, provincias de Huelva y Sevilla (fig. 1), ya como concentraciones secundarias supergénicas en gossan (*tipo 19*). Entre los trabajos de exploración (por oro), merece destacarse la investigación de los sulfuros masivos (primarios) como yacimientos de notable potencial aurífero, considerando el oro como el metal principal. Por ejemplo, la recientemente desarrollada en la Mina La Zarza (Huelva), que puso de manifiesto importantes reservas (Cuadro 2) en el mineral *silicatado* (masa sílice-sulfuros relacionada con eventos hidrotermales subsecuentes a la deposición de las masas piríticas volcánico-sedimentarias), aunque el carácter refractario de la mena aurífera representa una dificultad no superada, en un momento de baja cotización del metal. Por ello el desarrollo minero del oro en este tipo está todavía en expectativa.

* Concentraciones hipogénicas de oro en terrenos metamórficos hercínicos: ya beneficiadas en tiempos pre-romanos y romanos, se cuentan entre las más investigadas en los últimos años, especialmente en el Macizo Hespérico. La información obtenida permite su clasificación en los tipos 10 a 14 del Cuadro 1, algunos de los cuales (t. 10, 11 y 12) suelen estar interrelacionados o formar tipos mixtos. Aunque la distinción en este caso puede parecer artificial -los yacimientos **relacionados con zonas de cizalla** (t. 10) lo están también frecuentemente con granitoides o pórfidos y viceversa-, resulta útil distinguir un tipo **relacionado con granitoides** (t. 11), sin necesidad de implicar la existencia de deformación dúctil o cizalla, mientras que el **tipo mixto** (t. 12) implica relación simultánea con granitoides y deformación dúctil.

- *Tipo 10: concentraciones filonianas en zona de cizalla.* Pueden ser caracterizadas por las del área Santa Comba-Fervenza, Coruña (CASTROVIEJO, 1990 a), que muestran un marcado control por grandes estructuras y zonas de cizalla (fig. 3), en régimen de transición dúctil-frágil, con episodios cíclicos de sobrepresión de fluidos y fracturación / cataclisis, seguidas de circulación hidrotermal,

relleno y cemento de brechas. Es frecuente la relación con granitos o pórfidos. La alteración hidrotermal (potásica, sericítica, argílica...) es manifiesta y por estar asociada a una deformación localizada de litologías catazonales presenta a veces un carácter retrógrado.

Son similares a otros yacimientos de zona de cizalla europeos (*vbgr.* Macizo Central Francés, BONNEMAISON y MARCOUX, 1987), integrándose en el tipo habitualmente designado como *mesothermal o: vein type, gold only, metamorphic, greenstone belt... gold deposits*. Comparados con los típicos yacimientos precámbricos de *greenstone belts* (*vbgr.* Abitibi Belt, Canadá), los españoles citados son más pequeños en tamaño y reservas y se presentan en rocas de mayor grado metamórfico, en secuencias en que las rocas máficas volcánicas son menos abundantes.

- *Tipo 11: concentraciones hidrotermales en granitoides.* Existen varios ejemplos, casi todos ellos caracterizados por abundante alteración hidrotermal relacionada con la mena de sulfuros y oro nativo; éste puede estar asociado con facies específicas. El yacimiento de Salave (Asturias) ha sido definido por M. HARRIS (1980 a,b) como un "tipo formado en casi cualquier roca cuarzo-feldespática con ferromagnesianos, probablemente en un área de fuerte actividad tectónica, con un zonado de facies de alteración caracterizadas por carbonatización, albitización, desilicificación, sericitización y destrucción textural decrecientes al alejarse de la mineralización de oro nativo diseminado asociado con pirita, arsenopirita, estibina y cantidades menores de otros sulfuros". Este "tipo Salave" (HARRIS, 1980 b) se considera aquí como un caso particular -el más importante por sus reservas, v. Cuadro 4- de yacimientos de oro en granitoides (t. 11), grupo más amplio que incluye también otras concentraciones en las que no se dan algunos de estos rasgos o se dan otros diferentes, como sucede en los indicios de Brués, Carballiño y Tomiño, en los que la deposición de oro se asocia con alteraciones argílica, sericítica o, en el caso particular de Tomiño, con una greisenización muy limitada.

- *Tipo 12: concentraciones mixtas, relacionadas con zonas de cizalla, en granitoides.* Representado por la Mina de Corcoesto, Coruña (GOUANVIC, 1983) y por varios indicios en las

áreas de Fervenza-Santa Comba, Coruña (CASTROVIEJO, 1990 a; GARCIA DEL AMO *et al.*, 1992) y otros (URBANO, 1994). La alteración hidrotermal (sericítica, argílica...) es generalmente intensa (no tanto en Corcoesto) y la mena aurífera, asociada a arsenopirita, sulfuros y sulfosales, se presenta en filones o vetillas de cuarzo. Pueden observarse cloritización y alteración potásica como procesos hidrotermales precursores, posiblemente relacionados, como fenómenos retrógrados, con la historia de deformación de las estructuras. Recientes investigaciones (BOIRON *et al.* y CATHELINÉAU *et al.*, 1993) han conducido a un modelo que relaciona la concentración del oro con los eventos finales de una secuencia compleja que culmina en la circulación de fluidos acuosos de baja temperatura y baja salinidad en condiciones cuasi-hidroestáticas, similares a las de un sistema geotérmico. Estos fluidos tardíos, supuestamente responsables de la mineralización aurífera, no tienen por qué ser de origen magmático, sino probablemente meteórico. La relación con rocas graníticas se explicaría por el contraste reológico con el encajante esquistoso. Dicho contraste acentúa el comportamiento frágil de los cuerpos más rígidos (masas graníticas, filones de cuarzo pre-existentes), lo que aumenta su permeabilidad por fisuración y los convierte en lugar preferente de circulación y depósito hidrotermal.

- *Tipo 13: formaciones de skarn con sulfuros.* El depósito de Carlés, Asturias (GARCIA IGLESIAS y LOREDO, 1990; MARTIN-IZARD *et al.*, 1993) está relacionado con una intrusión granodiorítica en calizas devónicas y contiene oro nativo y electrum en lentejones de skarn ricos en cobre y en vetas subordinadas de cuarzo-arsenopirita-calcopirita, con loellingita, pirrotina, etc. El carácter refractario de la mena representa una dificultad para su explotación. Se conocen varios ejemplos en otras áreas del NO de España, como Carracedo (Palencia) o Infiesto (Asturias), y de los Pirineos (Maladeta: LOCUTURA y BELLAN, 1987; área de Andorra: SOLER *et al.* 1990). La probable futura entrada en producción de Carlés corregiría el dato anecdótico de que hasta ahora la única producción de oro en formaciones de skarn españolas procedía, como subproducto, de la mina de hierro de Cala, en el SO de España (Badajoz, fig. 1), situada a escasos kilómetros de distancia del

depósito de oro relacionado con granitoides de Mina Sultana, ahora inactiva.

- *Tipo 13a: formaciones oxidadas con jasperoide.* Este nuevo tipo, cuyo reconocimiento es fruto de los recientes trabajos de exploración de Río Narcea Gold Mines (RNGM), no figuraba en las anteriores tipologías (1994, 1995). Representa el mayor avance en el actual panorama minero del oro español, amenazado por el próximo agotamiento de las reservas de gossan del SO Peninsular, y el único que parece va a dar lugar a una minería relativamente estable, que ya está en fase de producción. Se ha caracterizado (MARTIN-IZARD *et al.*, 1997) en el yacimiento de El Valle (Asturias) por la asociación del oro a facies brechoides y oxidadas (jasperoide), con vetas de calcita y adularia, controladas por sistemas de fracturación tardihercínicos y enriquecidas preferentemente en ciertas litologías (skarn, tipo 13; contactos entre Formaciones Láncara y Oville, carbonatadas y detríticas, Cámbrico M-S). La relación espacial con el tipo precedente (13) suele ser estrecha -tal vez por esta razón no se había diferenciado antes-, pero no exclusiva. El carácter epitermal que suele atribuírsele será comentado más adelante.

- *Tipo 14: filones Sb (As)-Au y otros.* Agrupa diversos indicios o filones, de escaso significado minero en la actualidad. Entre ellos se cuentan los filones Sb-Au o As-Sb-Au en terrenos hercínicos, descritos por diferentes autores en el Mácizo Hespérico o en el zócalo de dominios alpinos. Los variados ejemplos incluidos en este grupo -*vbgr.* Valle de Ribes: AYORA *et al.* 1992; Almuradiel: LEAL y CASTROVIEJO, 1990; Usagre: TORNOS y LOCUTURA, 1988; Buron y Villamanín: PANIAGUA *et al.*, 1988 a & b- no necesariamente resultan de los mismos procesos genéticos ni se caracterizan por un idéntico entorno geológico. Su conocimiento es limitado, ya que su exploración no ha despertado excesivo interés. Podrían describirse, en un sentido lato, como concentraciones filonianas o epigenéticas de Sb-Au o As-Sb-Au meso- a epitermales, pero si de futuras investigaciones resultase una caracterización geológica más precisa que así lo exigiese, cabría una subdivisión del grupo en sub-tipos o tipos diferentes. Recientes trabajos (ORTEGA *et al.*, 1995, 1996) relacionan algunas de estas concentraciones con granitoides ocultos.

Las investigaciones realizadas sobre filones auríferos en el Paleozoico inferior (meta-areniscas) de la Zona Asturoccidental-Leonesa (TORNOS *et al.*, 1997) han conducido a su caracterización como filones de cuarzo aurífero pobres en sulfuros, ligados a una tectónica extensional y generados por fluidos de probable derivación metamórfica a diferentes niveles corticales (mesoepizonales), que permiten distinguir siete clases de mineralizaciones. Su posición tectónica, su asociación con rocas detríticas de plataforma afectadas por metamorfismo epizonal y la ausencia de rocas magmáticas son análogas a las de otros ejemplos mundiales (Victoria, Australia, etc.), pero su mayor significado tal vez sea el representar las concentraciones primarias de las que probablemente se han derivado los grandes depósitos detríticos terciarios o paleo-placeres, como Las Médulas (tipo 18).

* Concentraciones de oro, oro-plata u oro-plata-plomo-cinc en la provincia volcánica neógena del SE español. Corresponden a varios tipos epitermales de edad terciaria y están relacionadas con las rocas volcánicas calco-alcalinas que afloran principalmente en la provincia de Almería (fig. 2). Los ejemplos conocidos arman esencialmente en encajante volcánico (*volcanic-hosted*) y son asimilables a los tipos definidos por J.W. HEDENQUIST (1987) o P. HEALD *et al.* (1987): *high-sulphidation* o ácido sulfatado (t. 15) y *low-sulphidation* o adularia-sericita (t. 16). En encajante no volcánico (*not volcanic hosted*), se han beneficiado Pb (Zn) y Ag, mientras que el oro sólo se ha reconocido como indicio (p. ej. en la Sierra de Lomo de Bas, Aguilas-Mazarrón, Murcia), pero el potencial de la región para este tipo -e incluso para concentraciones de tipo Carlin- es interesante.

- *Tipo 15 (encajante volcánico): epitermal "de alta sulfuración" (high-sulphidation).* Representado por la mina Transacción -que ha tenido una actividad efímera en la última década- y otras del distrito de Rodalquilar, Almería (ARRIBAS *et al.*, 1995 y otras referencias en *ibid.*) Las mineralizaciones están relacionadas con las calderas de Cinto y Lomillas y con su actividad magmática e hidrotermal póstuma (11 a 10 MA), que han dado lugar a alteración intensa y a deposición de oro en vetas y diseminaciones en el encajante volcánico. Las menas de oro nativo y telururos están

controladas por estructuras de colapso (márgenes de caldera, fracturas radiales, brechas, etc.) y asociadas con alteraciones hipogénicas silícica y argílica avanzada. Las asociaciones de alteración definen sucesivamente, a partir de los cuerpos auríferos, las siguientes zonas: silicificación, con formación de sílice oquerosa (*vuggy-silica*), zona argílica avanzada, con alunita-pirofilita, zonas internas filica o sericítica-argílica y externas potásica/propilítica. El indicio de Palaí, Carboneras (al NE del anterior), puede incluirse también en este tipo.

- *Tipo 16 (encajante volcánico): epitermal "de baja sulfuración" (low-sulphidation).* Representado por los yacimientos de Cabo de Gata, Almería (Mina Santa Bárbara, etc), caracterizados (CASTROVIEJO, 1990 c; 1992) como: concentraciones filonianas sulfuradas de plomo-cinc-plata y oxidadas de Mn, con oro asociado y con ganga de cuarzo o calcedonia (+ barita, adularia, carbonatos, sericita y minerales arcillosos), con texturas bandeadas u hojaldradas (*layer-cake*) típicas de relleno hidrotermal, que encajan en volcanitas fuertemente alteradas de un campo de domos andesítico (edad aprox. 12-11 MA), en el que no aflora el sustrato pre-volcánico. La distribución del oro, irregular, constituye hoy el principal objeto de investigación minera. La secuencia de alteración hidrotermal asociada, a partir de los filones, consiste en: silicificación, alteraciones cuarzo-sericítica o filica y argílica, transicional a las asociaciones potásica (adularia) y clorítica o propilítica típicas del encajante. Se observa ocasionalmente una alteración argílica avanzada hipogénica de carácter local. Los abundantes cuerpos de brecha indican una reiterada explosividad ligada a la descarga hidrotermal. Su nivel de formación es más profundo que el observado en Rodalquilar (Cerro Cinto).

- *Tipo 17: encajante no volcánico.* Peor representado que los anteriores. Sin embargo el indicio de Lomo de Bas, con antigua minería, debe ser señalado por su significado para exploración (CASTROVIEJO y NODAL, 1990). Consiste en filones y brechas mineralizados en diversos metales (Au, Ag, Sn, Pb, Zn), que arman en rocas metamórficas paleozoicas de las cadenas béticas, relacionados con pórfidos tonalíticos, desconocidos hasta el momento, pertenecientes a la provincia volcánica neógena del SE español; los rasgos

geológicos, mineralogía, alteraciones, texturas, etc. son típicamente epitermales (CASTROVIEJO *et al.*, 1990).

* Concentraciones auríferas en sedimentos detríticos neógenos y recientes: han sido de importancia estratégica en el pasado, como atestiguan los impresionantes restos de labores mineras, sobre todo en el NO peninsular, donde han sido profusamente trabajados por los romanos (*vbgr.* Las Médulas y Las Omañas, León), pero actualmente no han llegado a dar lugar a ninguna explotación minera de entidad. Por ello, a pesar de su gran interés arqueológico e histórico, serán aquí tratados muy sucintamente.

- *Tipo 18: paleoplaceres, en especial neógenos, y placeres auríferos.* Han sido, en los últimos años, objeto de investigaciones arqueológicas y de trabajos de exploración, sobre todo en el NO de España, por parte de diversas instituciones y compañías, cuya exposición detallada excede de las posibilidades de este trabajo (cf. DOMERGUE, 1970; DOMERGUE y HERAIL 1978; SANCHEZ PALENCIA-RAMOS, 1983; HERAIL, 1984; PEREZ GARCIA y SANCHEZ PALENCIA-RAMOS, 1992, entre otros). Las investigaciones han puesto de manifiesto los controles estratigráficos, sedimentológicos, paleogeográficos, etc. de estas concentraciones auríferas en formaciones detríticas neógenas (abanicos aluviales miocenos, aluviones plio-cuaternarios, etc.) y placeres cuaternarios, así como sus relaciones con las mineralizaciones primarias del zócalo (TORNOS *et al.*, 1997). Se han avanzado también estimaciones (SANCHEZ PALENCIA-RAMOS, 1983), según las cuales la producción de los depósitos detríticos en tiempos romanos ascendería a unas 34 t de oro, frente a las 170 t. obtenidas de yacimientos primarios del zócalo (en total, algo más de 200 t. extraídas para el Imperio Romano en Asturias, León y Galicia, de las cuales en torno al 17 % serían del tipo detrítico y el 83 % restante de los tipos 10 a 14).

* Depósitos de metales preciosos en formaciones de gossan:

- *Tipo 19: Concentraciones supergénicas en masas de gossan derivadas de los sulfuros masivos (t. 9).* Ejemplos típicos son las minas de Río Tinto, Tharsis/Filón Sur y La Lapilla (Huelva). Su investigación ha conducido a un reconocimiento completo de las reservas y a una clasificación de

los cuerpos de gossan, distinguiendo diversas formaciones productivas de gossan autóctono y una estéril de gossan transportado (cf. GARCIA PALOMERO *et al.*, 1986). El resultado fue el mayor incremento de la producción española de oro y plata de los años recientes (hasta el 60 % de la producción de la UE, con 7 t/año), pero actualmente están a punto de agotarse.

SIGNIFICADO PARA EXPLORACION

Muy sucintamente, los resultados de exploración recientes podrían resumirse en un éxito matizado con respecto al oro, modesto con respecto a la plata y nulo con respecto a los EGP, si se considera únicamente el valor minero de las reservas económicas. No obstante, no deben valorarse sólo los resultados económicos inmediatos, sino también las aportaciones científicas y técnicas que puedan suponer un avance para el futuro. En trabajos anteriores (CASTROVIEJO, 1994a, 1994b) se comentó la actividad previa, ahora se comentarán únicamente algunos datos más relevantes del período más reciente.

Como tendencia, destaca para el oro la transferencia del primer puesto en la actualidad minera de los yacimientos tipo gossan de la Faja Pirítica Ibérica (t.19), explotados intensivamente desde los años ochenta pero ya en vías de agotamiento, a los recientemente investigados yacimientos de skarn (t. 13) y asociados a formaciones oxidadas con jaseroide (t. 13 a), como los del conjunto Río Narcea. El centro de gravedad se ha desplazado, geográficamente, de Huelva a Asturias. El cuadro 2 es elocuente en este sentido: la comparación de las reservas actuales del tipo 19, unos 10 Mt totales estimadas, con las de 1986 (100 Mt, GARCIA PALOMERO *et al.*, 1986, sólo para Río Tinto) indica claramente el proceso de agotamiento del gossan aurífero de la Faja Pirítica, frente al incremento de reservas –todavía abierto– y producción de los tipos 11-13 / 13a en Asturias.

Sin embargo, si bien de la exploración por oro de los sulfuros masivos (t. 9) no ha resultado la apertura de ninguna nueva operación minera (Au) en la Faja Pirítica y aunque la caída de los precios de diciembre 1997 ha representado un duro golpe para los trabajos en curso, la investi-

gación mineralúrgica continuada de estas menas refractarias podría dar lugar a desarrollos futuros, sobre todo teniendo en cuenta la cuantía de las reservas (Cuadro 2).

Globalmente, España pasó de producir unas 7 t Au y 270 t Ag (en torno al 60 % del total de la UE para ambos metales) durante la primera mitad de los años 90, fundamentalmente extraídos del gossan de Río Tinto y Filón Sur (Huelva), a un lugar mucho más modesto en la actualidad. Modesto, pero con expectativas de futuro, una vez que ha comenzado la producción de Río Narcea, unida a una activa exploración, en primer lugar en los cuatro "cinturones de oro" definidos en Asturias (Navelgas, Oscos y Salave, además del actualmente explotado de Río Narcea), pero también en otras áreas. Efectivamente, entre los resultados de las investigaciones realizadas habría que valorar la extensión del potencial minero de ciertas áreas o tipos (cf. CASTROVIEJO, 1994 a), sobre los que todavía no se ha realizado una exploración sistemática, pero que sí han sido identificados, *vbgr.* los cuerpos epitermales relacionados con el volcanismo neógeno calcoalcalino del SE Peninsular y, en particular, su posible extensión a una amplia zona al NE de los actualmente conocidos.

Con respecto a la plata, aunque ha habido éxitos de exploración (Fuentehierros, Aracena, Huelva; Mazarrón, Murcia), no se ha llegado a la explotación por el momento, por razones medioambientales o administrativas.

Con respecto al platino y EGP, no se han superado las dificultades inherentes a la exploración de este tipo de concentraciones, a pesar de diversos intentos y de la evidencia de enriquecimientos locales apreciables (varios ppm, a veces asociados a oro), tanto en el Macizo de Herbeira (Cabo Ortegal, Coruña, t. 1 y 3), como en la Serranía de Ronda (t. 2 y 3).

Por otra parte, desde una perspectiva más amplia y más allá de los datos de producción a corto plazo, los trabajos realizados y todavía en curso han desembocado en un conocimiento más profundo de la metalogénia del oro –que de alguna manera se ha tratado de reflejar en la tipología presentada– y en el desarrollo de técnicas de exploración o mineralúrgicas más refinadas,

cuyo fruto sólo podrá juzgarse en el futuro. Entre ellas, el reconocimiento del control tectónico sobre la concentración del oro (GOUANVIC *et al.*, 1981; GUTIERREZ-CLAVEROL *et al.*, 1991; ROBERTS *et al.*, 1991, entre otros), la investigación y desarrollo de nuevos métodos de exploración geotérmica específicos para masas metálicas profundas (GABLE *et al.*, 1997; CASTROVIEJO *et al.*, 1996), la aplicación del análisis fractal (SANDERSON *et al.* 1994; GUMIEL *et al.*, 1996) y los ensayos de aplicación de la biolixiviación para menas refractarias (ILARRI y GARCIA, 1995). El aspecto científico, base de la exploración minera, se comenta a continuación, sin olvidar los problemas todavía no resueltos.

METALOGENIA

En apartados anteriores, se ha intentado sintetizar, mediante la descripción tipológica, lo esencial de las aportaciones recientes, de diversos autores y entidades, a la Metalogenia de los metales preciosos en España. La comparación -cf. CASTROVIEJO 1994 a- con las ideas existentes hace poco más de una década (ITGE, 1984 a) permite apreciar el avance. Interesa ahora discutir algunos problemas planteados para ulteriores investigaciones.

Desde el punto de vista de la Metalogenia, no se ha resuelto todavía de forma completa el problema de la interpretación y modelización de las concentraciones auríferas conocidas en terrenos hercínicos (tipos 10 a 14). Aunque existen interesantes precedentes (BOUCHOT *et al.*, 1997) en otros ámbitos hercínicos, ha de reconocerse que no es un problema fácil ni ha sido resuelto tampoco en casos similares, que por su enorme significado minero han recibido mucha más atención, *vbgr.* las concentraciones *gold-only* filonianas, en *greenstone belts* precámbricos, para las que se han avanzado diversas interpretaciones (origen metamórfico, fluidos de origen meteórico, etc. incluso se las ha considerado como concentraciones pre-cámbricas, análogas a las volcánicas epitermales metamorfozadas).

La investigación de los fluidos responsables del transporte del oro es una de las vías más fructíferas para limitar las variables del problema. Pero también ilustra las dificultades: dada la escasa

solubilidad del metal, los volúmenes de fluidos implicados en el transporte de un tonelaje importante de oro son necesariamente muy grandes; el detectar cuáles han sido exactamente los fluidos auríferos, entre los muchos posibles en circulación, es ya una primera cuestión cuya respuesta pocas veces es evidente. Los contenidos en oro de los fluidos productivos son suficientemente bajos (ppb) para ser difícilmente detectables cuando sólo quedan vestigios, *vbgr.* en inclusiones fluidas. El demostrar la relación real de una familia de inclusiones fluidas con la precipitación del oro es una tarea ardua, cuando no imposible.

Según ciertas estimaciones (ROEDDER, 1984) la totalidad del oro producido hasta entonces por la humanidad, unas 87.000 toneladas, podría ser transportado por 30.000 Km³ de fluido, con contenidos de 3 ppb Au. Dicho volumen de fluido podría estar contenido, como impregnación en poros, en las rocas de una cuenca sedimentaria de 100 Km x 300 Km de superficie y 10 Km de potencia, con 10 % de porosidad supuesta. Ahora bien, las 87.000 t. de oro citadas suponen únicamente el 2'3 % del Au total presente en las rocas de la cuenca. Ello ilustra la plausibilidad de la removilización (extracción y transporte del metal contenido en rocas preexistentes, para precipitarlo en un nuevo depósito) como proceso de concentración del oro, ya que sería suficiente con movilizar y reprecipitar únicamente el 2'3 % del metal contenido (sin afectar al 97'7 % restante) para obtener el tonelaje citado.

Tiene, por tanto, una base lógica la interpretación clásica de los yacimientos citados de zona de cizalla en *greenstone belts* precámbricos como metamórficos, fruto de la removilización del oro contenido en diversas litologías, por fluidos asociados a las reacciones normales de deshidratación del metamorfismo regional. Sin embargo, aun aceptando el mismo principio de removilización, no es éste el único mecanismo posible. Se ha objetado, por ejemplo, que el volumen de fluidos movilizados durante la compactación y diagénesis es mayor que el que puede esperarse de la deshidratación metamórfica, lo que podría hacer esperar una movilización más efectiva por dichos procesos; o que puede haber procesos post-metamórficos que movilicen igualmente gran cantidad de fluidos, como la infiltración de

aguas meteóricas y su circulación en campos geotérmicos, la movilización por el efecto térmico de intrusiones posteriores, etc. Las interpretaciones más recientes conducen a modelos complejos, en los que pueden intervenir diversos fluidos y diversas fuentes, implicando grandes sistemas hidrotermales a escala cortical, como en el modelo de *crustal continuum* (GROVES, 1993), aplicable a distintos niveles de la corteza y combinando fuentes mantélicas o infracrustales -reequilibradas con materiales metamórficos- con la derivación posible de granitoides, los aportes de fluidos de deshidratación metamórfica e incluso la interacción con aguas superficiales. La diferenciación efectiva entre los procesos posibles sólo podrá hacerse, entre otras cosas, determinando con precisión edades, composiciones y condiciones físico-químicas de los fluidos implicados, **una vez que se haya demostrado** su relación directa con la génesis de la mineralización aurífera, lo que dista de ser fácil.

Por lo que respecta a los tipos relacionados con zonas de cizalla, la fig. 4 esquematiza tres modelos propuestos para concentraciones hercínicas europeas. En I, II y III se esboza su anatomía (t. 10, Fervenza), en evolución desde la deformación dúctil general de la zona de cizalla (I) hasta los sucesivos episodios frágiles (detalles: II, III), con relleno hidrotermal y brechificación, en cada caso, de las estructuras y filones precedentes, tal como se observan en el prototipo descrito en el texto (minas de Santa Comba-Fervenza). Dentro de este marco geológico, se han propuesto varias interpretaciones basadas en diversas concepciones sobre la cronología de la introducción del oro. Antes de pasar a discutir las, debe advertirse que más que oposición existe una cierta complementariedad entre ellas: se acentúa más o menos uno u otro de los procesos posibles, sin que ello implique la exclusión total de los demás (*vbgr.* el suponer una deposición tardía del oro no implica que no exista ninguna concentración previa).

Según el modelo (A) propuesto por M. BONNEMAISON y E. MARCOUX (1987) para yacimientos hercínicos franceses, habría un primer estadio (A. 1) de introducción del oro, que se pre-concentraría como diseminación no visible en la red de los sulfuros (pirrotita); en un estadio ulterior (A. 2), dichos minerales serían inestables, el oro pasaría a disolución y precipitaría ahora en

estructuras filonianas con relleno cuarzo-sulfurado, como oro nativo asociado a sulfuros.

En (B) se recoge la sucesión reiterada, sobre una previa estructura dúctil, de estadios de deformación frágil, circulación y relleno hidrotermal (descritos por el autor, 1990 a, en las concentraciones de Fervenza citadas): la acumulación de oro se incrementaría, cíclicamente, con los sucesivos aportes hidrotermales. Dicha interpretación, que tiene similitudes con modelos propuestos para yacimientos precámbricos en *greenstone belts* -*vbgr.* por C. J. Hodgson, para el *Abitibi Belt*, en Quebec, Canadá-, se basa en la evidencia de ciclos sucesivos de cataclasis y relleno y en la relación del oro nativo con sulfuros de cualquier ciclo, mientras que no se ha podido constatar la existencia de sulfuros tempranos pre-enriquecidos, con oro en su red, ni la de un ciclo tardío esencial para el aporte aurífero.

En C se representa una lámina rígida, en este caso granítica, afectada por cizalla, cuya permeabilidad realizada por el fuerte contraste reológico con el encajante la haría lugar preferente de circulación y depósito hidrotermal para fluidos acuosos auríferos, no necesariamente magmáticos ni metamórficos; según dicho modelo, (BOIRON *et al.*, 1993, CATHELINÉAU *et al.*, 1993), ya comentado (t. 12), estos fluidos podrían ser meteóricos y la introducción del oro se produciría esencialmente en un episodio tardío.

Este último modelo tiene similitud con el más general propuesto por M. CATHELINÉAU *et al.* (1991) para los yacimientos hercínicos europeos, como alternativa al citado (A) y se apoya, entre otros argumentos, en la dificultad de demostrar pre-concentraciones cuantitativamente significativas en el estadio precoz (A.1). En el caso de las mineralizaciones ibéricas, se basa en el estudio detallado de varios ejemplos del tipo 12. Una cuestión interesante sería el estudio, con los mismos criterios, de los tipos 10 y 11. En el primero (t. 10), P. J. MURPHY y S. ROBERTS (1997), tras estudiar diversas concentraciones de la Zona Centro-Ibérica de España y Portugal, concluyen en el papel primordial del metamorfismo, como agente de la lixiviación y transporte del oro, posteriormente precipitado en niveles más someros, gracias a la existencia de trampas estructu-

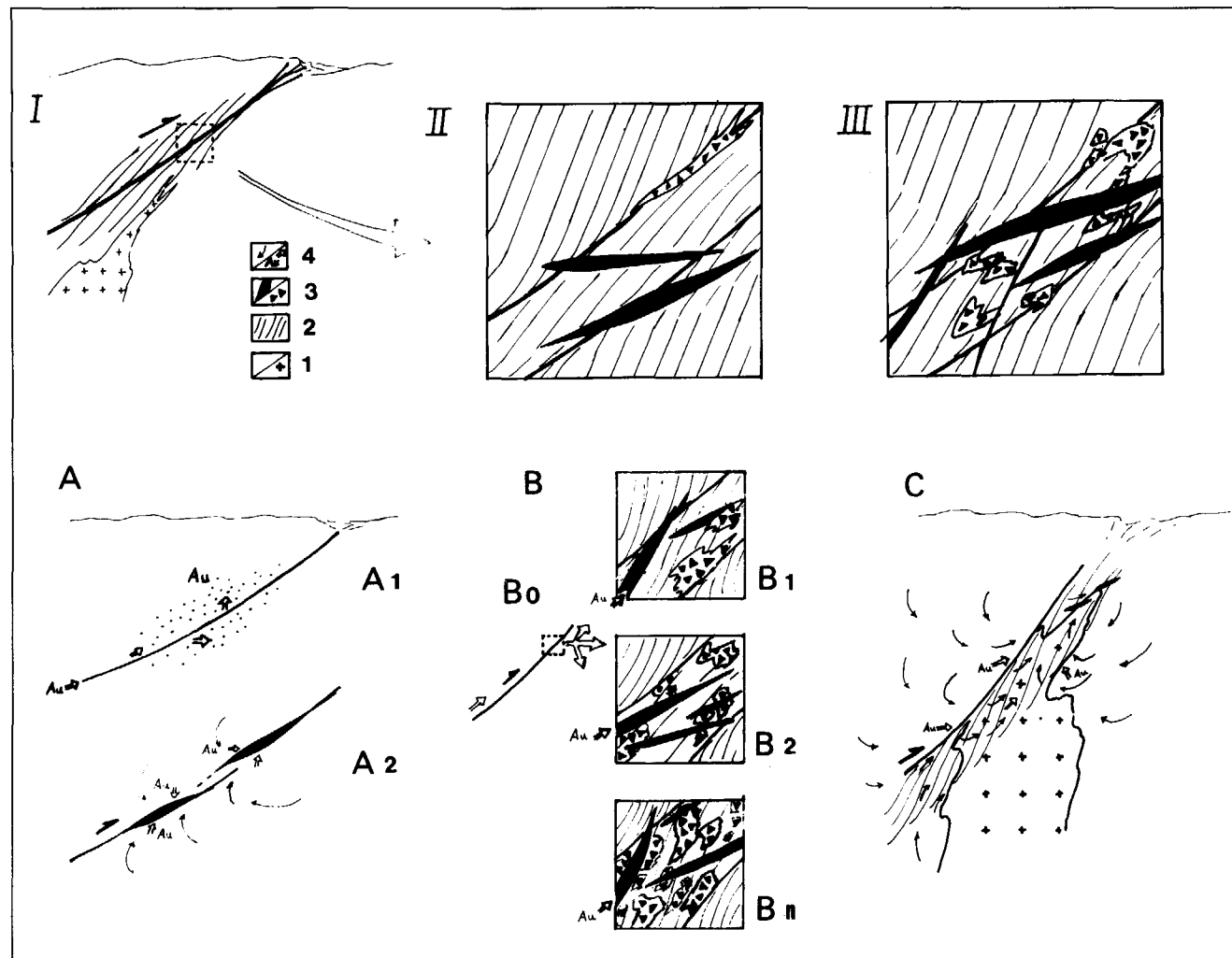


Figura 4.- Sección esquemática idealizada, indicando anatomía de concentraciones auríferas en zonas de cizalla de terrenos metamórficos hercínicos, tal como se observan en el área Santa Comba-Fervenza (ubicación: SCF, en fig. 3): I) croquis general; II-III) detalles de la zona señalada, en sucesivos estadios de su evolución (aunque sólo se representan dos, el número es indefinido).

A, B, C) distintas hipótesis interpretativas, con respecto al aporte aurífero. A) Preconcentración de oro diseminado en una primera fase (A.1) y su posterior removilización (A.2) y depósito en las estructuras definitivas. B) Sucesivos estadios de cataclasis y circulación hidrotermal con aporte aurífero, controlados por una gran estructura de cizalla (B.0), con representación en detalle de los estadios de deformación frágil o dúctil-frágil: B.1, B.2,...B.n. C) Concentración tardía por disoluciones acuosas de posible origen meteórico, que circulan preferentemente por cuerpos rígidos tensamente fracturados (en este caso una lámina granítica). Explicaciones y discusión en texto.

Leyenda: 1) Rocas metamórficas/granitoides. 2) Esquistosidad. 3) Filones/brechas. 4) Líneas de flujo hidrotermal/aporte aurífero.

rales, según el modelo *crustal continuum* de GROVES (op. cit.).

Asimismo, F. TORNOS et al. (1997) interpretan como metamórficos –o equilibrados con rocas metamórficas, consideradas también como la fuente de los metales– los fluidos relacionados con los filones de cuarzo aurífero de la Zona

Astur-Occidental Leonesa. Los problemas no están cerrados. Entre los muchos pendientes, habría de mencionarse la investigación y definición precisa de los muchos indicios agrupados en el tipo 14, la cual podría conducir, como se ha señalado, a nuevos conocimientos y a una revisión de este grupo. Nuevos modelos significativos –vbgr. PANIAGUA, 1994; JAHODA et al.,

1989–podrían caracterizar nuevos subtipos o incluso tipos, si se desarrollasen las exploraciones pertinentes.

Otra cuestión esencialmente relacionada con la tipología es la definición más precisa del concepto *epitermal* y su caracterización, cuestión relevante en cuanto a la supuesta existencia de yacimientos epitermales (s.str.) paleozoicos en España. Este término es sin duda aplicable a los yacimientos neógenos citados de la provincia volcánica calco-alcálina del SE español (t. 15 a 17), en correspondencia con tipos mundialmente conocidos. Su aplicación a ciertos depósitos del Macizo Hespérico (vbgr. Hiendelaencina, varios indicios en el NO de España, etc.: tipos 4 y 14 del Cuadro 1), en cambio, ha sido en algún caso contestada. Lo mismo podría decirse del tipo 13 a, cuando es presentado como epitermal.

Sería más fácil llegar a un acuerdo si cada autor hiciese un esfuerzo para definir exactamente lo que entiende bajo tal concepto cuando lo aplica a un yacimiento. De hecho el término parece haberse vuelto bastante equívoco en la literatura. Para algunos –es la opción del autor– implica un modelo o tipo precisamente definido (vbgr. *low- or high-sulphidation*) de yacimientos en terrenos volcánicos, en la acepción actual generalizada en América y en general en el mundo anglosajón, pero para otros equivale a un rango de condiciones físico-químicas ambiguas, aparentemente independientes del entorno geológico, que comprenden incluso yacimientos plutónicos, en un sentido clásico europeo (Niggli, Scheneiderhöhn)⁶. Por otra parte, actualmente se tiende incluso a separar los yacimientos de tipo Carlin del grupo epitermal (s. str.).

La caracterización del entorno geológico, la investigación geoquímica precisa de los fluidos implicados en cada caso y su comparación con fluidos epitermales típicos podría ayudar a resolver el problema, teniendo en cuenta, como referencia, las rigurosas caracterizaciones ya

⁶ Es un ejercicio interesante el comparar el esquema de estos autores (cf. fig. 2, en CASTROVIEJO, 1995a), que sitúa los yacimientos epitermales entre los plutónicos y no entre los volcánicos, con la fig. 4 de P. HEALD et al. (1987), que presenta las características de los yacimientos epitermales en el sentido moderno aludido, ubicándolos exclusivamente en terrenos volcánicos

existentes (vbgr. HEDENQUIST, 1987; HEALD et al., 1987; WHITE y HEDENQUIST, 1990), de prototipos bien establecidos a nivel mundial. También puede ser una ayuda eficaz la definición rigurosa de las texturas de la ganga cuarzosa, que en ambientes epitermales están bien caracterizadas, tal como se ha puesto de manifiesto en diversos yacimientos mundiales y, en el caso de España, en el distrito de Cabo de Gata (DEMOUSTIER et al., este volumen: clasificación y definición sistemáticas de las texturas del cuarzo epitermal y los problemas de interpretación que éstas plantean). R. SILLITOE (1993) propone incluso, entre otros datos de campo, la caracterización de la ganga silícea y sus texturas, como criterio distintivo entre tipos epitermales.

Las nuevas propuestas en la literatura internacional apoyan la restricción del término epitermal en el sentido planteado anteriormente por el autor (1994 a, 1995 a, -b). Es interesante la crítica de M. GEBRE-MARIAM et al. (1995) al uso indiscriminado de dicho término en ambientes metamórficos, no volcánicos, como alternativa a mesotermal. En lugar de esta dudosa alternativa, generadora de confusión, proponen, para la clasificación de yacimientos auríferos en terrenos metamórficos, el recurso a términos coherentes con la tradición geológica en dichos ambientes (recogiendo los conceptos de zonas de profundidad metamórfica de Grubenmann y de profundidad de emplazamiento plutónico, de Taylor), distinguiendo yacimientos: *epizonales* (o someros, p. ej., los de facies prehnita-pumpellyita a esquistos verdes), *mesozonales* (los clásicos “mesotermales”) e *hipozonales* (o profundos, en terrenos anfíbolíticos o granulíticos). Esta clasificación, coherente con modelos de amplia aceptación como el de *crustal continuum*, al aplicar una terminología capaz de admitir el amplio abanico real en las condiciones de profundidad / P-T posibles en dicho modelo, fue definida inicialmente para yacimientos arcaicos, pero nada impide admitirla también para los paleozoicos. Se propone, pues, su aplicación, como un intento de precisión terminológica útil también para los ejemplos europeos, reservando el término epitermal para el importante grupo de depósitos antes citados y que al menos son sin-volcánicos. En este sentido, la clasificación propuesta sería compatible también con otros modelos amplios, como el de *gold deposit continuum* (NESBITT,

1988), basado en la convección a diferentes profundidades de aguas de origen meteórico, que podría generar, a distintos niveles corticales, diferentes tipos de concentraciones.

CONCLUSIONES

La exploración minera desarrollada en España por diversas instituciones y empresas en los últimos años ha conducido a una serie de resultados a valorar. Su análisis se ha abordado desde dos perspectivas complementarias: la del progreso con respecto al pasado, a la situación anterior, y la de las tareas pendientes para el futuro. Tal como ha sucedido en la realidad minera, se presta al oro especial atención.

* Desde el primer punto de vista, los trabajos realizados en los últimos años han permitido el reconocimiento de tipos hasta entonces no bien definidos en la Península Ibérica, tales los ligados a zonas de cizalla y otros en terrenos hercínicos (t. 10 a 12) o los distintos tipos (8 y 15 a 17) epitermales de la provincia volcánica neógena del SE español y, más recientemente, los ligados a skarn y a formaciones oxidadas con jasperoide (t. 13, 13 a). Los nuevos conocimientos obligan a revisar tipologías anteriores. En el Cuadro 1 se ofrece, en sumario, una caracterización tipológica actualizada, incorporando el progreso reciente. Dicha tipología se expone mediante el análisis de yacimientos típicos y se completa con una estimación de reservas (Cuadro 2), para ilustrar el significado minero de cada tipo. Se establecen, en primer lugar, nueve grandes grupos en función del principal metal precioso beneficiado - **platino y EGP** o elementos del grupo del platino, **plata y oro**- y del entorno geológico, en el contexto de las grandes unidades geo-estructurales de la Península Ibérica. Dichos grupos se subdividen en 20 tipos, los cuales son caracterizados individualmente. La discusión de problemas genéticos, aun no totalmente resueltos, no impide la clasificación rigurosa de las concentraciones de metales preciosos, sobre una base descriptiva. Por otra parte, se aportan propuestas para una terminología pertinente de las concentraciones en terrenos metamórficos, que evite confusiones con las epitermales (*s. str.*), vbgr. mediante el uso de una clasificación coherente con la geología de terrenos metamórficos (distin-

guiendo concentraciones *epizonales, mesozonales, hipozonales*).

Desde el punto de vista industrial, los resultados de exploración han conducido a una evolución en la minería española de metales preciosos (oro, plata), cuyo centro de gravedad se desplaza de la Faja Pirítica (gossan, t. 19) al *cinturón aurífero del Río Narcea* (Asturias), con la entrada en producción de explotaciones como El Valle (concentraciones de skarn y jasperoide, t. 13 a) y la previsión de otras próximas. Este éxito de RNGM (*Río Narcea Gold Mines*) se debe a la activa exploración realizada, que además del *cinturón* citado se ha extendido a otros tres (Navelgas, Oscos y Salave), definidos en la misma región.

Otros intentos han resultado efímeros -vbgr. Mina Transacción, Almería, t. 15- o no han podido alcanzar la fase de desarrollo minero, ya sea por problemas ambientales (Fuenteheridos, Huelva, t. 5) o administrativos (Mazarrón, Murcia, t. 8), ya por dificultades técnicas todavía no superadas (extracción del oro de menas refractarias: La Zarza, t. 9, en la Faja Pirítica, que hubiera podido ser pionera en la explotación por oro de sulfuros masivos).

* Con respecto al futuro, es de destacar que, como suele ocurrir, cada logro o avance ha formulado nuevos problemas. Entre éstos, destaca la mineralurgia de las menas refractarias, factor clave para el beneficio de varios yacimientos, algunos de ellos relativamente importantes, como los de la Faja Pirítica (Cuadro 2, t. 9).

Se han definido indicios epitermales con Au-Ag (ej. Lomo de Bas, Murcia, t. 17) ligados a pórfidos neógenos, no reconocidos hasta entonces, intrusivos en terrenos metamórficos hercínicos, lo que extiende el área con potencial para exploración de este tipo a una amplia región del SE peninsular. Resta ahora el reconocimiento en profundidad de dicho potencial, para lo cual la teledetección, de eficacia probada en el hallazgo citado, puede ser una herramienta útil.

Se han establecido los controles mayores de los yacimientos ligados a zonas de cizalla (t.10 y 11) y otros en terrenos metamórficos, se ha establecido la tipología de las concentraciones epitermales, vbgr. en Rodalquilar (t.15) y en Cabo de

Gata (t.16), pero, aparte los resultados de RNGM, todavía no se ha logrado definir en detalle controles y guías que permitan establecer con precisión minera los tonelajes y reservas definitivas de distintos distritos.

Es de esperar que, a pesar de las duras condiciones de mercado actuales, las investigaciones de RNGM, principal motor de la exploración por oro reciente, puedan consolidar, a partir de los *cinturones auríferos* asturianos, la ampliación de reservas prevista, y asegurar la supervivencia de la minería del oro.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Prof. J. A. Espí, Depto. de Ingeniería Geológica., ETSI Minas, UPM, su contribución a la actualización de los datos de reservas (Cuadro 2).

REFERENCIAS

- ARRIBAS A. JR., CUNNINGHAM C.G., RYTUBA J.J., RYE R.O., KELLY W.C., PODWYSOCKI M.H., MCKEE E.H., TOSDAL R.M. (1995) *Geology, Geochronology, Fluid Inclusions and Isotope Geochemistry of the Rodalquilar Gold Alunite Deposit, Spain. Economic Geology, Vol. 90, nº 4, pp. 795-822.*
- AYORA C., RIBERA F., CARDELLACH E. (1992) *The Genesis of the arsenopyrite gold veins from the Vall de Ribes district, eastern Pyrenees, Spain. Econ. Geology, 87, 1877-1896.*
- BACHE J.J. (1981) *Les gisements d'or dans le monde. Essai de typologie quantitative. Mémoire du BRGM, N° 118, 102 p.*
- BOIRON M.C., ESSARRAJ S., BARAKAT A., CASTROVIEJO R., CATHELIN M., NORONHA F., NOGUEIRA P., YARDLEY B., BANKS D., MARIGNAC C., PEREIRA E., URBANO R., FLORIDO P., GARCIA PALOMERO F. (1993) *P-V-T-X changes throughout the formation of intragranitic Au concentrations in the north-western Iberian Massif (Spain-Portugal): an integrated Fluid Inclusion study. In: Fenoll Hach-Ali, Torres Ruiz & Gervilla (eds.) Current Research in Geology Applied to Ore Deposits, SGA Meeting, Granada Univ. (ISBN 84-338-1772-8), p. 605-608.*
- BONNEMAISON M., MARCOUX E. (1987) *Les zones de cisaillement aurifères du socle hercynien français. Cron. rech. min. 488, p. 29-42.*
- BOUCHOT V., MILESI J-P., LESCUYER J-L., LEDRU P. (1997) *Les minéralisations aurifères de la France dans leur cadre géologique autour de 300 Ma. Chron. Rech. min., 528, pp. 13-62.*
- BOYLE R.W. (1979) *The Geochemistry of Gold and its*

Deposits. (together with a chapter on geochemical prospecting for the element). Geol. Survey of Canada, Bull. 280, Ottawa, 584 p.

BOYLE R.W. (1980) *Gold Deposits: Their geological and geochemical setting. Episodes, vol. 1980, nº 3, Ottawa, pp. 8-14.*

BOYLE R.W. (1987) *Gold. History and Genesis of Deposits. V. Nostran Reinhold, N. York, 676 p.*

CASTROVIEJO R. (1990a) *Gold ores related to shear zones, West Santa Comba-Fervenza Area (Galicia, NW Spain): A mineralogical study. Mineral. Deposita 25 [Suppl], S42-52.*

CASTROVIEJO R. (1990b) *Paragénesis argentíferas de Guadalcanal (Sevilla). X Reunión S.E.M., Oviedo, 4-6 Jul. 1990; abs: Bol. Soc. Esp. Mineralogía, v. 13-1, p. 98-99.*

CASTROVIEJO R. (1990c) *Síntesis de estudios realizados en el área mineralizada del Cabo de Gata (1989/90). Informes ETSIM, E.N. Adaro, Madrid.*

CASTROVIEJO R. (1992) *Ore geology of the Santa Bárbara Pb-Ag and Au district (SE Spain). Min. Dep. Study Group, Ann. Meeting, Univ. Aberdeen (U.K.), 6-7 Jan. 1992 (abs. vol.).*

CASTROVIEJO R. (1994a) *Precious metals geology and exploration in Spain: progress and questions. Chron. Rech. Minière, nº 516, 1994, pp. 3-24.*

CASTROVIEJO R. (1994b). *Geología de Metales Preciosos. Una Década de Exploración en España. Soc. Geol. Del Perú, vol. extraordinario; VIII Congr. Peruano de Geología, Lima, 1994, p. 1-45.*

CASTROVIEJO R. (1995a): *Propuesta de caracterización tipológica de yacimientos españoles de metales preciosos. Geogaceta, nº 18, 1995, p. 157-160.*

CASTROVIEJO R. (1995b) *A Typological Classification of Spanish Precious Metals Deposits. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, Coruña, Vol. 20, p. 253-279.*

CASTROVIEJO R., MORENO F. (1983) *Estructura y metalogénesis del campo filoniano de Cierco (Pb-Zn-Ag), en el Pirineo de Lérida. Bol. Geol. y Minero, t.XCIV-IV, p. 291-320.*

CASTROVIEJO R., NODAL T. (1990b) *The exploration significance of Neogene epithermal Au-Ag-Sn-Base Metal Veins and related Porphyry System in Palaeozoic Metamorphic Terranes (Murcia, SE Spain). Min. Dep. Study Group, Ann. Meeting, Trinity Coll. Dublin, 10-13 dec. 1990 (abs. vol.).*

CASTROVIEJO R., NODAL T., PODWYSOCKI M.H., INSUA M. (1990a) *Mineralizaciones subvolcánicas (Au-Ag-Sn-Sulfuros polimetálicos) y hallazgo de pórfidos tonalíticos neógenos en la Sierra de Lomo de Bas (Murcia). X Reunión Soc. Esp. Mineralogía, Oviedo, 4-6 Jul. 1990. Publ. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 14 (1991), p. 183-200.*

CASTROVIEJO R., GABLE R., CUETO R., FOUCHER J.C., SOLER M., GOUNOT J., BATSALE J.C., LOPEZ A., JOUBERT M. (1996) *Ensayo de una metodología innovadora para la detección de menas polimetálicas profundas: modelo geoló-*

gico y exploración geotérmica preliminares de la Masa Valverde (Huelva). Bol. Geol. Minero, vol. extr. 107, nº 5/6, nov./dic. 1996, p. 5-30, ITGE, Madrid.

CATHELINEAU M., BOIRON M.C., POTY B., MARIGNAC C. (1991) Hercynian gold-bearing quartz veins from western Europe: The "shear zone model" revisited. A.E. Ladeira (ed.) in: BRAZIL GOLD'91 Balkema, Rotterdam, pp. 115-119.

CATHELINEAU M., BOIRON M.C., ESSARRAJ S., BARAKAT A., GARCIA PALOMERO F., URBANO R., TOYOS J.M., FLORIDO P., PEREIRA E.S., MEIRELES C., FERREIRA N., CASTRO P., NORONHA F., DORIA A., RIBEIRO M.A., BARRIGA F., MATEUS A., YARDLEY B., BANKS D. (1993) Major structural factors of Au concentrations in the northwestern Iberian Massif (Spain-Portugal): a multidisciplinary and multiscale study. In: Fenoll Hach-Alí, Torres Ruiz & Gervilla (eds.) Current Research in Geology Applied to Ore Deposits, SGA Meeting, Granada Univ. (ISBN 84-338-1772-8), p. 613-616.

CONCHA A., OYARZUN R., LUNAR R., SIERRA J., DOBLAS M., LILLO J. (1992) The Hiendelaencina epithermal silver-base metal district, Central Spain: Tectonic and mineralizing processes. Mineral Deposita 27, 83-89.

CONCHA A., OYARZUN R., LUNAR R., SIERRA J., DOBLAS M., LILLO J. (1993) Reply to the comment by F. Tornos et al. (1993) Mineral. Deposita 28, 219-221.

COTELO NEIVA, J.M. (1949) Geology and genesis of Portuguese ores of chromium and platinum, Bragança district. Coimbra Univ. Mus. e Lab. Min. e Geol., Mem. e Noticias, Nº 24, 289 p.

CRESPO V. (1988) Panorama actual de la investigación minera del oro (jun. 1987). Bol. Soc. Esp. Min., 11-1, 3-16.

DEMOUSTIER A., CASTROVIEJO R., CHARLET, J.M. (1998) Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoniano del área volcánica de Cabo de Gata, Almería. Bol. Geol. y Minero, Vol. (doble) extr. 109-5: "El Oro en España".

DOMERGUE C. (1970) Les exploitations aurifères du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique sous l'occupation romaine. VI Congr. Int. Minería, León, Cátedra de San Isidoro, 1, p. 155-181.

DOMERGUE C., HERAIL G. (1978) Mines d'or romaines d'Espagne. Le district de la Valduerna (León). Publ. Univ. Toulouse, serie B, t. IV, 303 p.

GABLE R., CASTROVIEJO R., CUETO R., BATSALE J.C., FOUCHER J.C. (1997) Geothermics: a new BMS exploration tool. Pp. 941-944, in: Pappunen H. (eds. 1997), Mineral Deposits: Research and Exploration - Where do they meet? Balkema, Rotterdam, 980 p.

GARCIA DEL AMO D., LUNAR R., SIERRA J., OYARZUN R., DOBLAS M. (1992) La franja aurífera de Xallas (Galicia occidental, España): Las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo. Bol. Geol. Minero, v. 103-1, pp. 109-119.

GARCIA IGLESIAS J., LOREDO J. (1990) Geological, mineralo-

gical and geochemical characteristics of the Carlés gold mineralization, Asturias, Spain. Mineral. Deposita, 25, p.53-58.

GARCIA PALOMERO F., BEDIA J.L., GARCIA MAGARIÑO M., SIDES E.J. (1986) Nuevas Investigaciones y trabajos de evaluación de reservas de gossan en Minas de Río Tinto. Bol. Geol. Minero, t. XCVII-V, p. 622-642.

GEBRE-MARIAM M., HAGEMANN S.G., GROVES D.I. (1995) A classification scheme for epigenetic Archaean lode-gold deposits. Mineral. Deposita 30, 408-410.

GERVILLA F., LEBLANC M. (1990) Magmatic ores in high-temperature alpine-type Iherzolite massifs (Ronda, Spain and Beni-Boussera, Morocco). Econ. Geol., 85, p. 112-132.

GOUANVIC Y. (1983) Métallogénèse à Tungstène-Etain et Or dans le linéament granitique de Monteneme -Nord-Ouest Galice, Espagne: un exemple d'évolution dans une zone de cisaillement ductile hercynienne. Thèse Univ. Nancy I, 249 p.

GOUANVIC Y., COURRIOUX G., OVEJERO G. (1981) Contrôle structural de la répartition des indices d'or filoniens du Nord-Ouest de la Péninsule Iberique. Cuad. Geol. Ibérica, v. 7, p. 353-367.

GROVES D.I. (1993) The crustal continuum model for late-Archaean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. Min. Deposita, 28, 6, p. 366-374.

GUMIEL P., CAMPOS R., HERNANDEZ J.R. Y PAREDES C. (1996). Características de la geometría fractal de varios sistemas filonianos mineralizados del Macizo Hespérico. Su aplicación a la prospección. Parte 1: Mineralizaciones de oro. Geogaceta 20 (6), pp. 1397-1400.

GUTIERREZ-CLAVEROL M., MARTINEZ-GARCIA E., LUQUE C., SUAREZ V., RUIZ F. (1991) Gold deposits, Late Hercynian tectonics and magmatism in the northeastern Iberian Massif (NW Spain). Chron. Rech. Minière, Nº. 503, p. 3-13.

HARRIS M. (1980 a) Gold mineralization at the Salave gold prospect, northwest Spain. Trans. Inst. Mining Metall. Feb. 1980, Sect. B, p. 1-4.

HARRIS M. (1980 b) Hydrothermal alteration at Salave gold prospect, northwest Spain. Trans. Inst. Mining Metall. Feb. 1980, Sect. B, p. 5-15.

HEALD P., FOLEY N., HAYBA D. (1987) Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types. Econ. Geol., 82, p. 1-26.

HEDENQUIST J.W. (1987) Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin. In M.K. Horn (ed.) Trans. 4th. Circum-Pacific Conference on Energy and Resources.

HERAIL G. (1984) Géomorphologie et géologie de l'or détritico. Piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne. Editions du CNRS, Toulouse.

I.G.M.E. (1984) Inventario de los Recursos Nacionales de Oro. Primera Fase. Servicio Documentación, ITGE, Madrid, Nº. 10946.

ILARRI A. Y GARCIA F.J. (1995) Biolixiviación de auríferos refractarios de la Faja Pirítica española a escala de Laboratorio y Planta Piloto. Congr. Auríferos Refractarios, Venezuela.

JAHODA R., ANDREWS J.R., FOSTER R.P. (1989) Structural controls of Monterroso and other gold deposits in northwest Spain-fractures, jogs and hot jogs. IMM, vol. 98, B, pp. 1-6.

LAGO A., CASTROVIEJO R., NODAL T. (1989) Las mineralizaciones argentíferas de Plasenzuela, Cáceres. España. Bol. Geol. y Minero, v. 100-6, p. 1059-1074.

LEAL G., CASTROVIEJO R. (1990) Las Mineralizaciones Auroantimoníferas de Almuradiel (Ciudad Real). X Reunión S.E.M., Oviedo, 4-6 Jul. 1990; abs: Bol. Soc. Esp. Mineralogía, v. 13-1, p. 102-103.

LOCUTURA J., BELLAN A. (1987) Prospección Geoquímica multielemental en el área de Benasque (Pirineo Central), España. II Congr. Geoquímica, Soria.

LOPEZ RUIZ J., RODRIGUEZ BADIOLA E. (1980) La Región Volcánica Neógena del SE de España. Estudios Geológicos, 36, p. 5-63.

MARTIN IZARD A., BOIXET L., MALDONADO C. (1993) Geology and Mineralogy of the Carlés Gold-Bearing Skarn, Cantabrian Cordillera, Spain. In: Fenoll Hach-Alí, Torres-Ruiz & Gervilla (eds.) Current Research in Geology applied to Ore Deposits (ISBN84-338-1772-8), Univ. Granada, p. 499-502.

MARTIN-IZARD A., CEPEDAL M.A., RODRIGUEZ-PEVIDA L., SPIERING E., GONZALEZ S., VARELA A. Y MALDONADO C. (1997) The El Valle deposit: An example of porphyry-related copper-gold skarn mineralization overprinted by Late Epithermal events, Cantabrian Mountains, Spain. Mineral Deposits, Papunen (ed.) Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 889 4. pp. 659-662.

MARTINEZ FRIAS J. (1992) The Hiendelaencina mining district (Guadalajara, Spain). Min. Deposita, v. 27, Nº.3, p. 206-212.

MARTINEZ FRIAS J., GARCIA GUINEA J., LOPEZ RUIZ J., LOPEZ GARCIA J.A., BENITO R. (1989) Las mineralizaciones epitermales de Sierra Almagrera y de la cuenca de Herrerías, Cordilleras Béticas. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 12, p. 261-271.

MONTERRUBIO S. (1991) Mineralizaciones Asociadas a Rocas Ultrabásicas en el Hercínico Español. Ph. D. Univ. Complutense Madrid, 332 p.

MORALES S., FENOLL HACH-ALI P. (1990) Mineralizaciones de Pb-Zn-(Ag) asociadas a rocas volcánicas del distrito de Mazarrón (Murcia). Geoquímica y Metalogénia. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 13-1 (abs.), p.58.

MURPHY P.J., ROBERTS S. (1997) Evolution of a metamorphic fluid and its role in lode gold mineralisation in the Central Iberian Zone. Mineral. Deposita, 32, pp. 459-474.

NESBITT B.E. (1988) Gold deposit continuum: A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust. Geology, v. 16, pp. 1044-1048.

OEN I.S., FERNANDEZ J.C., MANTECA J.I. (1975) The Lead-Zinc and Associated Ores of La Unión, Sierra de Cartagena, Spain. Econ. Geol., v. 70, p. 1259-1278.

ORTEGA L., OYARZUN R., GALLEGO M. (1995) Metasediment-hosted epithermal Sb-(Au) mineralization in central Spain: role of hidden Hercynian granitoids. Instn. Min. Metall., vol. 104, B, pp. 80-86.

ORTEGA L., OYARZUN R., GALLEGO M. (1996) The Mari Rosa late Hercynian Sb-Au deposit, western Spain. Geology and geochemistry of the mineralizing processes. Mineral. Deposita 31, pp. 172-187.

ORUETA D. (1919). Informe sobre el Reconocimiento de la Serranía de Ronda. Bol. IGME, t.XL (XX, 2ª ser.), p. 1-133.

OVEJERO G., JACQUIN J.P., SERVAJEAN G. (1976) Les minéralisations et leur contexte géologique dans la Sierra de Cartagena (Sud-Est de l'Espagne). Bull. Soc. géol. France (7), t. XVIII, nº. 3, p. 619-633.

PANIAGUA A. (1994) Mineralizaciones asociadas a fracturas tardihercínicas de la Rama Sur de la Zona Cantábrica. Bol. de la Sociedad Española de Mineralogía, 17, pp. 285-286.

PANIAGUA A., RODRIGUEZ PEVIDA L.S., GUTIERREZ VILLARIAS (1988 a) Mineralizaciones As-Sb-Au asociadas a rocas ígneas filonianas del NE de León: las minas de Burón. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 11, (1), p. 35-46.

PANIAGUA A., RODRIGUEZ PEVIDA L.S. (1988 b) Génesis y evolución de las mineralizaciones de Cu-Co-Ni-U-Pb-Zn-Au-Ag ligadas a las estructuras tardihercínicas en el área de Pajares-Villamanín-Bonar (Norte de León). Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 11, (2), p. 118-119.

PAVILLON M.J. (1969) Les minéralisations plombo-zincíferes de Carthagène (Cordillères Bétiques, Espagne). Mineral. Deposita, 4, p. 368-385.

PEREZ GARCIA L.C., SANCHEZ PALENCIA-RAMOS F.J. (1992) Los yacimientos de oro de Las Médulas de Carucedo (León). In: García Guinea J., Martínez Frías J. (eds., 1988) Recursos Minerales de España. CSIC, Madrid, p. 861-873.

QUESADA C. (1992) Evolución Tectónica del Macizo Ibérico (Una historia de crecimiento por acrecencia sucesiva de terrenos durante el Proterozoico superior y el Paleozoico). In: Gutiérrez Marco J.G., Saavedra J., Rábano I. (eds.) Paleozoico Inferior de Ibero-América. Univ. Extremadura, p. 173-190.

RIBEIRO A., PEREIRA E., DIAS R. (1990) Structure in the Northwest of the Iberian Peninsula, Central Iberian Zone. In: Dallmeyer R.D. and Martínez García E. (eds.) Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer-Verlag, Berlin, p. 220-236.

ROBERTS S., SANDERSON D., GUMIEL P., DEE S. (1991) Tectonic and fluid evolution of auriferous quartz veins from the La Codosera Area, SW Spain. Economic Geology, vol. 86, pp 1012-1022.

ROEDDER E. (1984) Fluid-inclusion evidence bearing on the environments of gold deposition. In: FOSTER R.P. (ed.)

Gold'82: The Geology, Geochemistry and Genesis... Geol. Soc. Zimbabwe, Balkema, p. 129-163.

SANCHEZ PALENCIA-RAMOS F.J. (1983) La explotación del oro de Asturias y Gallaecia en la Antigüedad. Tesis Doct., Univ. Madrid.

SANDERSON D.J., ROBERTS S. Y GUMIEL P. (1994) A fractal relationship between vein thickness and gold grade in drill core from La Codosera, Spain, Economic Geology, vol. 89, pp. 166-173.

SHASHKIN V. (1992). Platínidos en las formaciones de rocas ultramáficas de Galicia. Conf. XIV Reunión de Geología y Minería del N.O. Peninsular. O Castro, 17-21 nov. 1992. Area Xeol. Minería, Sem. Estudos Galegos, Coruña.

SILLITOE R.H. (1993) Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features, in Kirkham R.V., Sinclair W.D., Thorpe R.I. and Duke J.M., eds., Mineral Deposit Modeling Geological Association of Canada, Special Paper 40, p. 403-417.

SOLER A., AYORA C., CARDELLACH E., DELGADO J. (1990) Gold-bearing hedenbergite skarns from the SW contact of the Andorra granite (Central Pyrenees, Spain). Mineral. Deposita 25, p. 59-68.

TORNOS F., CASQUET C., GONZALEZ J.M. (1993) Comment on the paper by A. Concha et al. (1992, reference in this list).

TORNOS F., LOCUTURA J. (1988) Mineralizaciones epitermales de Hg-(Pb, Au) en Ossa Morena (Usagre, Badajoz). Bol. Soc. Esp. Mineralogía, v. 11 (2), p. 124-127.

TORNOS F., SPIRO B.F., SHEPHERD T.J., RIBERA F. (1997) Sandstone-hosted gold lodes of the southern West Asturian Leonese Zone (NW Spain). The role of depth in the genesis of the mineralization. Chron. Rech. Min., 528, pp. 71-86.

TORRES-RUIZ J., GARUTI G., FENOLL HACH-ALI P., GERVILLA F. (1993) Platinum-Group-Mineral and other solid inclusions in chromite from the "Chromite Ores" of the Serranía de Ronda Lherzolite Massifs (Betic Cordillera), Southern Spain. In: Fenoll Hach-Alí, Torres-Ruiz & Gervilla (eds.) Current Research in Geology applied to Ore Deposits (ISBN 84-338-1772-8), Univ. Granada, p. 583-586.

URBANO R. (1994) Exploración minera de yacimientos de oro por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Bol. Geológico y Minero, vol. 105-6, pp. 537-549.

WHITE N. C., HEDENQUIST J. W. (1990) Epithermal Environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration. Jour. Geochem. Exploration, 36, p. 445-474.

Original recibido: Junio 1998.

Original aceptado: Septiembre 1998.

LA GEOQUIMICA DEL ORO COMO HERRAMIENTA DE PROSPECCION DE MENAS AURIFERAS.

Por M. VILADEVALL SOLE (*)

R E S U M E N

El oro es un elemento con contenidos crustales muy bajos (alrededor de 2 ppb), pero con una elevada difusión en la corteza terrestre, comparativamente con otros metales de interés económico, debido a la capacidad y diversidad de tipos de depósitos minerales que lo contienen. Esta difusión, junto a la facilidad de dar lugar a complejos de relativa movilidad en condiciones exógenas, permite utilizar para su localización, diversos métodos de prospección geoquímica, entre los cuales resaltaríamos, por su efectividad y bajo costo, a la prospección biogeoquímica.

Palabras clave: Oro, Geoquímica, Biogeoquímica, Prospección.

A B S T R A C T

Very little crustal content is found in gold (2 ppb), yet its presence throughout the Earth's crust is considerable, compared to other metals of economic interest, due to the capacity and diversity of the mineral deposits where it is found. This widespread diffusion, together with its ease to produce relatively mobile complexes in exogenic conditions, allows for the use of various geochemical prospecting methods in its localisation, among which biogeochemical prospecting is the most effective and the cheapest.

Key words: Gold, Geochemistry, Biogeochemistry, Prospecting.

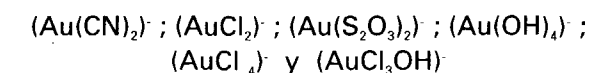
1. INTRODUCCION

El interés sobre la geoquímica del oro lo muestra los más de 900 trabajos publicados entre 1900 y 1994 (sin contabilizar los de la antigua URSS), la mayor parte de los cuales se hallan ubicados en la década de los 80-90 (Fig.1).

El oro, de símbolo químico Au, ocupa el lugar 79 en la tabla periódica y se sitúa entre el platino y el mercurio; pertenece al grupo IB del Sistema Periódico, junto con el cobre y la plata. Es un metal moderadamente blando, muy dúctil y maleable, buen conductor del calor y de la electricidad. Tanto el oro como los dos elementos

que pertenecen al grupo IB, muestran poca similitud con los metales alcalinos del grupo IA. Su masa atómica es de 196,967, con una densidad de 19,5 y un punto de fusión de 1.064 °C y de ebullición de 2.960 °C.

Bajo el punto de vista de su reactividad química BOYLE, (1979), nos indica que se asemeja mucho a la plata, pero su carácter químico es mucho más noble. Los principales estados de oxidación son el Au (I) auroso y el Au (III) o áurico, observándose estos estados bajo la forma de complejos del tipo:



Al estado natural se le conoce tan sólo un isótopo estable 197 Au con una vida media superior a los

(*) Dep. Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Universidad de Barcelona. Zona Universitaria de Pedralbes. Barcelona 08071 Fax: 34-3-4021340; e-mail: mvila@natura.geo.ub.es