

La franja aurífera de Xallas (Galicia occidental, España): Las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo.

Por D. GARCIA DEL AMO (1), R. LUNAR (2), J. SIERRA (2), R. OYARZUN (2) y M. DOBLAS (3)

RESUMEN

Las mineralizaciones de oro de Albores (Galicia occidental) se encuadran dentro de una franja metalogénica N-S a NE de edad hercínica-tardihercínica (franja aurífera de Xallas). Dicha franja comprende una serie de indicios auríferos caracterizados por la presencia de una fase sulfurada rica en arsenopirita y otra metálica con oro/electrum. Estas mineralizaciones encajan generalmente en estructuras frágiles desarrolladas en zonas de cizalla de componente horizontal y vertical, que incluyen milonitas, ultramilonitas, cataclasitas y brechas.

Las mineralizaciones de Albores incluyen una paragénesis compleja consistente en arsenopirita, oro/electrum, pirrotina, marcasita, pirita, bismuto, bismutina, esfalerita, galena y calcopirita. Estudios de inclusiones fluidas en cuarzos acompañantes de la mineralización sugieren que ésta fue depositada por fluidos acuoso-carbónicos complejos de moderada baja salinidad ($\leq 6-9$ por 100 eq. NaCl; salinidades máximas) operando en un rango de temperaturas epi a mesotermal (Th: 180°-360° C).

Estas mineralizaciones se formaron durante un régimen extensional desarrollado durante el período comprendido entre la fase deformativa 3 hercínica (D3; Carbonífero Medio) y el episodio frágil tardihercínico (Carbonífero Superior/Pérmico Inferior). La etapa extensional se caracterizó por el desarrollo de corredores miloníticos principalmente extensionales, de bajo ángulo (zona de cizalla de Xallas) con superposición de estructuras frágiles sobre la fábrica dúctil, estructuras anti-formes, y fallas normales de gran ángulo de carácter frágil.

Palabras clave: Oro, Arsenopirita, Corredores miloníticos, Extensión, Carbonífero Superior, Galicia, España.

ABSTRACT

The gold mineralization of Albores (western Galicia, NW Spain) is located within a N-S to NE metallogenic belt of Hercynian - late Hercynian age (Xallas gold belt). This belt comprises a series of gold deposits characterized by the association gold-arsenopyrite. The mineralizations are associated to brittle structures developed within strike-slip and normal shear zones. The shear zones include mylonites, ultramylonites, cataclasites, and breccias.

The Albores mineralization has a complex paragenesis comprising the following minerals: arsenopyrite, gold/electrum, pyrrhotite, marcasite, pyrite, bismuth, bismuthinite, sphalerite, galena, and chalcopyrite. Fluid inclusion studies on quartz belonging to the gangue suggest that the mineralization was precipitated by complex aqueous-carbonic fluids of moderate low salinity ($\leq 6-9$ eq. wt. % NaCl; maxima salinities), that circulated under epithermal-mesothermal conditions of temperature (Th: 180°-360° C).

The mineralizations formed during an extensional episode that took place between the last episode of Hercynian (s.s.) deformation (D3; middle Carboniferous) and the so-called «late Hercynian brittle episode» (late Carboniferous/early Permian). The extensional episode was characterized by the development of low-angle extensional mylonitic corridors (Xallas shear zone) with brittle-on-ductile fabrics, antiform structures, and high-angle brittle normal faults.

Key words: Gold, Arsenopyrite, Mylonitic corridors, Extension, Late Carboniferous, Galicia, Spain.

(1) Laboratorio de Rocas y Minerales Industriales. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

(2) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

(3) Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

1. INTRODUCCION

El noroeste de España ha sido considerado como una región «aurífera» desde el período romano, unos 2000 años atrás, e incluso desde épocas anteriores. Los romanos explotaron diferentes tipos de yacimientos, produciendo oro de manera ininterrumpida desde el siglo I (A.C.) hasta el III (D.C.), época en que se retiraron de la región. Desde esos tiempos, la actividad minera ha sido de tipo intermitente, con un máximo en el siglo XIX, momento en que compañías inglesas y francesas desarrollaron operaciones subterráneas para explotar filones de cuarzo-arsenopirita-oro de alta ley. Con posterioridad, durante la pasada década de los 70, el interés por esta zona resurge como consecuencia del alza sostenida del precio del oro. Es así que compañías tales como ERT y la Consolidated Gold Fields iniciaron trabajos de exploración que dieron como fruto la identificación del yacimiento de Salave. Durante los 80 las investigaciones han continuado por parte de éstas y otras compañías (e.g. ADARO en la faja de Malpica-Túy y otras), aunque hasta la fecha no se ha sabido de nuevos descubrimientos de importancia [1].

El yacimiento objeto de este trabajo, Albores (figura 1), es una de estas manifestaciones auríferas de cuarzo-arsenopirita-oro del noroeste de España, y pertenece a una faja de mineralizaciones de oro de gran importancia geológica y de potencial interés económico (franja aurífera de Xallas), esto último dependiendo del avance que tengan en los años venideros las técnicas biooxidativas para mineralizaciones de oro-sulfuros (refractarias). Estas técnicas se utilizan como tratamiento hidrometalúrgico previo para oxidar la fase sulfurada y así liberar el oro, metal que a continuación puede ser extraído económicamente por cianuración convencional directa [2,3]. El trabajo que a continuación se expone se realizó gracias a la colaboración inestimable de la Empresa Nacional ADARO, la cual aportó recursos humanos, técnicos y de laboratorio sin los cuales este trabajo no se hubiera podido llevar a cabo.

2. MARCO GEOLOGICO

2.1. Descripción general

La mineralización de Albores se localiza en el

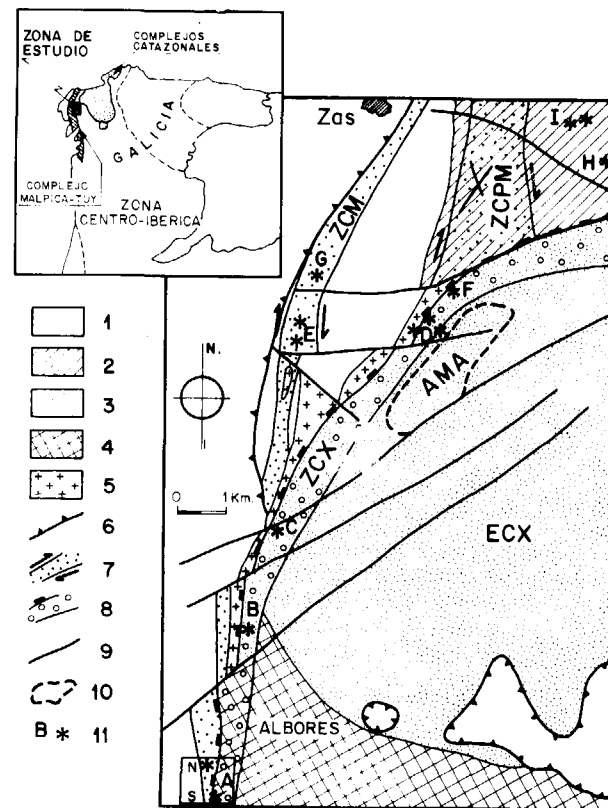


Figura 1.—Esquema geológico correspondiente a la zona de Xallas. 1: Unidad de Malpica-Túy. 2-4: Dominio Esquistoso de Galicia Central (2: Sector Norte de Pico de Meda; 3: Sector Central de la estructura circular de Xallas, ECX, neises biotíticos; 4: Sector Sur del Monte de Freito, migmatitas y granitoides). 5: Granito Sellador. 6: Cabalgamientos. 7: Zonas de cizalla dúctiles transcurrentes de la fase D3 (zona de cizalla de Meanos: ZCM; zona de cizalla de Pico de Meda: ZCPM). 8: Zona de cizalla extensional de Xallas (ZCX). 9: Fallas frágiles. 10: Antiforme de Monte Armán (AMA). 11: Yacimientos auríferos.—A: Albores. B: Vilarcovo. C: Limideiro. D: Vila. E: Meanos. F: Rial de Arriba. G: San Martín. H: Santa Sabina. I: Fornos. Basado en PAGES VALCARLO y CHAMBOLLE [6].

contacto entre la unidad de Malpica-Túy al oeste y el Dominio Esquistoso de Galicia Central (DEGC) al este (fig. 1). La primera unidad consiste en un sinforme elongado según la dirección N-S, que comprende micaesquistos, paraneises, ortoneises y anfibolitas, considerándose todo el conjunto como una unidad alóctona emplazada de O a E durante la fase 2 Hercínica [4]. El DEGC está constituido por paraneises biotíticos de composición cuarzomonzonítica, plagioneises biotíticos, neises migmatíticos, migmati-

tas y granitos de dos micas. Este conjunto se suele considerar como autóctono/para autóctono [5]. Ambos dominios se encuentran separados en su zona meridional por el denominado «granito sellador» [6] (fig. 1).

Desde el punto de vista estructural se reconocen clásicamente en el noroeste de España tres fases de deformación hercínicas [7]. Las dos primeras fases se consideran de edades Dinantiense a Namuriense [5, 8], mientras que la tercera sería Westphaliense. Las estructuras de la fase 1 (D1) están generalmente obliteradas por deformaciones posteriores. La segunda fase (D2) es la principal, siendo responsable de zonas de cizalla subhorizontales de primera magnitud que corresponden a la base de mantos de corrimiento dirigidos hacia el E. Finalmente, la tercera fase (D3) se caracteriza por el desarrollo de pliegues longitudinales N-S, así como de zonas de cizalla dúctiles dextrales (e.g. Zona de Cizalla de Meanos, ZCM; Zona de Cizalla de Pico de Meda, ZCPM) (fig. 1). Después de esta última fase, se desarrollan localmente fallas normales de direcciones variables predominando la N-S, incluyendo fallas de bajo ángulo de carácter dúctil (e.g. Zona de Cizalla de Xallas, ZCX) (fig. 1), como fallas de alto ángulo frágiles [6, 9]. Por último se produjo el clásico episodio de fracturación tardihercínica, con sistemas conjugados de fallas NO-SE (dextrales) y NE-SO (sinistrales) [10].

Las mineralizaciones de oro de Albores se pueden enmarcar dentro de un contexto de escala regional, incluyendo toda una serie de indicios auríferos repartidos en una franja metalogénica curvada de unos 14 km. de longitud, dirección media NNE, y anchura desde 1 km. al sur hasta 4 km. al norte (franja aurífera de Xallas) (fig. 1). En general, las mineralizaciones están ligadas espacialmente a una serie de zonas de cizalla (fig. 1). En relación con la fase de deformación D3, existen dos zonas de cizalla norteadas de carácter dúctil y movimiento dextral, con anchuras variables entre 300 m. y 2 km., que afectan tanto a la unidad de Malpica-Túy (ZCM), como a los granitos y sedimentos del sector norte del Pico de Meda (ZCPM), en el Dominio Esquistoso de Galicia Central (DEGC) (fig. 1).

Una estructura de primera magnitud está constituida por la Zona de Cizalla de Xallas (ZCX), que

es una banda milonítica cuya traza describe un arco (fig. 1), que se desarrolla en el contacto entre la unidad de Malpica-Túy y el DEGC. Esta zona de cizalla corta a las dos zonas de cizalla anteriores (ZCM y ZCPM), poniendo de manifiesto su carácter tardío con respecto a la fase 3 (figura 1). Esta zona de cizalla (ZCX) tiene una anchura de 400 a 500 m., con foliaciones miloníticas buzando unos 40° al O. Un rasgo de gran relevancia de la ZCX es que muestra una superposición de deformaciones frágiles sobre la fábrica dúctil inicial («brittle-on-ductile overprinting»), con lo cual se observan milonitas y ultramilonitas obliteradas por cataclasis y brechas. Esta zona de cizalla tiene un carácter predominantemente normal (labio hundido hacia el O), con una cierta componente dextral [6].

2.2. Geología local de las mineralizaciones de Albores

Los trabajos de campo y de laboratorio llevados a cabo con la colaboración de la empresa ADARO (cartografía; sondeos con recuperación de testigo, DDH; muestreo de antiguas labores mineras; análisis químicos) permitieron bosquejar las características principales de las mineralizaciones de Albores, definiéndose dos zonas: Albores Norte y Albores Sur. La localización de éstas, así como de los sondeos y resultados químicos se muestran en la figura 2 y tabla 1.

Albores Norte incluye microneises, paraneises, paraneises filoníticos, cuerpos graníticos cizallados, micaesquistos, y brechas de turmalina. La mineralización encaja principalmente en paraneises y micaesquistos que engloban masas de cuarzo con mineralización sulfurada (principalmente arsenopirita) aurífera. En este sector, el sondeo DDH-6 cortó valores de hasta 2 g/t Au (7.1 % As). El muestreo en las antiguas labores mineras entregó valores importantes de oro: 1.1 g/t Au (1.2 % As) a 13.5 g/t Au (4.0 % As) (tabla 1).

En Albores Sur la mineralización se encuentra principalmente diseminada en una brecha granítica de carácter tectónico («brecha Albores»), aunque se reconocen otras morfologías como una masa de hasta 60 cm. de potencia de sulfuros auríferos (sondeo DDH-5). Otras litologías allí presentes son neises, anfibolitas, plagioneises y granitoides migmatíticos. El sondeo DDH-4 cortó valores de hasta 23 g/t Au (11.7 % As)

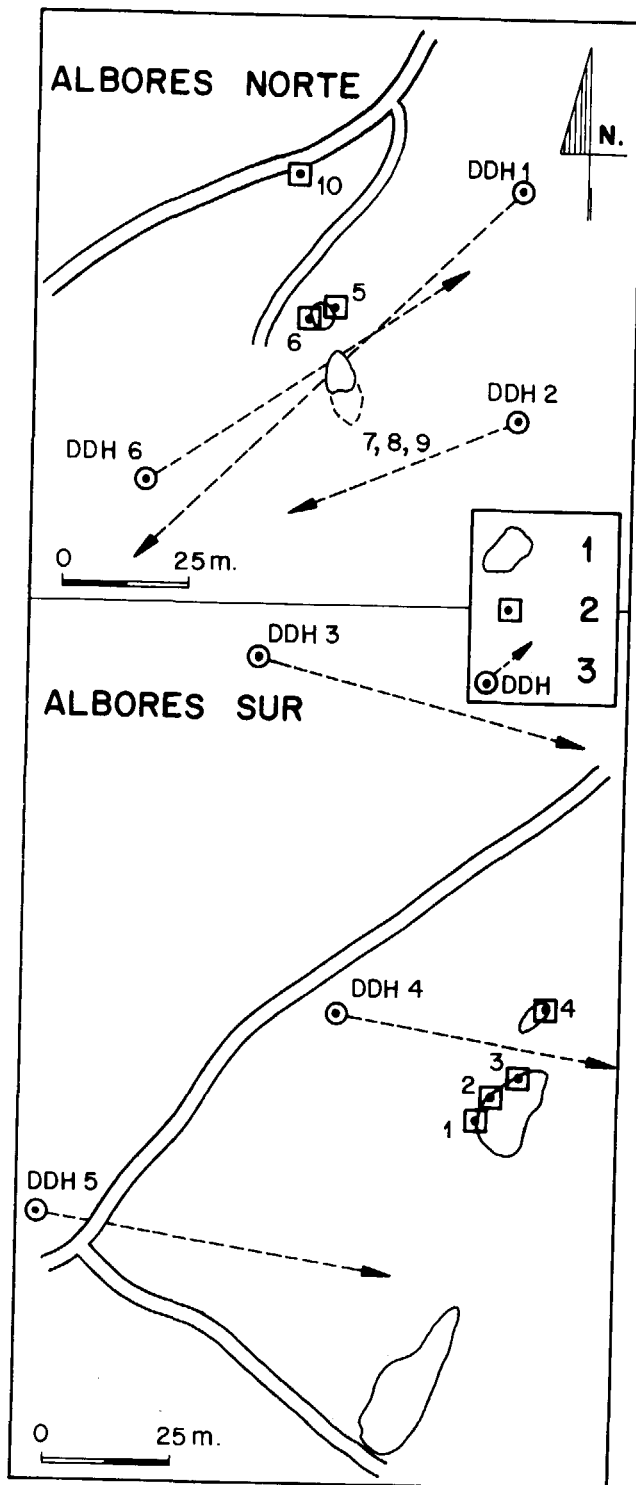


Figura 2.—Localización del muestreo y de los sondeos con recuperación de testigo (DDH) en Albores Norte y Albores Sur. 1: Antiguas labores mineras. 2: Toma de muestra (ver tabla 1). 3: Sondeo.

TABLA 1

Contenidos en oro, plata y arsénico en muestras tomadas en las mineralizaciones de Albores Norte y Albores Sur (ver figura 2)

ALBORES SUR			
	Au (g/t)	Ag (g/t)	As (%)
1	0.06	≤ 1	0.10
2	0.04	1	0.10
3	3.60	30	2.60
4	2.40	4	2.90
ALBORES NORTE			
5	1.90	7	2.25
6	0.29	2	1.45
7	0.11	2	0.90
8	13.50	87	4.00
9	1.10	3	1.25
10	0.40	4	1.50

en la brecha Albores, en tanto que el DDH-5 cortó valores de 8.7 g/t Au (5.2 % As) en relación a las masas sulfuradas antes descritas, y de 1 g/t Au (0.5 % As) en la brecha. El muestreo de las antiguas labores mineras entregó valores de 3.6 g/t Au (2.6 % As) y 2.4 g/t Au (2.9 % As) en la brecha Albores (tabla 1).

La fase de alteración hidrotermal más importante en relación a la mineralización es una cuarzo-sericitización que puede en algunos casos ser muy intensa. Otras fases de alteración incluyen cloritización y turmalinización.

Cabe finalmente mencionar la relación directa observada entre los valores de oro y arsénico, hecho que refleja la estrecha relación entre el oro y la fase de arsenopirita, situación que se estudia en la siguiente sección.

3. LA MINERALIZACION METALICA

3.1. Paragénesis

La paragénesis de las mineralizaciones auríferas de Albores está constituida por los siguientes minerales:

1) Minerales hipogénicos: arsenopirita, oro/

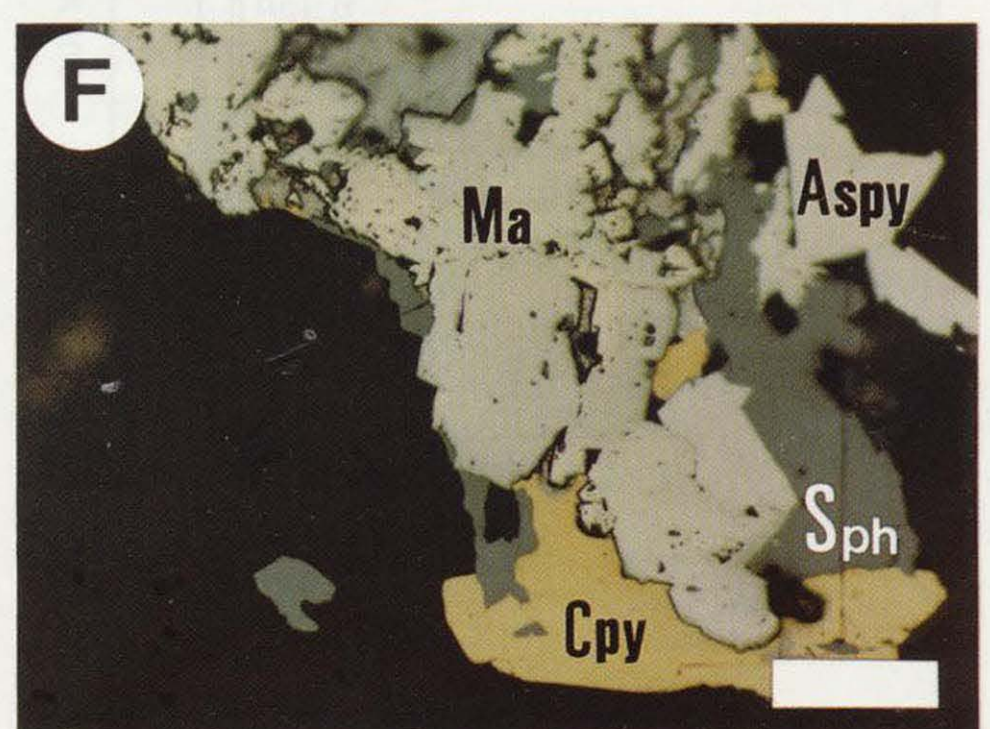
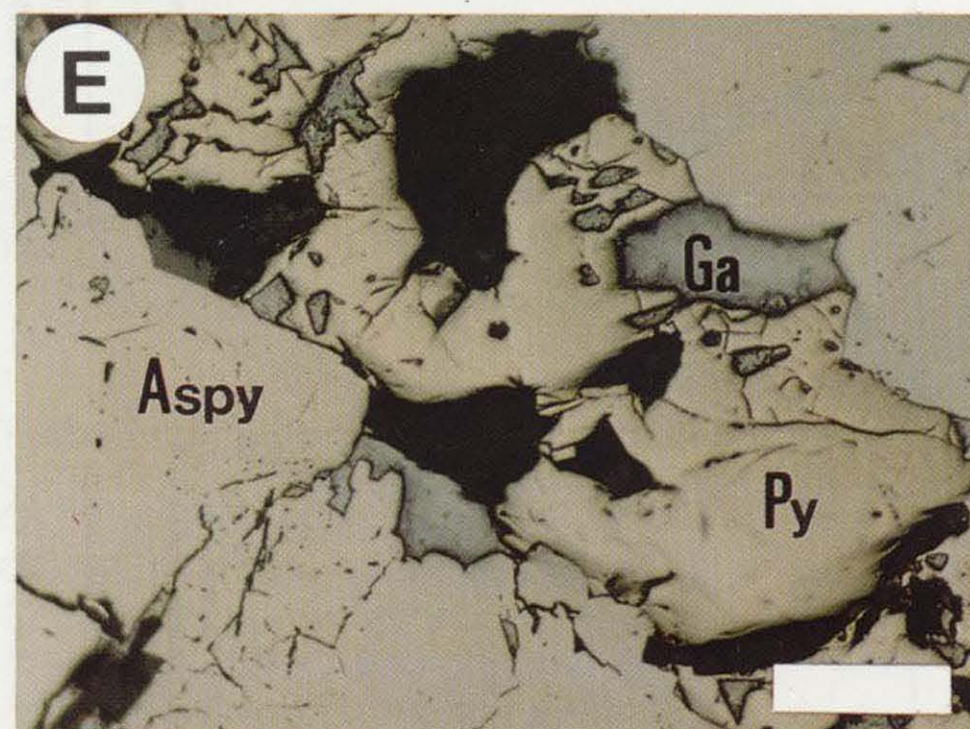
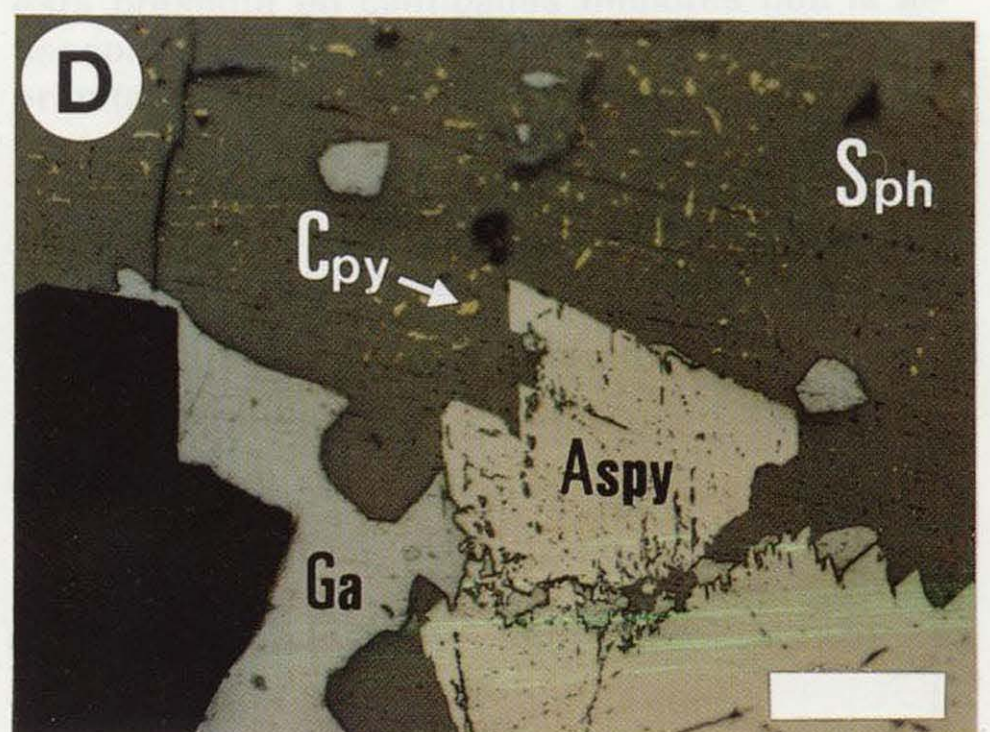
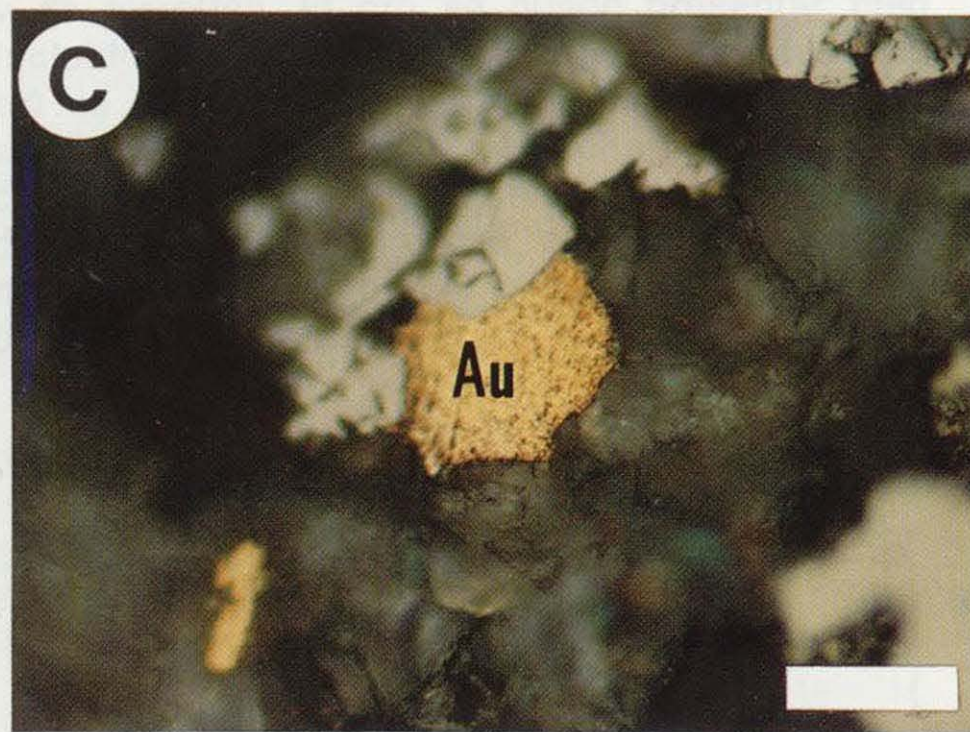
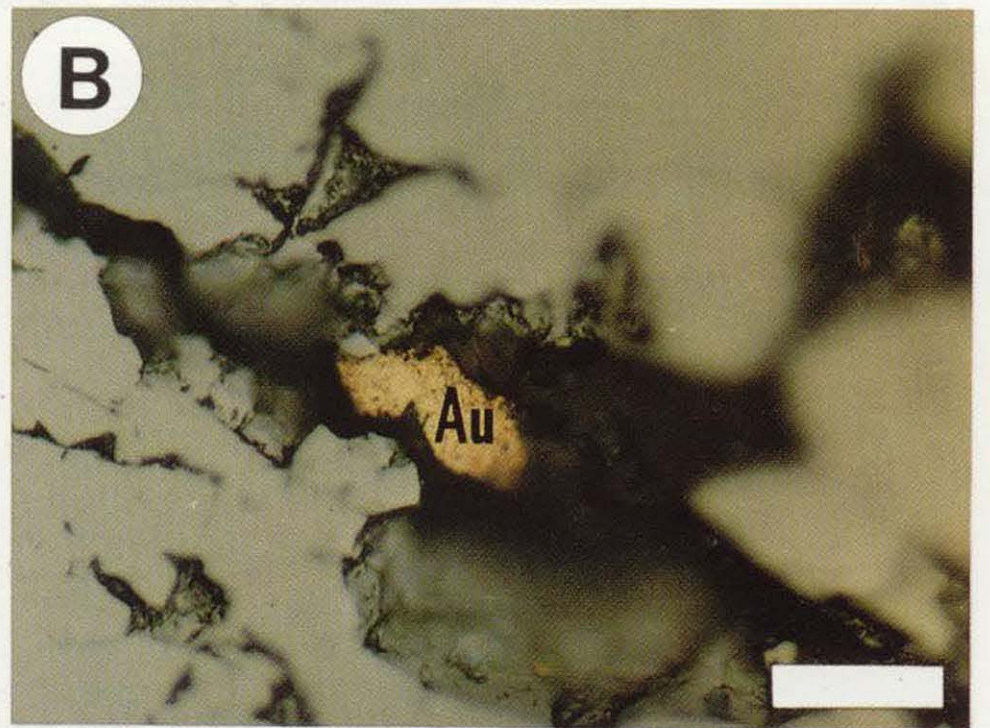
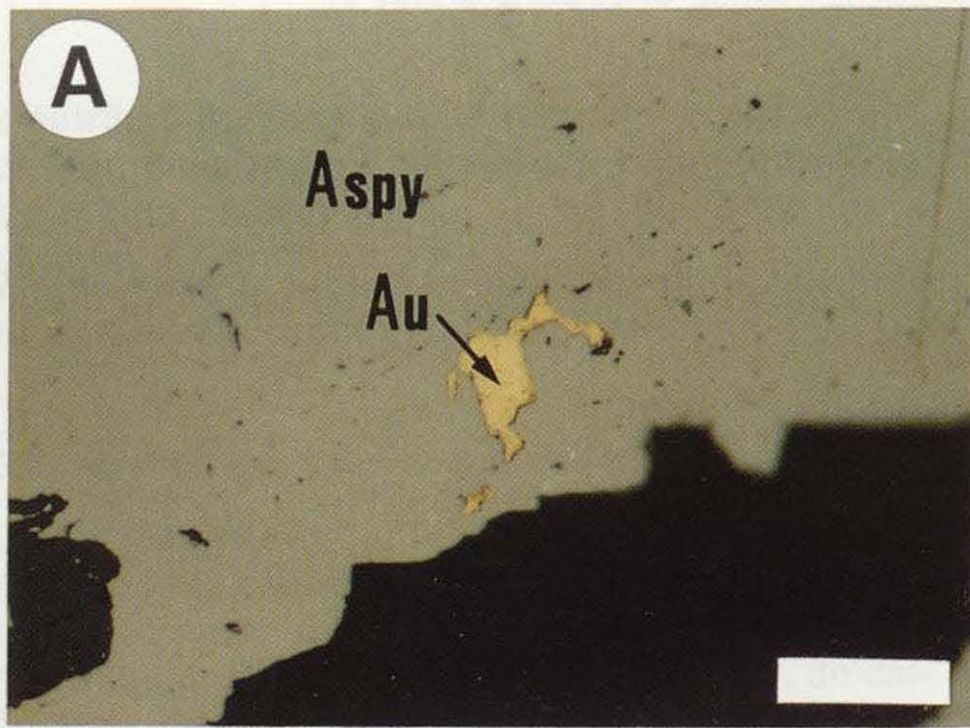


Figura 3.—Detalles al microscopio de la mineralización de Albores. A: Oro incluido en arsenopirita. B: Grano de oro en una grieta en arsenopirita. C: Grano de oro junto a ganga arsenopirita. D: Exsoluciones de calcopirita en esfalerita, además arsenopirita y galena. E: Pirita, arsenopirita y galena. F: Marcasita, esfalerita, calcopirita y arsenopirita. Escala: 60 μm (A-C), 200 μm (D-F). Aspy: Arsenopirita. Au: Oro. Cpy: Calcopirita. Ga: Galena. Ma: Marcasita. Py: Pirita. Sph: Esfalerita.

electrum, pirrotina, esfalerita, galena, pirita, marcacita, calcopirita, magnetita, bismuto nativo, bismutina, mackinawita.

2) Minerales supergénicos: covellina, hematites, limonita, escorodita, beudantita.

3.2. Características mineralógicas

La arsenopirita es el mineral principal en términos de abundancia, puede presentarse en agregados irregulares o idiomorfa, y ocasionalmente con inclusiones de oro/electrum (fig. 3A), de calcopirita, de granos mixtos de calcopirita-pirrotina y de pirrotina. El oro se puede presentar bien incluido en arsenopirita (fig. 3A), en grietas dentro de ese mineral (fig. 3B) o asociado al cuarzo (fig. 3C), siempre en estrecha relación espacial con la arsenopirita. Los contenidos relativos de oro y plata en granos de oro/electrum se muestran en la figura 4. Datos cuantitativos se presentan en la tabla 2.

TABLA 2

Contenidos de oro y plata en granos de oro/electrum (ver figura 4)

ANALISIS	Au (%)	Ag (%)
A	79.97	18.25
B	39.19	60.76
C	51.59	44.67
D	59.64	41.30

La esfalerita es un mineral importante, aunque está presente en cantidades menores que la arsenopirita. Presenta exsoluciones de calcopirita orientadas según direcciones cristalográficas (figura 3D) y es tardía con respecto a la arsenopirita. La galena rellena fracturas en arsenopirita, marcacita y esfalerita, presentándose además como masas alotriomorfas asociadas a esfalerita (fig. 3D, 3E). La pirita, mineral de menor impor-

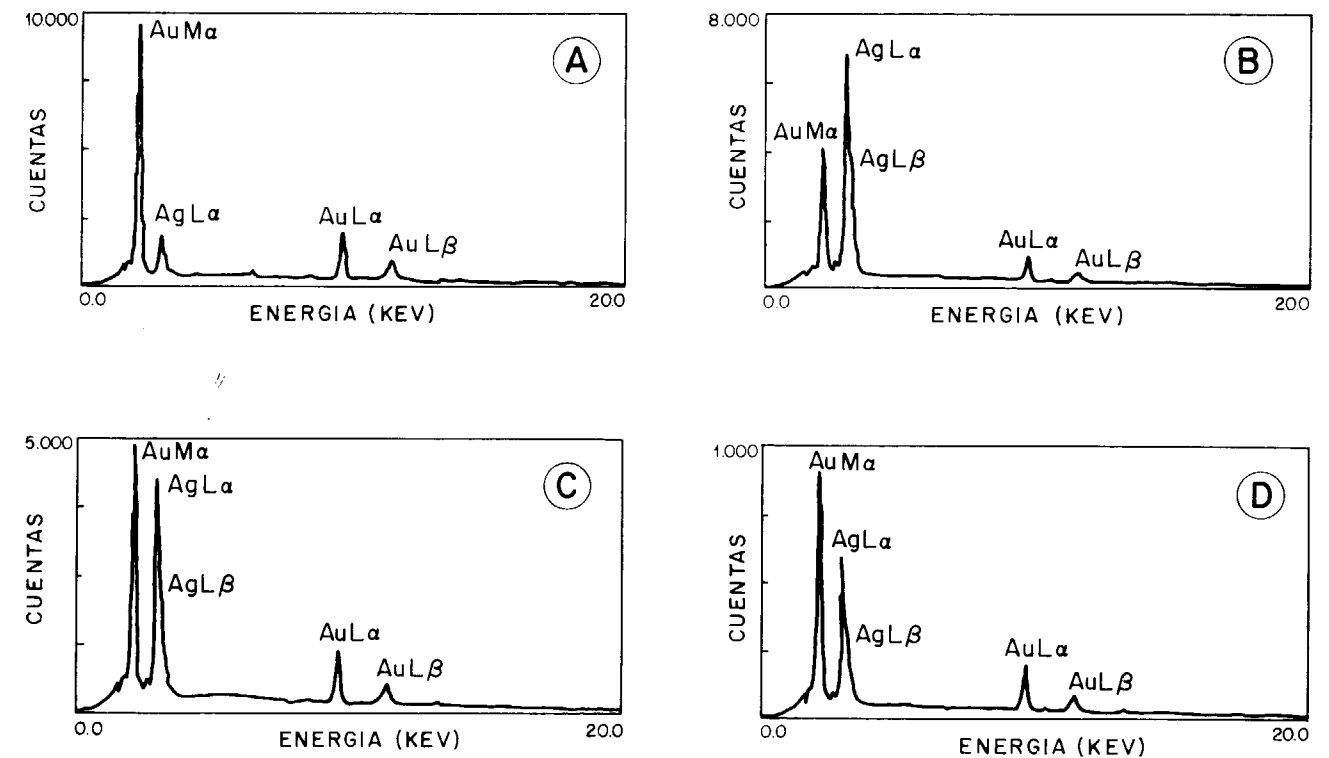


Figura 4.—Distribución relativa de oro y plata en granos de oro/electrum (A-D); microsonda electrónica, EDS. Ver tabla 2.

tancia, se presenta en dos generaciones. Una primera de carácter alotriomorfo asociada a arsenopirita (fig. 3E), y otra más tardía intercrecida con marcasita, formando texturas del tipo ojo de pájaro. La calcopirita se puede presentar de diversas formas, que incluyen exsoluciones en esfalerita (fig. 3D), granos rodeando o incluidos en marcasita (fig. 3F), incluidos en arsenopirita, o aislados en la ganga.

3.3. Secuencia paragenética

En base a las observaciones texturales se han distinguido las siguientes etapas depositacionales: una primera con arsenopirita-oro, pirita, pirrotina y marcasita. En una segunda precipitan bismuto nativo y bismutina. Finalmente se desarrolla una etapa de Zn-Cu-Pb formándose esfalerita, calcopirita y galena. Los procesos supergénicos dieron lugar a la formación de covellina y óxidos de hierro, contribuyendo a liberar parte del oro incluido en arsenopirita.

4. INCLUSIONES FLUIDAS

4.1. Introducción

Con el fin de obtener información concerniente a la temperatura y composición de los fluidos mineralizadores, se realizó un estudio de inclusiones fluidas en cuarzos acompañantes de la mineralización correspondiente al sector Albores Norte. No se pudo realizar un estudio microtermométrico en cuarzos alojados en la brecha granítica de Albores Sur, debido a que no se encontraron especímenes óptimos para este tipo de estudios.

Sólo se ha reconocido un tipo de inclusiones. Son acuoso-carbónicas complejas y bifásicas a temperatura ambiente. Se presentan aisladas, distribuidas al azar, lo que sugiere que se trata de inclusiones precoces. La mayoría presentan tamaños comprendidos entre los 10-20 μm . Las inclusiones menores de 5 μm . fueron desechadas por la imposibilidad de ser estudiadas. La relación volumétrica (V_g/V_t) en las inclusiones estudiadas oscila entre 40 % y 50 %.

4.2. Análisis microtermométrico

La presencia de CO_2 se ha puesto de manifiesto

en la mayoría de las inclusiones estudiadas por la formación de hidrato de gas durante el proceso de enfriamiento, y su posterior recuperación a temperatura ambiente. No obstante, en algunos casos el CO_2 ha nucleado a baja temperatura y su posterior fusión ha tenido lugar en el rango de -69° a -55°C (fig. 5A). El hecho de que la temperatura de fusión de CO_2 esté por debajo de su punto triple indica la presencia de otros componentes en la fase carbónica (e.g. CH_4 , N_2).

La temperatura de fusión del último cristal de hielo varía entre -5.9° y -1.7°C (fig. 5B), y la de clatratos entre 5° y 15°C , si bien la mayoría de los datos se agrupan entre 7° y 11°C (fig. 5C). Los procesos de calentamiento indican temperaturas de homogeneización total comprendidas entre 180° y 360°C (fig. 5D). El cálculo de la salinidad de la fase acuosa no se ha podido realizar con exactitud, ya que si bien no se conoce la composición del hidrato de gas, es previsible la presencia de CH_4 y/o N_2 (depresión de la temperatura de fusión de CO_2), por lo que no se puede aplicar el diagrama de BOZZO et al. [11]. Con el objeto de obtener datos de la salinidad de los fluidos, al menos aproximados, se ha tomado en cuenta la temperatura de fusión del último cristal de hielo [12], obteniéndose salinidades (máximas) de 6-9% eq. NaCl.

5. CUADRO TECTONOMAGMÁTICO DE LAS MINERALIZACIONES DE ORO: ELEMENTOS PARA UNA INTERPRETACION METALOGÉNICA

5.1. Introducción

En los últimos años, el papel atribuido a las zonas de cizalla en la génesis de ciertos yacimientos de oro se ha sobredimensionado hasta el punto que la actividad ígnea parece jugar un papel marginal o nulo en los procesos mineralizadores. Han contribuido principalmente a estas ideas investigadores franceses [13, 14, 15, 16], que han aplicado el modelo de «zona de cizalla aurífera» [14] a diversas zonas del zócalo hercínico en Francia, que los yacimientos de oro se alojen en zonas de cizalla no debe sorprender a nadie; de hecho, yacimientos tan «emblemáticos» de cuarzo-oro-sulfuros como los del Mother Lode (USA) u otros en Canadá se alojan preci-

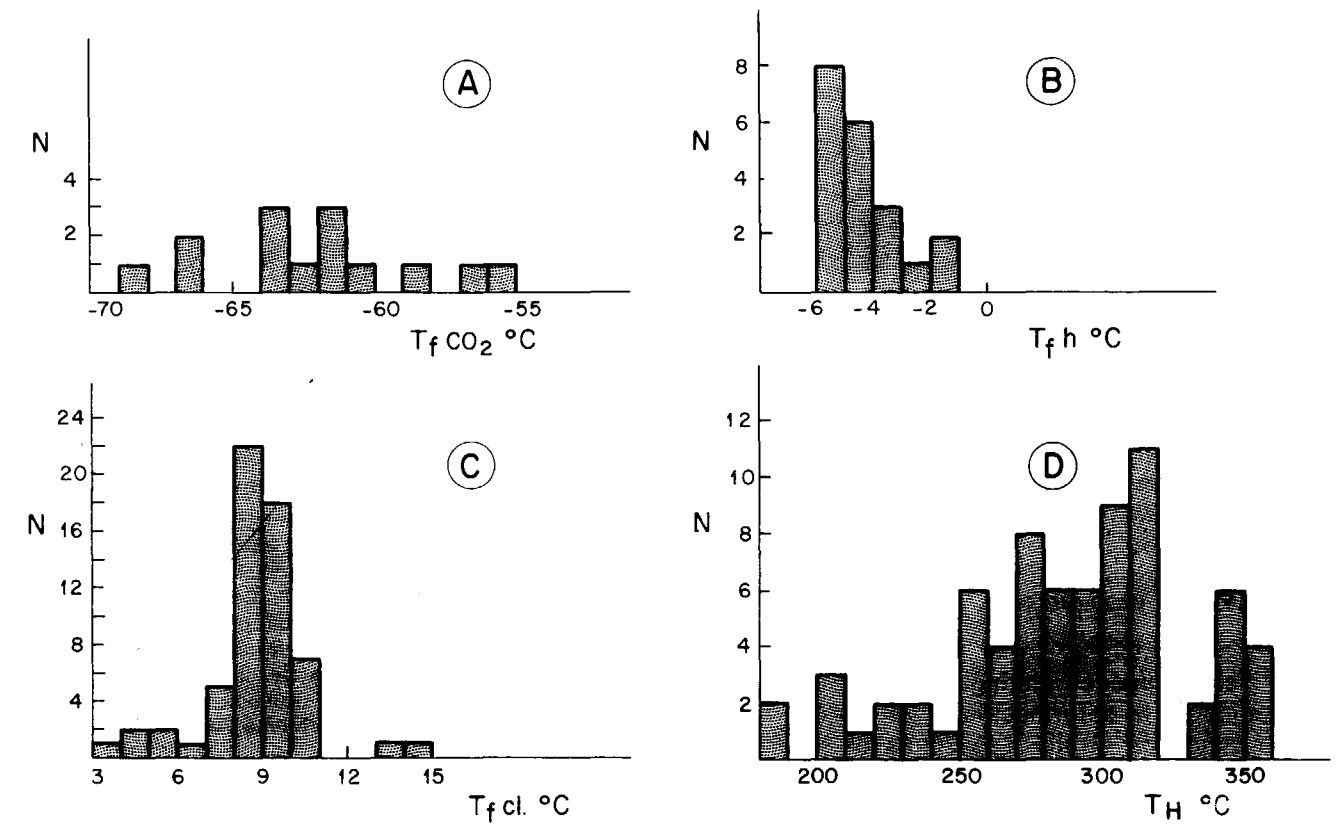


Figura 5.—Histogramas de las mediciones microtermométricas. A: Temperatura de fusión de CO_2 . B: Temperatura de fusión del hielo. C: Temperatura de fusión de clatratos. D: Temperatura de homogeneización. N: Número de mediciones.

samente en zonas de falla de carácter regional [17]. Por lo tanto, más que en sí los yacimientos auríferos se encuentran o no relacionados con zonas de cizalla (canales «naturales» para la migración de soluciones hidrotermales), la discusión debe centrarse en la evolución de éstas, en concreto, en el episodio deformativo (dúctil o frágil) durante el cual se depositó la mineralización, y particularmente, en el rol metalogénico de las intrusiones contemporáneas. Esto cobra especial relevancia en regiones de importante y compleja actividad tectónica y plutónica, como lo fue Galicia occidental durante la etapa geológica que nos ocupa en este trabajo (Carbonífero medio - Carbonífero superior/Pérmico inferior).

Con respecto a las mineralizaciones de Albores y otras de la misma franja metalogénica (e.g. Vilarcorvo, Limideiro, Rial de Arriba, Vila) los hechos son los siguientes: 1) se trata de minera-

lizaciones de cuarzo-sulfuros-oro; 2) se localizan exclusivamente al E de la banda de Malpica-Túy; 3) las mineralizaciones se encuentran emplazadas en estructuras de tipo frágil (e.g. grietas de tensión, brechas); y 4) el estudio de inclusiones fluidas en cuarzos acompañantes de la mineralización indica temperaturas características de la transición epitermal a mesotermal.

Elementos circunstanciales a considerar para un análisis crítico de la situación son: 1) la localización de las mineralizaciones dentro (Albores, Vilarcorvo, Limideiro) o en las inmediaciones (Fornos, Santa Sabina) de una zona de cizalla de historia compleja (ZCX); 2) el desarrollo de fábricas con sobreimpresión «brittle-on-ductile» en la ZCX; y 3) el carácter principalmente extensional de la ZCX.

De estas apreciaciones pueden desprenderse algunas conclusiones preliminares, entre las que destaca el rol oscuro, si no inexistente, de la

deformación dúctil en los procesos mineralizadores: aparte de la inexistencia de estructuras de origen dúctil en relación a las mineralizaciones, el rango de temperaturas que caracterizan a este tipo de deformaciones (550°-650° C, milonitización y estructuras SC) [18] es mucho más alto que el observado en los cuarzos acompañantes de la mineralización de Albores (Th: 180°-360° C; fig. 5D).

Probablemente, la clave para entender el contexto bajo el cual se formaron estas mineralizaciones se encuentre en la historia tectonomagmática de la zona. A continuación se revisan los principales elementos tectónicos de la zona y se propone un modelo evolutivo para los eventos tectonomagmáticos y mineralizadores.

5.2. Modelo propuesto

Como se mencionó en la segunda sección de este trabajo, pueden distinguirse claramente dos episodios de la deformación hercínica que generaron zonas de cizalla. Las zonas de cizalla de Meanos (ZCM) y del Pico de Meda (ZCPM) se generaron durante un régimen compresional adscribible a la fase 3. El siguiente evento es de particular relevancia en relación con las mineralizaciones, y puede ser interpretado dentro de un esquema de estructuras extensionales de bajo ángulo, dando lugar a las siguientes estructuras (fig. 6):

- 1) Un corredor de cizalla arqueado, de bajo ángulo (ZCX), con movimiento normal hacia el O, que presenta sobreimposición frágil sobre dúctil («brittle-on-ductile»), y que constituye la estructura principal del sistema extensional. Estas sobreimposiciones de deformaciones con características contrastadas son típicas de las fallas normales de bajo ángulo, cuya evolución suele ir acompañada de denudación tectónica.
- 2) Una estructura circular al E de la ZCX (denominada «Estructura Circular de Xallas», ECX) [6], constituida esencialmente por neises biotíticos fuertemente deformados, posiblemente denudados tectónicamente durante el proceso extensional, y que pertenece al bloque inferior del sistema extensional.
- 3) Una serie de fallas normales de alto ángulo y carácter predominantemente frágil, tanto anti-téticas como sintéticas, que se interpretan aquí

cialmente extensional de bajo ángulo, que corta a las zonas de cizalla dextrales de fase 3 (ZCM-ZCPM).

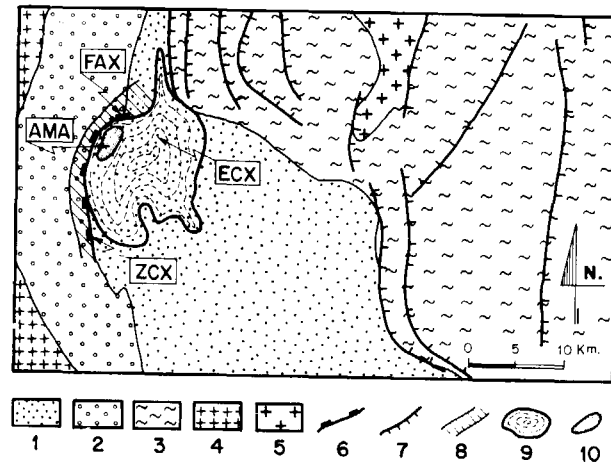


Figura 6.—Esquema idealizado mostrando las principales unidades geológicas de la zona y estructuras relacionadas con la extensión. 1: Dominio Esquistoso de Galicia Central. 2: Unidad de Malpica-Túy. 3: Complejo de Ordenes. 4: Banda granítica de Lage-Barbanza. 5: Granito de La Silva. 6: Zona de cizalla extensional de bajo ángulo de Xallas (ZCX). 7: Fallas normales de alto ángulo. 8: Franja aurífera de Xallas (FAX). 9: Estructura circular de Xallas (ECX). 10: Antiforame de Monte Armán (AMA).

como fallas cuarteando el bloque superior del sistema extensional, y que se encuentran al E de la zona estudiada (en el sector occidental del Complejo de Ordenes).

Además, es posible que toda una serie de granitos orientados y alineados a lo largo de la ZCX, intruyeran y se deformasen en relación con este evento extensional, tales como el «granito sellador» al O de la ZCX, y el posible cuerpo granítico (no aflorante) por debajo del antiforame del Monte Armán (AMA) (fig. 1, 6) [6]. Este mismo proceso puede aducirse para el sector occidental del Complejo de Ordenes, donde la intrusión del granito de La Silva podría relacionarse con las fallas normales de alto ángulo que allí se encuentran.

Contrariamente a las hipótesis clásicas que relacionan inequívocamente el funcionamiento de zonas de cizalla transcurrente con mineralizaciones auríferas del tipo de las que tenemos en nuestra zona de estudio, convendría replantearse esta cuestión teniendo en cuenta los siguientes factores:

- 1) La franja metalogénica parece estar asociada al funcionamiento de una zona de cizalla esen-

cialmente extensional de bajo ángulo, que corta a las zonas de cizalla dextrales de fase 3 (ZCM-ZCPM).

2) La propia evolución de las zonas de cizalla de bajo ángulo (que conlleva denudación tectónica y sobreimposición frágil sobre dúctil) explicaría satisfactoriamente la presencia de mineralizaciones auríferas rellenando estructuras de carácter frágil (grietas de tensión, fracturas de Riedel, etc...), todo ello en el interior de zonas de cizalla que funcionaron anteriormente dentro del campo dúctil. En este sentido, es muy difícil de explicar estas sobreimposiciones en zonas transcurrentes (como lo hacen GOUANVIC et al. [19] y COURRIOUX [20]), ya que en ellas el paso de condiciones dúctiles a frágiles implicaría el mantenimiento de una misma cinemática durante un larguísimo período de tiempo geológico (como para permitir la erosión de unos 10 km. de roca y el consecuente paso del campo dúctil al frágil).

Tomando en cuenta estos elementos de juicio, y considerando en particular las características propias de la zona de estudio, se puede proponer el siguiente modelo evolutivo, a modo de hipótesis de trabajo. Al finalizar la etapa deformativa D3, que dio lugar a la génesis de las zonas de cizalla de Meanos (ZCM) y de Pico de Meda (ZCPM), se produciría en la zona un episodio extensional con el desarrollo de una superficie de despegue de bajo ángulo y geometría lítrica, cuya evolución inicial según el modelo de cizalla simple por denudación tectónica, rebote isostático y abovedamiento cortical, llevaría a la exhumación de la Estructura Circular de Xallas (ECX; que se puede interpretar como un «metamorphic core complex»), con las siguientes consecuencias (fig. 6): 1) el desarrollo de la zona de cizalla de Xallas (ZCX), constituyendo el «breakaway» de una estructura extensional lítrica de bajo ángulo, con sobreimposición frágil sobre dúctil (generando cataclasitas y brechas graníticas); 2) una provincia extensional de alto ángulo al E (zona occidental del Complejo de Ordenes), que representaría el bloque superior del sistema extensional cuarteado frágilmente; 3) la intrusión sin- a post-tectónica de una serie de cuerpos graníticos (granito sellador, cuerpo granítico por debajo del antiforame del Monte Armán, granito de La Silva), implicando un modelo de cizalla pura para los últimos estadios de la deformación en este sistema extensional.

En este sentido, se pueden definir dos secciones tipo, de dirección O-E, representativas de los fenómenos tectonomagmáticos y mineralizadores que tuvieron lugar en distintos segmentos de la franja metalogénica aurífera de Xallas: una primera al norte de las mineralizaciones de Albores, que denominaremos sección tipo «Limideiro», y otra localizada en el entorno de las mineralizaciones objeto de este estudio: sección tipo «Albores» (fig. 7). Cabe hacer notar que la evolución tectónica es similar para ambas, variando sin embargo la importancia del granito sellador como material encajante. De esta manera podríamos distinguir un primer estadio con la intrusión de este cuerpo cortando por el este la zona de cizalla de Meanos (ZCM), y definiéndose incipientemente la zona de cizalla extensional de Xallas (ZCX) (etapa I). Este episodio estaría seguido por el desarrollo global de la cizalla extensional, dentro de lo que podríamos denominar «etapa dúctil pre-mineralización», con desarrollo de milonitas y ultramilonitas (etapa II). Finalmente, dentro de la evolución tectónica usual de este tipo de estructuras, se produciría la superposición de deformaciones frágiles (cataclasitas y brechas) sobre la fábrica dúctil. Durante esta etapa se habría producido además la probable intrusión de granitoides tardíos. A ésta se le puede denominar «etapa frágil mineralizadora» (etapa III). La etapa III, con el consecuente paso del campo dúctil al frágil, creó las condiciones estructurales (apertura de espacios) y de régimen térmico (descenso de la temperatura), como para que finalmente pudieran circular las soluciones hidrotermales y precipitar su carga metálica en un régimen térmico epi a mesotermal.

Finalmente, de acuerdo a las características estructurales, marco tectónico y asociación mineralógica, estos yacimientos pueden ser asimilados al grupo de yacimientos adscritos al «modelo descriptivo de oro en fallas de bajo ángulo» («gold on flat faults», Model 37b) [21].

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la empresa ADARO por todas las facilidades prestadas durante esta investigación, particularmente a los geólogos señores E. Armstrong y J. L. Pagés (Delegación de ADARO, Santiago de Compostela).

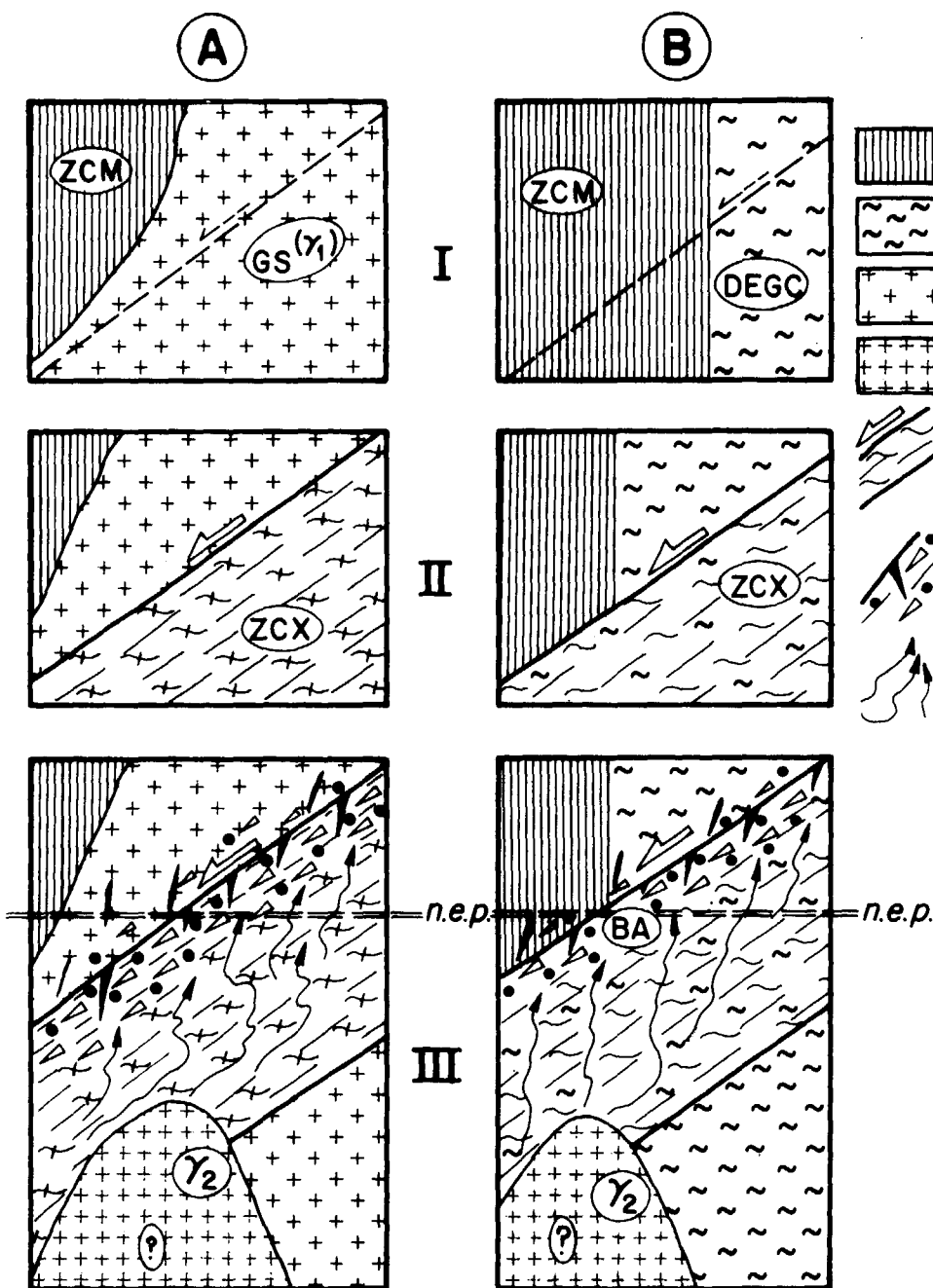


Figura 7.—Secciones esquemáticas tipo. A: Situación tipo Limideiro. B: Situación tipo Albores. Los elementos geológicos se han superpuesto de manera no proporcional, conservando sin embargo su distribución espacial relativa. I: Etapa inicial precizallamiento (intrusión del granito sellador: IA); II: etapa dúctil pre-mineralización (desarrollo de milonitas y ultramilonitas en zona profunda). III: Etapa frágil mineralizadora (denudación tectónica, superposición de una fábrica frágil sobre la dúctil, desarrollo de cataclasitas y brechas, circulación de soluciones hidrotermales y precipitación de minerales en las estructuras frágiles). 1: Zona de cizalla. 2: Rocas metamórficas. 3: Granito. 4: Granito tardío. 5: Zona de cizalla con milonitas. 6: Cataclasitas y brechas, en parte mineralizadas. 7. Soluciones hidrotermales. BA: Brecha Albores. DEGC: Dominio Esquistoso de Galicia Central. GS: Granito sellador; ZCM: Zona de cizalla de Meanos. ZCX: Zona de cizalla de Xallas. n.e.p.: Nivel de erosión presente.

REFERENCIAS

- [1] GEOCONSULTING ESPAÑOLA, S. A. (1987): *1st International Field Congress on Gold Mineralization in NW Spain*. Organised by Geoconsulting Española, S. A. and the University of Southampton, unpubl. rept., 93 pp.
- [2] OYARZUN, R. (1987): *Aspectos químicos y mineralógicos del método de lixiviación en pila (heap-leaching) de oro y plata*. Bol. Soc. Española Mineral., 11: 55-59.

- [3] OYARZUN, R. (1991): *Aspectos técnicos, químicos y mineralógicos generales de la recuperación de metales preciosos por cianuración en pila y biolixiviación*. En: *Yacimientos Minerales (Técnicas de Estudio - Tipos - Evolución Metalogénica - Exploración)*. R. Lunar y R. Oyarzun (Eds.), Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S. A. Madrid, 417-425.

- [4] ORTEGA GIRONES, E., y GIL IBARGUCHI, I. (1983): *La unidad de Malpica-Túy («Complejo Antiguo» - «Fosa*

Blastomilonítica». En: *Geología de España* (Libro Jubilar de J. M. Ríos), tomo 1, Instituto Geológico y Minero de España, 430-440.

[5] RIBEIRO, A.; PEREIRA, E., y DIAS, R. (1990): *Structure in the northwest of the Iberian Peninsula*. En: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, R. D. Dallmeyer y E. Martínez García (Eds.), Springer Verlag, 220-236.

[6] PAGES VALCARLO, J. L., y CHAMBOLLE, P. (1987): *Marco geológico de las mineralizaciones auríferas del W de Santa Comba - A Coruña*. Cuaderno Lab. Xeoloxico de Laxe, 12: 261-271.

[7] BELLIDO MULAS, F.; GONZALEZ LODEIRO, F.; KLEIN, E.; MARTINEZ CATALAN, J. R., y PABLO MACIA, J. G. (1987): *Las rocas graníticas hercínicas del N de Galicia y Occidente de Asturias*. Colección Memorias del Instituto Geológico y Minero de España, tomo 101, 157 pp.

[8] GONZALEZ LODEIRO, F.; HERNANDEZ URROZ, J.; KLEIN, E.; MARTINEZ CATALAN, J. R., y PABLO MACIA, J. G. (1982): *Mapa geológico de España, escala 1:200.000, Hoja de Lugo (núm. 8)*. Instituto Geológico y Minero de España.

[9] DIAZ GARCIA, F. (1990): *La geología del Sector Occidental del Complejo de Ordenes (Cordillera Hercínica, NO de España)*. Serie Nova Terra, Laboratorio Geológico de Laxe, 230 pp.

[10] ARTHAUD, F., y MATTE, P. (1975): *Les décrochements tardihercyniens du SW de l'Europe. Géométrie et essai de reconstruction des conditions de la déformation*. Tectonophysics, 25: 139-171.

[11] BOZZO, A. T.; CHEN, H. S.; KASS, J. R., y BARDUHN, A. J. (1975): *The properties of hydrates of chlorine and carbon dioxide*. Desalination, 16: 303-320.

[12] POTTER, R. W.; CLYNNE, M. A., y BROWN, D. L. (1978): *Freezing point depression of aqueous chlorine solutions*. Econ. Geol., 72: 284-285.

[13] BONNEMAISON, M. (1986): *Les «filons quartz aurifère»: un cas particulier de shear zone aurifère*. Chron. Rech. Min., 482: 55-65.

[14] BONNEMAISON, M., y MARCOUX, E. (1987): *Les zones de cisaillement aurifères du socle Hercynien Française*. Chron. Rech. Min., 488: 29-42.

[15] BOUCHOT, V.; BONNEMAISON, M., y GROS, Y. (1989): *Structural evolution of gold mineralization in the Saint-Yrieix district, French Massif Central*. En: *Gold 89 in Europe*, Toulouse, France, 23-15 May, 1989, p. 1.

[16] AHMADZADEH, H.; CHARRIER, J., y VERROES, G. (1989): *The Au-As-Sb mineralization of the Cevennes (SE French Massif Central): An auriferous province including two types of deposits: gold bearing shear zones and an exhalative sedimentary orebody*. En: *Gold 89 in Europe*, Toulouse, France, 23-15 May, 1989, p. 7.

[17] OYARZUN, R. (1992): *Yacimientos de oro*. En: *Recursos Minerales Españoles*. Colección Nuevas Tendencias, CSIC, en prensa.

[18] GAPAIS, D. (1987): *Les orthogneisses: structure et mécanisme de déformation et analyse sinématique*. Thèse Doctorale, Université de Rennes I, 364 pp.

[19] GOUANVIC, Y.; COURRIOUX, G., y OVEJERO, G. (1981): *Contrôle structural de la répartition des indices d'or filonien du nord-ouest de la Péninsule Ibérique*. Cuadernos de Geología Ibérica, 7: 353-367.

[20] COURRIOUX, G. (1985): *Los indicios de oro del lixiviado de Puente Deume (Galicia, España): relaciones entre paragénesis y microestructuras*. Cuadernos Lab. Xeoloxico de Laxe, 9: 221-238.

[21] BOULEY, B. A. (1986): *Descriptive model of gold on flat faults*. En: *Mineral Deposit Models*, D. P. Cox y D. A. Singer (Eds.), U. S. Geological Survey Bulletin 1693, p. 254.

Original recibido: Diciembre de 1991.
Original aceptado: Enero de 1992.