



Yacimientos de estaño y wolframio. Su relación con los procesos de la tectónica de placas

Tin and tungsten deposits their relations to plate tectonics

UHLIG, S.

En lo que sigue se va a hablar de los yacimientos de Sn y de W y de su relación con los procesos de la tectónica de placas como también de la situación actual de reservas en el mercado internacional.

Conocimientos genéticos y modelos metalogénéticos son importantes para poder entender la formación y distribución de minerales. Eso puede servir para preparar los primeros pasos en la prospección como en la exploración minera de un yacimiento en explotación. Pero siempre habrá que tener en la mente que todos los conocimientos y modelos genéticos (teóricos) sólo son un esqueleto muerto, si no le dan vida las observaciones detalladas de campo.

Palabras clave: Sn, W, tectónica de placas, subducción, granitos, yacimientos estratiformes, granitos anorogénicos, Macizo Hercínico.

This paper gives an overview of tin and tungsten deposits and discusses their relation to modern plate tectonics. Furthermore, an introduction of economic aspects (reserves, production and actual situation on the world market) of the metals Sn and W is given.

Key words: Sn, W, plate tectonics, subduction, granites, stratiform deposits, anorogenic granites, Hercynic Massif, production.

INTRODUCCION

En los últimos 20 años la *tectónica de placas* ganó más importancia en las Ciencias Geológicas. El romperse el gran continente de Gondwana, lo que empezó hace unos 200 m. a., era el último gran suceso espectacular que influye hasta hoy los procesos de la tectónica de placas. Para recordarse brevemente de algunos términos y fenómenos

tectónicos, se ven resumidos en la figura 1 los procesos principales del «rifting»: desde la formación de fosas tectónicas (p. e. la Fosa del Rin, las Fosas del E de Africa), tras la formación de mares (p. e. Mar Rojo), hacia la formación de océanos (p. e. el Atlántico). Con la neoformación de partes de la corteza terrestre hay que pensar también en su destrucción en otras regiones: en los fenómenos de colisión de placas oceánicas y continentales.

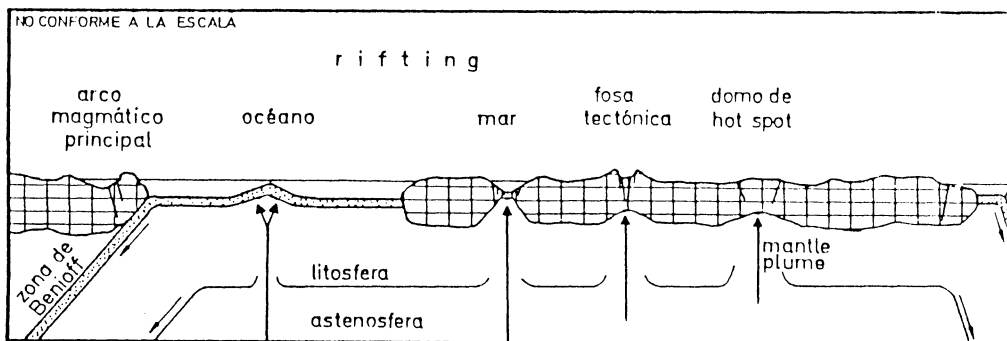


Fig. 1. Fenómenos tectónicos de la corteza terrestre.

DEPOSITOS METALICOS RELACIONADOS CON FENOMENOS DE COLISION INTRACONTINENTAL Y PERICONTINENTAL

La cadena orogénica de los Alpes e Himalaya es producto de fenómenos de colisión cenozoicos. Durante el Paleozoico se formaron las cadenas orogénicas caledónica y appalachiana como también el Macizo Hercínico-Variscico. Un ejemplo proterozoico bien estudiado representa el orógeno de Damara en el Centro de Namibia (SO de Africa). La mayoría de los cinturones orogénicos permite suponer que existe una fase de expansión inicial (en forma de un «rifting») a la que sigue una fase de compresión. La fase de extensión no tiene por que llegar siempre a la formación de una corteza oceánica.

Los depósitos importantes de Sn y W relacionados con fenómenos de colisión de placas resultaron de procesos tectónicos,

magmáticos y metamórficos asociados a fases de compresión. El concepto gráfico de PITCHER (1979), Fig. 2, demuestra bien la relación entre los fenómenos más importantes de la tectónica compresiva orogénica. Debido a distintos procesos tectónicos, magmáticos y metamórficos cada sección está más o menos caracterizada por su paragénesis de rocas metamórficas y magmáticas.

En los sistemas de arcos principales de tipo andino (formando cordilleras) predominan, junto a otras rocas magmáticas, granitos intrusivos (del tipo «I»), relacionados con zonas de subducción. Los macizos intrac Continentales o zonas interiores de arcos se caracterizan por un metamorfismo regional progresivo que es responsable de la formación de considerables volúmenes de granitos anatócticos (predominan granitos del tipo «S») con zonas de contactos migmatizadas. Estos granitos con sus importantes depósitos de Sn y W predominan en la Cadena Hercínica y Variscica de Europa. La distinción en-

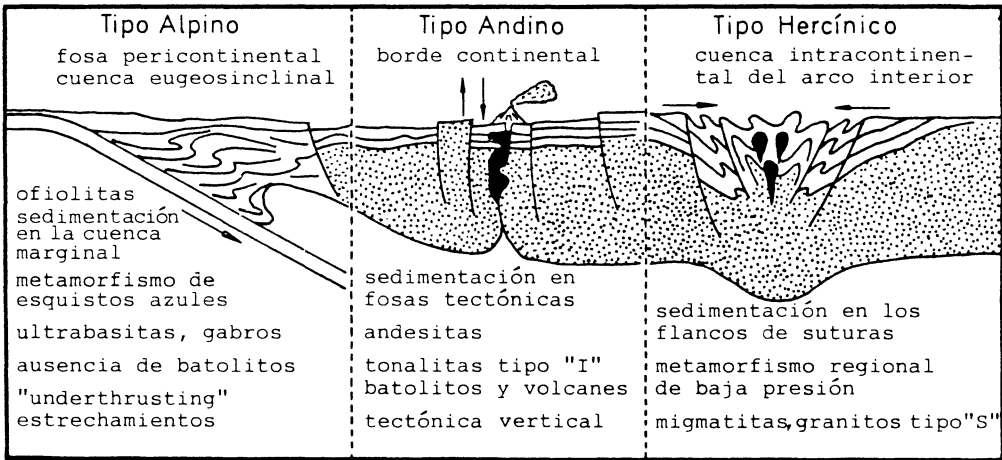


Fig. 2. Concepto tectogénico de la generación de magmas graníticas de PITCHER (1979).

tre granitos de los tipos «S», «I» y «A» no es siempre clara y hay que aplicarla con cuidado. Los procesos de la generación de granitos son muy complejos a veces y se pueden superponer intensamente.

Los arcos principales de subducción

Los arcos principales de subducción son zonas estrechas, bien definidas, por sus actividades magmáticas y sísmicas. Asociados a un magmatismo calcoalcalino los elementos metalogenéticos más importantes son el cobre, el hierro, el molibdeno, el oro y la plata (Fig. 3).

Los depósitos de la parte interior de arcos principales maduros (p. e. los de Japón, en las Cordilleras Americanas) se distinguen de los de la parte central. Parece que el magmatismo con sus mineralizaciones asociadas depende también de la profundidad de la subducción (del ángulo de la zona de Benioff, Fig. 4. Asociado a cinturones de magmatitas intermedias a félsicas (monzonitas de cuarzo y granitos representando granitos del tipo «S» y «I») se encuentran depósitos de Sn y W en la zona interior de arcos de cordilleras p. e. en Bolivia, en el NO de Canadá, en el E y SE de Asia y en Austra-

lia. En Méjico existen también yacimientos de Sn en la provincia del arco interior con sus mineralizaciones de Pb-Zn-Ag.

En Bolivia los filones de Sn y W están asociados a granodioritas triásicas en la Cordillera Real (Fig. 5). Más al S, los depósitos de Sn y Ag aparecen en rocas subvolcánicas del Mioceno de composición félsica calcoalcalina. La explotación de Sn en roca dura (probablemente la más grande del mundo con medio millón de toneladas de Sn metálico de reservas) la Llallagua se encuentra en

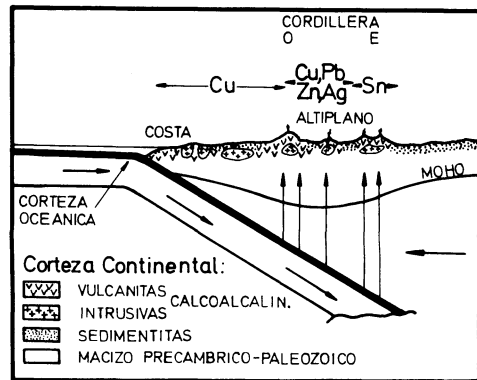


Fig. 3. Concepto de SILLITOE (1976) de una relación directa entre las provincias metálicas y la profundidad de la zona de Benioff en los Andes.

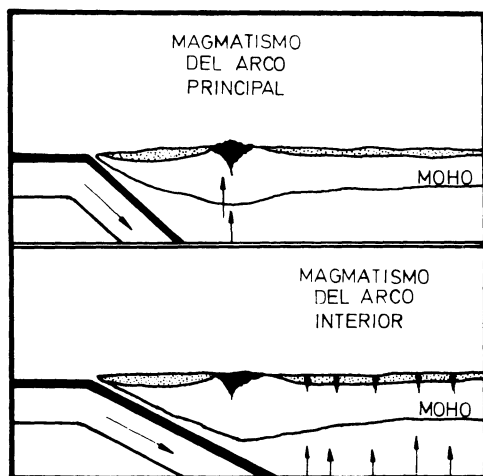


Fig. 4. Posible relación entre la actividad magmática y el ángulo de incidencia de la zona de Benioff.

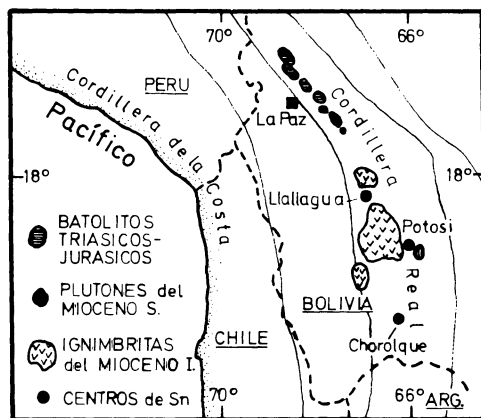


Fig. 5. Magmatitas de la Cordillera Real en Bolivia, según GRANT *et al.* (1980).

el centro del cinturón de Sn de Bolivia que tiene unos 800 Km de largo. Este yacimiento, tipo «porphyry», está asociado estrechamente a un cuerpo subvolcánico de latitas de cuarzo (equivalente extrusivo de la monzonita) situado en sedimentitas del Silúrico y Devónico (SILLITOE *et al.*, 1975). Las mineralizaciones casiterita y pirita, se encuentran en un «stockwork» de filones, en brechas formando «pipes» y diques irregulares y

en diseminaciones en la roca encajante alterada. La ley media se calcula en 3 Kg/t. Estudios de inclusiones fluidas indican una temperatura de 400°C y una salinidad menor del 24 % de NaCl. Se diferencian 4 períodos de formación, disminuyendo la temperatura y la salinidad con el desarrollo del yacimiento (GRANT *et al.*, 1980). La mineralización descrita fue cortada por filones tardíos de cuarzo con casiterita que fueron objeto de las primeras explotaciones.

Los depósitos más antiguos del grupo Sn-W en la Cordillera de Bolivia son los de estos dos metales mientras que los yacimientos meridionales, del Mioceno, son depósitos de Sn y Ag en forma de filones, «pipes» y sobre todo «porphyries» de Sn. Estos «porphyries» se conocen aparte de en Llaquna también en Oruro y Potosí y se caracterizan por grandes tonelajes de contenidos bajos en casiterita. La alteración asociada a la mineralización causó una sericitización y turmalinización de la roca encajante.

Otra provincia importante de Sn, de edad cretácea, se encuentra en los Territorios del NO de Canadá y en la Provincia del Yukon (Fig. 6). La mineralización está asociada a rocas intrusivas (monzonitas de cuarzo y granodioritas) del tipo «S» en su mayoría. Los depósitos son del tipo «skarn», en

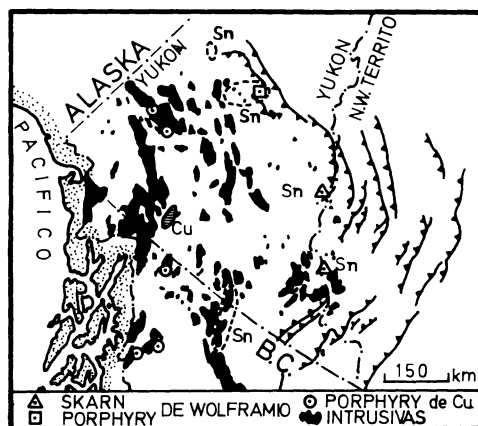


Fig. 6. Depósitos de Sn en la parte interior del arco principal de Canadá (de SILLITOE 1981).

otras palabras: intrusiones graníticas en sedimentos con estratos calcíferos con scheelita y calcopirita. Estudios de inclusiones fluidas indican en general una formación a temperaturas altas (500-550°C). Una zona de granitos moscovíticos peraluminicos de origen anatético con depósitos pequeños de Sn y W existe también en la cordillera de

cabalgamientos en el oeste de los Estados Unidos.

Un cinturón granítico muy importante conteniendo depósitos asociados de Sn y W se extiende a unos 1.400 Km del SO de Birmania hacia Phuket en el S de Tailandia: el Cinturón Occidental de Sn del SE de Asia (Fig. 7). Las intrusiones tomaron su posi-

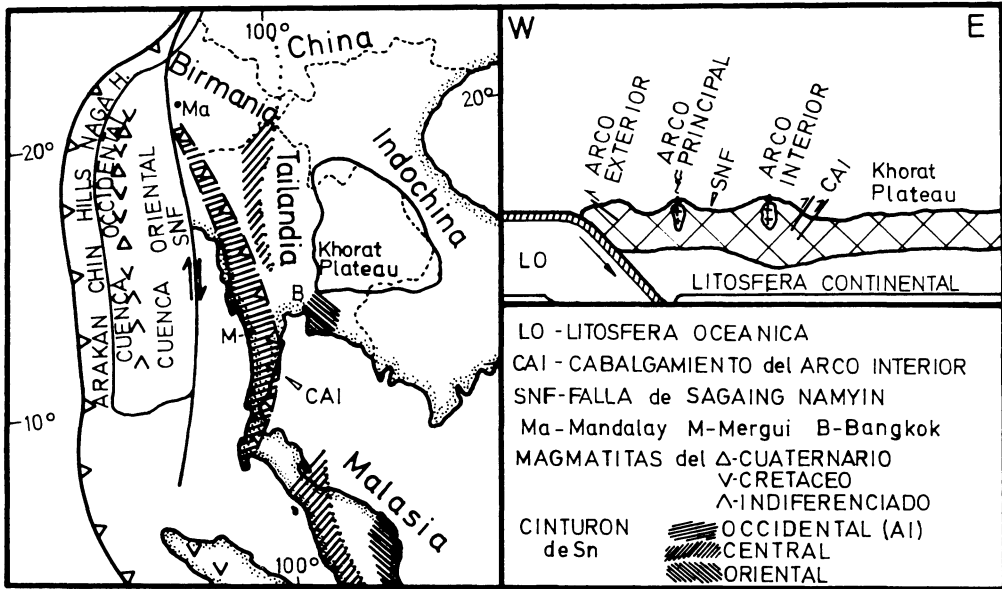


Fig. 7. Croquis geológico-tectónico del Cinturón Occidental de Sn del SE de Asia en el Eoceno (de SAWKINS 1984) según MITCHELL & GARSON 1981).

ción entre el Cretácico y el Terciario Inferior. En Birmania las mineralizaciones primarias de Sn y W se encuentran en filones de cuarzo y zonas greisenizadas en monzonitas de cuarzo con biotita y en granitos de dos micas. En la Península de Tailandia las rocas proveedoras son granitos biotíticos y granitos de dos micas con mineralizaciones de Sn en filones de cuarzo, «stockworks» en corneanas y en pegmatitas. Como se ve en el corte geológico de la figura 7, la situación geológica es muy comparable con la de Bolivia. Al este del Cinturón Occidental representando el arco principal se encuentra el Cinturón Central de Sn (Fig. 8).

El Cinturón Central de Sn en el SE de Asia es un ejemplo de un orógeno de colisión intracontinental con depósitos asociados a granitos del tipo «S». De este cinturón procede la mayoría del estaño producido en esta región que se extrae sobre todo de depósitos secundarios (placeres fluviales y submarinos). Los depósitos primarios están asociados en general a granitos peraluminicos de dos micas y monzonitas de cuarzo de edad triásica. De edad pérmica-triásica es el Cinturón Oriental de Sn. Su génesis es mucho más complicada porque los datos de Sr (JONES *et al.* del año 1977) indican un origen cortical de los granitos, mientras que se

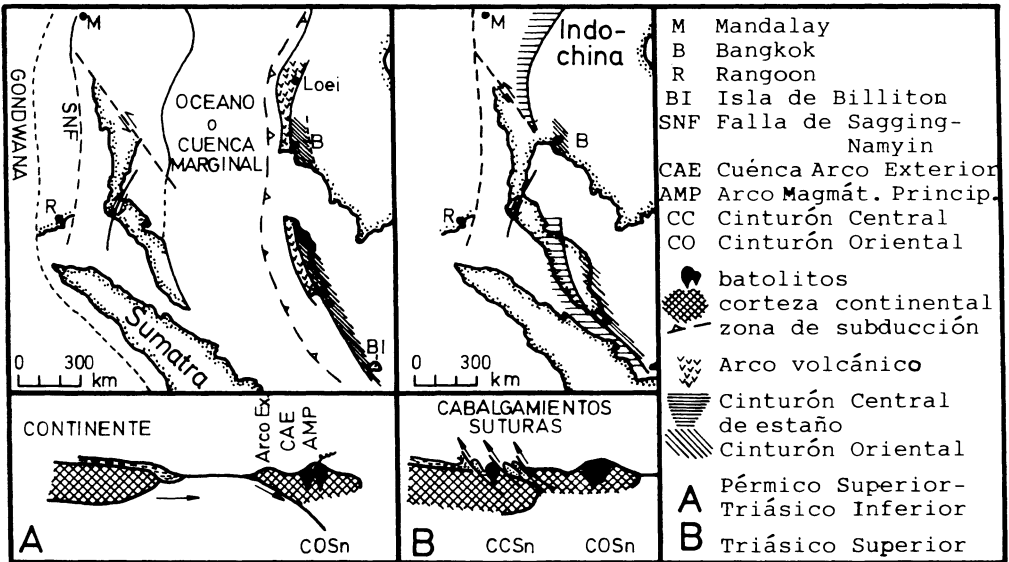


Fig. 8. Situación tectónica de la parte central y oriental del Cinturón de Sn en el SE de Asia (según MITCHELL 1977).

encuentran también depósitos del tipo «porphyry» relacionados con un magmatismo típico de zonas de subducción.

El cinturón importante de granitos en el SE de China contiene las reservas mayores de wolframio del mundo. Se supone que el magmatismo granítico se originó por la subducción, hacia el NO, de la litosfera oceánica de la placa del Pacífico debajo de la placa de Eurasia (Fig. 9). Las rocas plutónicas más productivas se encuentran en las partes occidentales de esta zona que corresponden a las zonas internas de arcos principales, antes mencio-

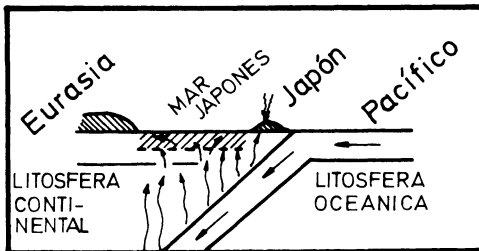


Fig. 9. Formación del Mar Japonés (MATSUDA et al. 1971).

nadas. Los depósitos más importantes se encuentran en la Montaña de Nanling, en la parte meridional de la Provincia de Kiangsi, en el SE de Hunan, en el E del Kwangsi y en el N de Kwangtung (en el SE del país).

Los depósitos de Sn de Australia se hallan en la parte interior de una alineación de granitos del tipo «S» en el E y del tipo «I» hacia el O. En el orógeno de Lachlan (New South Wales) estas rocas plutónicas son del Paleozoico Inferior y Medio mientras que más en el N predominan las del Paleozoico Superior. En el E de Australia las mineralizaciones de Sn y W se encuentran en su mayoría en filones y/o en depósitos de «pipes» asociados a zonas greisenizadas. En Ardlethan (New South Wales) brechas, con forma de chimeneas volcánicas, mineralizadas de cuarzo, de casiterita, de pirrotina y también de sulfuros de Pb y de Zn se encuentran dentro de granitos altamente diferenciados del tipo «S».

Un sólo modelo genético no basta para definir este grupo de depósitos mencionados. Pero se ve claramente una relación (en el tiempo y en el espacio) con el magmatismo

mo félsico, y con los procesos hidrotermales respectivos, relacionado con fenómenos de subducción a lo largo de bordes destructivos de placas litosféricas. La forma de estos depósitos de Sn y W varía de filones, «pipes» y «skarns» a «porphyries». Tampoco están asociados sólo a un tipo de granito, sino unos a granitos del tipo «I», pobre en magnesio, y otros preferentemente a granitos anatócticos del tipo «S». Pero en común todos estos yacimientos se encuentran en la parte más inferior de zonas interiores de arcos principales. Desde el punto de vista económico, los depósitos del tipo «skarn» y «porphyry» son muy importantes. Los yacimientos de este último tipo se encuentran en niveles subvolcánicos y por eso son fácilmente afectados por la erosión (meteorización). Los depósitos del tipo «skarn» asociados a intrusiones («stocks») en terrenos calcáreos se encuentran en niveles más profundos (menos meteorizados) y tienen una extensión horizontal más extensa, por lo cual parecen más interesantes en la explotación minera.

Yacimientos estratiformes de wolframio

Muchos de los depósitos de W y Sb del Mesozoico Superior y del Cenozoico son epigenéticos y asociados a plutones graníticos, como p. e. los del SE de China. Sin embargo existe un grupo de yacimientos estratiformes de *W-Sb-Hg* asociados a rocas volcánicas-sedimentarias como los que se descubrieron en el E de los Alpes. Tres tipos de depósitos estratiformes se pueden diferenciar: depósitos de W (scheelita) con Mo, Cu y Bi (p. e. Mittersill en Austria), depósitos de Sb (estibina) con As, W y Cu y depósitos de Hg. Sobre todo los depósitos del primer tipo se encuentran con preferencia en estratos del Paleozoico Inferior. Yacimientos similares a los de Austria se describen también en Yugoslavia, Cerdeña y Turquía (MAUCHER, 1976). Estos últimos son de edad cenozoica y están asociados a erupciones de andesitas y dacitas. Depósitos de

W-Sb-Hg estratiformes parecidos se encuentran también en rocas metavolcánicas de los cinturones de esquistos verdes arcáicos (p. e. Murchison Belt en la R. S. A. —conteniendo también oro, yacimientos en Rodesia/Zimbabwé y depósitos de Au-W-Sb mesozoicos de Glenorchy, Nueva Zelanda). Similares son las mineralizaciones estratiformes de W (scheelita) en gneises (metavolcánicos-metasedimentarios) precámbricos de Colorado, Wyoming, Nuevo Méjico (Estados Unidos), Noruega (Bindal Area en el N del país) y Groenlandia (Godthab en el SO del país).

La mayoría de estos yacimientos estratiformes fue tectonizada y metamorfizada lo que causó una removilización y traslación de las mineralizaciones metálicas, formando también filones discordantes a la estratificación. El poder distinguir entre 3 tipos de yacimientos se debe probablemente por una parte también a la movilidad diferente de cada elemento (W-Sb-Hg). En los últimos años se da cada vez más la importancia que les corresponde a estos procesos de removilización de mineralizaciones estratiformes por fenómenos tectónicos y sobre todo metamórficos. Las rocas metavolcánicas asociadas son en su mayoría básicas pero también se encuentran rocas de composición intermedia y pórfidos más ácidos. Algunas de estas magmatitas se pueden relacionar claramente con zonas antiguas de subducción de arcos magmáticos.

DEPOSITOS DE ESTAÑO ASOCIADOS A GRANITOS ANOROGENICOS

Por interacciones intracontinentales entre la litosfera y la astenosfera (la parte superior del manto a unos 50-100 a 500 Kilómetros de profundidad), se supone, se pueden formar zonas muy calientes en la parte superior del manto creando bóvedas («mantle plumes») las que se manifiestan en la corteza en forma de «hot spots» (Fig. 1). En cuanto la litosfera oceánica o continental se

mueve encima de un «hot spot» éso se puede expresar en una línea de volcanes basálticos, p. e. las islas volcánicas de la zona de Hawaii. La actividad de «hot spots» causa la formación y movilización de rocas ígneas como basaltos, magmatitas máficas peralcalinas, carbonitas y también magmatitas félsicas (peralcalinas y peraluminícas), p. e. granitos del tipo «A». Algunas provincias de Sn, sobre todo en el oeste de Africa y en Brasil están relacionadas con intrusiones graníticas cuya formación se intepreta por la actividad de un «matle plume».

En Nigeria y Niger se encuentran varios complejos anulares de granitos del Paleozoico Medio (Niger) y del Jurásico (en Nigeria). Los depósitos más importantes en Nigeria se hallan en la zona de Jos Plateau (Fig. 10). Más de 40 complejos anulares

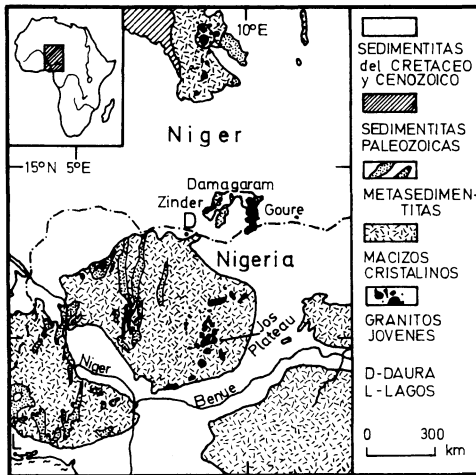


Fig. 10. Distribución de los granitos anorogénicos de Nigeria (TURNER & WEBB 1974).

(hasta 25 Km de diámetro) intruyeron en rocas metamórficas del Precámbrico. La mineralización de Sn y Ta está asociada a granitos biotíticos poco alcalinos que tomaron su posición a poca profundidad (más o menos a un Km). En la bóveda de las intrusiones graníticas se encuentran los minerales de Sn y Ta diseminados como también en

zonas greisenizadas y filones de cuarzo conteniendo pirita y sulfuros de cobre. En su mayoría se explotan los eluviones encima de los yacimientos primarios y los granitos mineralizados muy alterados por la intensa meteorización tropical.

Los depósitos de Rondonia en el O de Brasil son muy parecidos a los de Nigeria (Fig. 11). En esta provincia de Sn, más de 18 complejos intrusivos anulares de granitos alcalinos forman una zona de 250 Km de largo, en dirección SO-NE. Estudios de isótopos de Rb/Sr de los granitos de estos complejos, que llegan a tener diámetros de 20 Km, indican una edad de 1.000 M. a. Los altos coeficientes iniciales de Sr (Sr^{87}/Sr^{86} mayor 0.720, PRIEM *et al.* 1971) hacen pensar en un origen cortical anatéctico. en los depósitos brasileños dominan filones de cuarzo con casiterita y con casiterita y wolframita como también formaciones de greisen.

De los depósitos de Sn de los granitos asociados al complejo ígneo del Bushveld (R. S. A.) se extrajeron más de 70.000 tone-

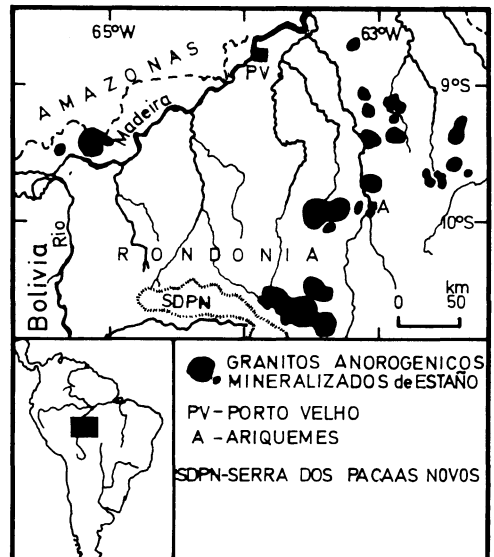


Fig. 11. Distribución de los granitos anorogénicos de Brasil (según KLOOSTERMAN 1969).

ladas de Sn metálico (hasta 1971, Fig. 12). La mineralización de Sn se encuentra en «pipes» y/o diseminada en fisuras de los granitos porfídicos, en filones y en zonas de brechas y de remplazamiento dentro de los granitos y de las rocas encajantes. Estos granitos se consideran como productos de fusión cortical iniciada por el emplazamiento del complejo anular del Bushveld. Sobre la formación del Bushveld existen dos teorías. Una está relacionada con el impacto de un meteorito, la otra (la más probable) con la manifestación de un «hot spot».

Existen también otros ejemplos más de mineralizaciones de Sn asociadas a granitos anorogénicos de un origen postulado de «hot spot» en el N de Africa y en Rusia (Transbaikalia y Mongolia). En Rusia como también en Finlandia se encuentran mineralizaciones de Sn acompañando a granitos del tipo rapakivi (que son granitos con agregados esféricos de color rojo oscuro de feldespatos potásicos que están rodeados por oligoclasas gris verdosas). Se supone que los granitos de rapakivi proterozoicos se formaron por actividades de «mantle plume».

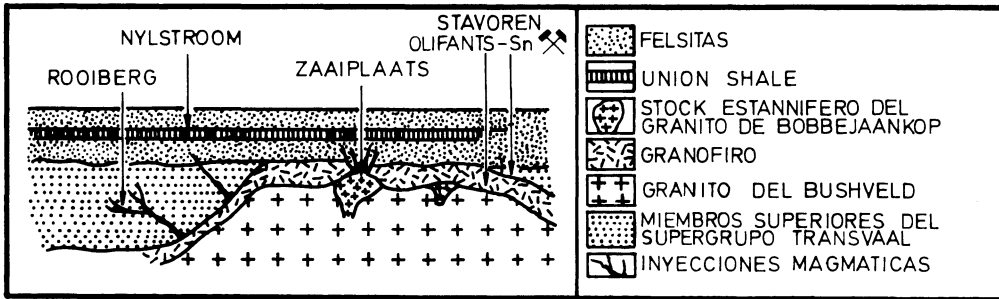


Fig. 12. Corte geológico del complejo ígneo del Bushveld con sus zonas mineralizadas de Sn (según HUNTER 1976).

También relacionados con fenómenos de «hot spots» se consideran los complejos graníticos con mineralizaciones de Sn del Proterozoico en Missouri (Región de St. François, E. E. U. U.). En la mayoría de estos casos los granitos alcalinos anorogénicos con sus mineralizaciones asociadas proceden de la corteza. Vistoso para su exploración es la disposición alineada de estos depósitos.

LOS DEPOSITOS DE ESTAÑO Y WOLFRAMIO DEL MACIZO HERCINICO

Los depósitos de Sn y W del Macizo Hespérico están por lo general asociados estrechamente al grupo de los granitos tardíos (Carbonífero Superior-Pérmico Inferior) de la orogénesis hercínica. La figura 13 presenta la distribución de rocas ante-mesozoicas y

de granitos hercínicos en Europa Central y Occidental. Aquí se ve bien la relación entre los yacimientos de Sn y W y los granitos formados durante la orogénesis hercínica. Muy interesante es el modelo de MITCHEL (1974) de las situaciones tectónicas durante el Devónico y el Carbonífero en el SO de Inglaterra y su esquema de la formación de los granitos mineralizados (Fig. 14). Este concepto metalogénico se parece mucho a la situación demostrado en el SE de Asia (Fig. 8). Pensando en la corteza oceánica obducida en el NO de España (Cabo Ortegal), sería importante comprobar la aplicabilidad de modelos parecidos al Macizo Hespérico de la Península Ibérica.

Relacionadas con intrusiones graníticas, las mineralizaciones de Sn y W se encuentran en «stockworks», en filones agrupados o singulares y en zonas alteradas de greisen.

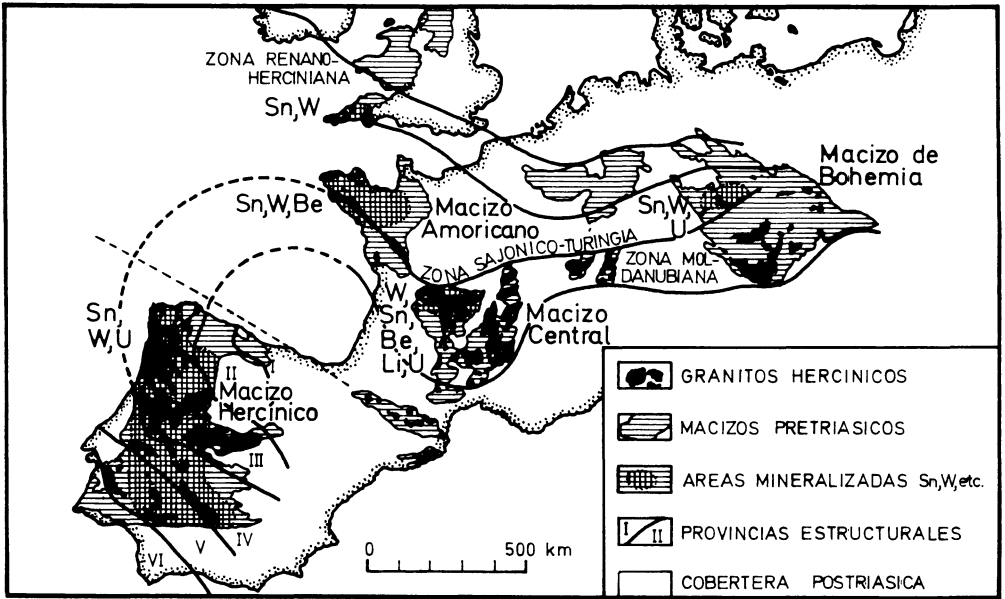


Fig. 13. Distribución de rocas precámbricas-paleozoicas y de granitos hercínicos-variscos en Europa Central y Occidental (modificado a STEMPROK 1980).

Cuando los estratos de caliza forman parte de la roca encajante de las intrusiones predominan los depósitos del tipo «skarn». La forma de los depósitos, como también la propia intrusión, está controlada por estructuras tectónicas regionales. Parece que zonas de cabalgamientos y zonas anticlinales

son favorables al emplazamiento de intrusiones. Los minerales metálicos son en su mayoría casiterita y wolframita acompañados de sulfuros como pirita, arsenopirita, calcopirita, pirotina, galena, blenda, bismutina y también estannina. Los yacimientos con wolframita están asociados predomi-

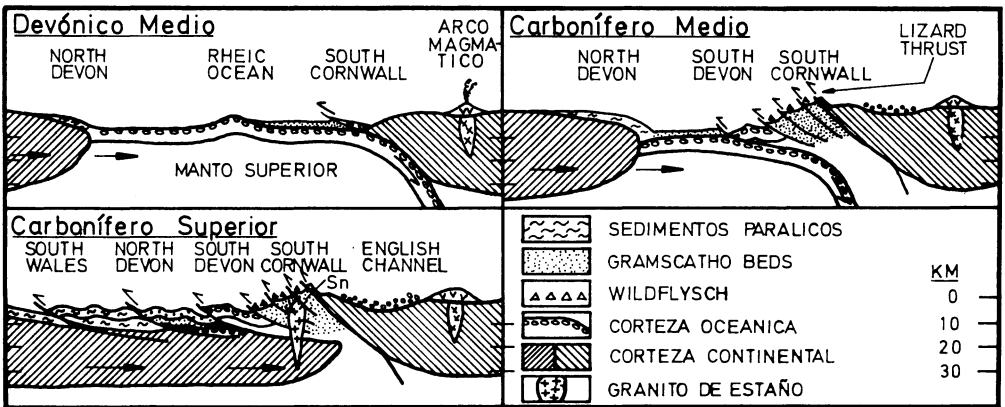


Fig. 14. Tectónica de colisión en el SO de Inglaterra y la formación de granitos mineralizados de Sn (modificado a MITCHELL 1974).

nantemente con rocas graníticas ácidas; los de scheelita a rocas menos ácidas con granodioritas y monzonitas de cuarzo. Minerales típicos de la ganga son cuarzo, micas y feldespatos potásicos con fluorita, turmalina y siderita. Ultimamente la zonación de los depósitos de Sn y W (me refiero a zonas donde predominan mineralizaciones de Sn a las de W y viceversa) está bien estudiado (p. e. COURRIOUX *et al.* 1984). Si esta agrupación zonada de depósitos tiene su origen en distintos procesos tectónicos y/o magmáticos habría que discutirlo en detalle.

PROBLEMAS GENERALES DE YACIMIENTOS DE ESTAÑO Y WOLFRAMIO

Estudiando la relación de yacimientos de Sn y W con los procesos de la tectónica de placas, se nota (simplificando) que los yacimientos donde predomina el estaño, acompañado de metales básicos y preciosos, se diferencian de los yacimientos de W y Sn. Esta diferencia química y mineralógica depende de la fuente magmática —la estructura y forma de estos yacimientos puede ser la misma. Según PLIMER (1986) depósitos de Sn-W-(Ta-Nb) se encuentran con granitos orogénicos tardíos en zonas de «rifting», asociados a «hot spots» y en zonas caracterizados por procesos de cizallamiento («shear-type tectonics»). Los granitos proceden de partes muy profundas de la corteza o del manto terrestre por refundirse rocas restíticas (tipo «A») o por cristalización fraccionada de fusiones anatécicas (tipo «S»).

Se supone que los depósitos de W y Sn están ligados a la formación de magmas graníticos anatécicos del tipo «S». A causa del metamorfismo regional progresivo se pueden formar magmas granodioríticos-graníticos por anatexia en partes de la corteza intracontinental conteniendo, entre otros elementos metálicos, Sn y W. Aquí hay que preguntarse, si los contenidos de Sn y W son los normales en rocas sedimentarias (pizarras 2 ppm, areniscas 1-2 ppm, calizas 0,5

ppm) o si la preconcentración de estos elementos, p. e. en yacimientos estratiformes (como los en estratos sedimentarios del Paleozoico Inferior), tienen cierta importancia para la formación de granitos anatécicos mineralizados. Durante la diferenciación del magma granítico por cristalización fraccionada los elementos incompatibles (p. e. Sn, W, Ta, Nb, F, Li, etc.) se concentran en el fundido restante. Este fundido restante forma después los depósitos de Sn y W en la zona de la cúpula plutónica y del contacto intrusivo con la roca encajante.

En su mayoría los depósitos de Sn (exclusiva o predominantemente) están asociados a rocas graníticas del tipo «I». Los procesos magmáticos (cristalización fraccionada, diferenciación del magma) son los mismos. Característico para los magmas relacionados con zonas subducidas es una influencia mayor del magmatismo del manto (una entremezcla de magmas procedentes del manto) y de la corteza oceánica sumergida anatécica (rocas magmáticas básicas y sedimentarias del mar profundo ricas en metales). En la zona más interior de arcos principales aparecen también depósitos de Sn y W relacionados con granitos del tipo «S» lo que hace suponer que no es imposible que un magma granítico del tipo «I» esté contaminado por rocas sedimentarias durante su emplazamiento en niveles medios y superiores de la corteza intracontinental.

También es difícil, si no se encuentran ofiolitas (representando restos de una corteza oceánica), diferenciar claramente en orógenos los procesos de colisión intracontinental de los de una colisión pericontinental. Y como siempre habría que considerar que los modelos sólo son intentos de hacer un poco más comprensible los procesos tan complejos de la naturaleza.

Interesante desde el punto de vista de la búsqueda de nuevos yacimientos de Sn y W son las partes más diferenciadas de macizos graníticos, y sus apófisis asociadas, de granitos orogénicos relacionados con fases tectónicas relativamente tardías. Cuando la ero-

sión no llega a descubrir el techo plutónico habrá que orientarse hacia criterios que hacen suponer que existe un plutón mineralizado debajo de la corteza metasedimentaria. En este caso puede ayudar fijarse en zonas de alteración postmagmática y greisenización, en anomalías de contenidos elevados de elementos de traza (p. e. Sn, W, Li, F, Rb, Be y Ga) en las rocas de la cobertera, en fenómenos de zonación de mineralizaciones de sulfuros y p. e. en la agrupación lineal de depósitos conocidos. Con respecto a la aplicación de métodos geofísicos de prospección hay que mencionar que parece que granitos mineralizados tienen por término medio contenidos un poco más elevados en U comparado con granitos no mineralizados (YEATES *et al.*, 1982). En algunos casos puede ayudar también la diferencia de gravedad entre rocas plutónicas y sedimentarias.

PRODUCCION Y RESERVAS DE ESTAÑO Y WOLFRAMIO

En el SE de Asia se obtienen dos tercios de estaño mundial en cientos de yacimientos secundarios (placeres) y en algunas explotaciones subterráneas. De esta provincia de Sn forman parte el S de China, el S de Tailandia, la Península de Malasia y las islas indonesias de Bangka, Billiton y Singkep. Aparte de esta región sólo Bolivia y Brasil tienen cierta importancia, sin contar Europa.

En Malasia, que produjo ya en 1970 un 39,6 por ciento del Sn extraído mundial (39,6% = 73.800 t, en 1984: 41.300 t), la minería y la fundición de Sn es la industria básica de la economía nacional. En grandes depósitos secundarios se trabaja con dragas flotantes y en depósitos menores con bombas de grava. En primer lugar se llevó en concentrado a fundiciones y refinerías en Europa, pero ahora existen importantes fundiciones locales en Butterworth, Penang y Bangka donde se prepara la mayoría de los concentrados de la zona. En 1981 la produc-

ción minera de Malasia, Tailandia e Indonesia fue unas 127.000 toneladas de concentrados de Sn (93.900 t en 1984). Actualmente más de la mitad (55 %) de la producción minera mundial de Sn viene de estos países. Lo mismo se aplica a la producción metalúrgica. En Malasia más del 50 por ciento de la producción nacional de Sn procede de explotaciones con bombas de grava, un tercio de gravas flotantes y todavía un 5 por ciento de «dulangeros» o bateadores. Por los contenidos muy bajos (uno por mil) y los costos crecientes de producción, las explotaciones pequeñas y medias a cielo abierto se encuentran muchas veces en el límite de rentabilidad. En 1982 aproximadamente 28.000 personas (40.000 en 1978) tenían trabajo en la minería de Sn de Malasia (GÄRTNER, 1984).

En el mismo año trabajaron en Tailandia más o menos 38.000 personas (74.000 en 1978) en la explotación de Sn. Un ochenta por ciento de los ingresos nacionales de materias primas corresponden al estaño. Indonesia es el segundo país productor mundial de estaño. Últimamente se nota un cambio de actividades de las zonas de explotación de «on shore» hacia las zonas «off shore».

Las minas de Sn de Bolivia se encuentran en el interior del país a unos 3.000 o 6000 metros de altitud. El clima hostil, transporte difícil y la falta de carburante son los problemas más grandes aparte de la paragénesis compleja de minerales en los filones irregulares y estrechos de Sn. Las minas más importantes son las de Catavi (Llallagua), Coquiri y Huanuni. Por los costos altos de explotación Bolivia no puede compararse con el SE de Asia. Pero en el hemisferio occidental era el productor más importante hasta 1983 cuando se produjo en Bolivia el 14 por ciento (25.278 t) de la producción mundial. Desde 1984 Brasil ocupa (con Bolivia) el cuarto puesto de los países productores de Sn (18.580 t = 11 % de la producción mundial).

En Africa Nigeria y la R. S. A. son los

países más importantes en la producción de Sn (3,2 y 1,3 % de la producción mundial de Sn en 1984). La temporada seca causa problemas en la explotación de placeres de casiterita, sobre todo en Nigeria. El centro minero de Sn de Nigeria se encuentra, como ya se ha mencionado, en el NE del país (en el Jos Plateau). Zaire, como también Nigeria, llegaron a tener importancia durante la Segunda Guerra Mundial cuando los japoneses ocuparon las minas del SE de Asia.

Hasta 1930 la Unión Soviética no tenía una producción propia de Sn. Después se desarrollaron yacimientos en las zonas de la frontera oriental y en el NE del país. Los yacimientos de Transbaikalia se encuentran en el N de Vladivostok. Los del NE están cerca de Verchoyansk y Pevec. Hoy en día, la Unión Soviética puede competir como productor con Africa y Bolivia o Brasilia. La producción española de Sn disminuyó en los últimos años hasta llegar a 420 toneladas en 1984 (0,25 % de la producción mundial).

En el estudio del «Club of Rome» de 1982 se puede leer que las reservas de Sn eran suficientes para los próximos 41 años (en 1972 se habló de 15 años). No hay que olvidarse (con optimismo) que el reciclaje de metales (más o menos un 6 por ciento de Sn se recicla) hace disminuir con menor rapidez a las reservas naturales.

En 1977 las reservas mundiales seguras y probables de W se estimaron en unos 2,03 millones de toneladas, las reservas potenciales en unos 3,4 millones de toneladas. Estas reservas eran suficientes para los próximos 53 años. El 80 por ciento de las reservas se reparten entre China (donde se encuentran más de la mitad de las reservas mundiales), Canadá (12 %), Rusia (11 %), Corea (6 %) y los E. E. U. U. (5 %). Al contrario de Sn, los países subdesarrollados disponen sólo del 12 al 15 por ciento por las reservas mundiales de W. En los países industriales occidentales se encuentran un cuarto de las reservas mundiales. Hace 19 años, en 1967,

las reservas mundiales seguras y probables de W se calcularon en unos 1,2 millones de toneladas. Mucha importancia para el aumento de las reservas corresponde al descubrimiento de nuevos depósitos de scheelita del tipo «skarn» y sobre todo del tipo estratiforme volcano-sedimentario. Dos tercios de las reservas mundiales son de estos tipos. El reciclaje de W en los países industriales occidentales ascendió al 25 por ciento en los últimos años.

SITUACION EN EL MERCADO DE ESTAÑO

Controles de exportación y variaciones en el precio (hasta la suspensión de la cotización oficial en Bolsa) caracterizan últimamente el mercado y la industria del estaño. En 1985 pareció que el precio fue más estable con una tendencia (ligera) de subida.

Para estabilizar los precios y la situación en el mercado se llegó a acuerdos internacionales y se formó el Consejo Internacional de Estaño en los años 70. Bolivia (como cuarto productor), los E. E. U. U. (como el mayor consumidor) y la U. R. S. S. no entraron. Un medio fue fijar los límites de exportación de Sn, siempre para un período de 3 meses, por lo que el contrabando de Sn en el SE de Asia (en la frontera de Tailandia y Malasia) se reactivó. La política comercial de reservas estratégicas de los E. E. U. U. influye en la situación del mercado. En 1981 y 1982 se vendieron de estas reservas más de 9.000 toneladas de estaño (se habla también de unas 30.000 t). Pero también los países productores, como Malasia, pueden manipular el precio, como lo hicieron más o menos en la misma época.

En 1983, después de largas negociaciones, se fundó la *TINPEC* («Association of Tin Producing Countries»). Los fundadores fueron Malasia, Tailandia e Indonesia. Más tarde entraron también Bolivia, Zaire, Australia y Nigeria. Como objetivos tiene esta asociación el establecer el precio (¿como la

OPEP?), la investigación y el desarrollo de la minería de Sn y una estrategia común de la comercialización del Sn producido. Pensando en los problemas actuales de una cotización «justa» hay que tener presente que tres cuartos de la producción mundial y dos

tercios de las reservas mundiales pertenecen a los países subdesarrollados los que sólo consumen un 10 por ciento del estaño producido. A base de estos hechos se ve bien que los países consumidores dependen en este caso de los países subdesarrollados.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDERSON, G. & KLEVEBRING, B.-I. (1978). World Resources. *Walter de Gruyter Berlin*, 248 pp.
- B. G. R. & D. I. W. (1977). Untersuchungen über Angebot und Nachfrage mineralischer Rohstoffe. IX: Wolfram. 194 pp., Hannover.
- BRIXEL, C. (1985). Gesamtwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der Mineralrohstoffe —Exploration und Explorationspolitik der Entwicklungsländer. —*Nomos Verlagsgesellschaft Baden-Baden*, 345 pp.
- CHADWICK, J. R. (ed.). Worldwide coal and hard rock mining survey. —*International Mining*, August 1985, 80-175.
- COURRIOUX, G., CUENIN, O., GAGNY, Cl., GOUANVIC, Y., MARCONNET, B., PIERREL, L. & ADAM, D. (1984). Origine de la répartition des domaines à étain ou à tungstène dominant dans le Nord-Ouest de la péninsule ibérique. —*Z. dt. geol. Ges.* 135: 335-344.
- GÄRTNER, D. (1984). Der Zinnbergbau in Südostasien unter besonderer Berücksichtigung des Kleinbergbaus. —*Erzmetall* 37: 209-213.
- GRANT, J. N., HALLS, C., SHEPPARD, S. M. F. & AVILA, W. (1980). Evolution of the porphyry tin deposits of Bolivia. —Granitic Magmatism and related mineralization, *Min. Geol. Spec. Issue* 8: 151-174.
- HUNTER, D. R. (1976). Some enigmas of the Bushveld Complex. —*Econ. Geol.* 71: 229-248.
- JONES, M. T., REED, B. L., DOE, B. R. & LANPHERE, M. A. (1977). Age of tin mineralization and plumbotectonics, Belitung, Indonesia. —*Econ. Geol.* 72: 745-752.
- KLOOSTERMAN, J. B. (1969). A two-fold analogy between the Nigerian and Amazonian tin provinces. —En: Fox, W. (ed.), *A Second Conf. on Tin* 2: 197-222.
- MATSUDA, T. & UYEDA, S. (1971). On the Pacific-type orogeny and its model-extension of the paired belts concept and possible origin of marginal sea. —*Tectonophysics* 11: 5-27.
- MAUCHER, A. (1976). The strata-bound cinnabar-stibnite-scheelite deposits. En: Wolf, K. (ed.), *Handbook of stratibound and stratiform ore deposits* 7: 477-503, Elsevier, Amsterdam.
- MITCHELL, A. H. G. (1974). Southwest England granites: magmatism and tin mineralization in a post-collision tectonic setting. *Trans. Inst. Min. Metall.* 83: 95-97.
- MITCHELL, A. H. G. (1977). Tectonic settings for emplacement of Southeast Asian tin granites. —*Bull. Geol. Soc. Malaysia* 9: 123-140.
- MITCHELL, A. H. G. & GARSON, M. S. (1981). Mineral Deposits and Global Tectonic Settings. —*Academic Press Geol. Series London*, 405 pp.
- PITCHER, W. S. (1979). The nature, ascent and emplacement of granitic magmas. —*J. Geol. Soc. Lond.* 136: 627-662.
- PLIMER, I. R. (1986). The anatomy of a tin granite. —Abstr. Band 76. *Jahrestagung Geologische Vereinigung*, 57-58, Giessen.
- PRIEM, H. N. A., BOELRIJK, N. A., HEBEDA, E. H., VERDURMEN, E. A., VERSCHURE, R. H. & BON, E. H. (1971). Granitic complexes and associated tin mineralizations of «Grenville» age in Rondonia, Western Brazil. —*Geol. Soc. Am. Bull.* 82: 1.095-1.102.
- SAWKINS, F. J. (1984). Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. *Springer-Verlag Berlin*, 325 pp.
- SILLITOE, R. H. (1976). Andean mineralization: a model for the metallogeny of convergent plate margins. —En: Strong, D. F. (ed.), *Metallogeny and Plate Tectonics, Geol. Assoc. Can. Spec. Paper* 14: 59-100.
- SILLITOE, R. H., HALLS, C. & GRANT, N. J. (1975). Porphyry tin deposits in Bolivia. —*Econ. Geol.* 70: 913-927.
- SILLITOE, R. H. (1981). Ore deposits in Cordilleran and island-arc settings. —*Ariz. Geol. Soc. Dig.* 14: 49-70.
- STEMPROK, M. (1981). Tin and tungsten deposits of the West Central European Variscides. —*Proc. 5th IAGOD Symp. Utah*: 495-512.
- TURNER, D. C. & WEBB, P. K. (1974). The Daura igneous complex, N. Nigeria: a link between the Younger Granite district of Nigeria and S. Niger. —*J. Geol. Soc. Lond.* 130: 71-77.
- YEATES, A. N., WYATT, B. W. & TUCKER, D. H. (1982). Application of gamma-ray spectrometry to prospecting for tin and tungsten granites, particularly within the Lachland Fold Belt. —*Econ. Geol.* 77: 1.725-1.738.
- P. D.: Conferencia pronunciada el 22 de Julio de 1985 en el Encuentro sobre «Las explotaciones mineras: menas metálicas (estaño y wolframio), lignitos y mineralizaciones radioactivas» de la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL MENENDEZ PELAYO, La Coruña.

Recibido, 1-I-90
Aceptado, 30-III-90