

LOS YACIMIENTOS PERIBATOLÍTICOS DE URANIO ENCAJADOS EN METASEDIMENTOS: COMPARACIÓN CON LOS DEL ÁREA DE ACEHUCHE-CECLAVÍN (PROVINCIA DE CÁCERES)

L. PÉREZ DEL VILLAR*, C. MORO**

RESUMEN.— En este trabajo se resumen las características geológicas y metalogénicas de los yacimientos peribatolíticos de U encajados en rocas metasedimentarias del Macizo Hercínico Europeo y de América del Norte. Estas mineralizaciones se comparan con las de la zona de Acehuche-Ceclavín y se deducen las diferencias y semejanzas entre ellas. La extraordinaria semejanza existente entre las mineralizaciones estudiadas de la provincia de Cáceres y las de Salamanca, permite establecer la correlación temporal entre ambas, así como entre determinados aspectos genéticos.

ABSTRACT.— The geological and metallogenic characteristics of the peribatholithic uranium deposits in metasediments of the European Hercynian belt and North-America are summarized in this paper. They are compared with the mineralizations of the Acehuche-Ceclavin area and their differences and similarities are established. The remarkable similarities existing among the studied mineralizations of the province of Caceres and the ones from Salamanca allow the establishment of their the correlation in time, as well as certain genetic aspects among them.

1. INTRODUCCIÓN

Las mineralizaciones uraníferas, económicas o no, encajadas en rocas metasedimentarias presentan unas características geológicas, mineralógicas y, en general, de edad muy semejantes. Sin embargo, la edad de las rocas encajantes, y la de las intrusiones graníticas próximas a ellas difieren de una zona a otra.

* Departamento de Tecnología Geológica del C.I.E.M.A.T. (Madrid).

** Área de Cristalografía y Mineralogía del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.

Entre los indicios y yacimientos de este tipo existentes en la parte española de la Península Ibérica (Fig. 1), merecen citarse los siguientes:

En la provincia de Badajoz, los yacimientos del Lobo y el Pedregal, situados al S de don Benito, junto al batolito de la Haba, se encuentran en metapelitas grafitosas, atribuidas al Ordovícico Superior-Silúrico y afectadas por metamorfismo de contacto.

En el borde N. del batolito de Albuquerque se sitúan los indicios de las Cañas y Argaminos, encajados en pizarras del C.E.G. y afectadas también por metamorfismo de contacto.

En la provincia de Cáceres, además de los indicios y pequeños yacimientos de Acehuche-Ceclavín, destacan los situados en el borde E del batolito de Albalá (Torremocha-Torrequemada), en el borde S del batolito de Araya (Arroyo de la Luz), y al S de los granitos del Macizo Central (La Gargüera). Todos ellos están encajados en materiales del C.E.G., independientemente de que estén o no afectados por metamorfismo de contacto.

En la provincia de Toledo merecen citarse las mineralizaciones de Ojaranzos, junto a Puente del Arzobispo.

En la provincia de Salamanca destacan los indicios y yacimientos de las zonas de Alameda de Gardón, Villar de la Yegua (mina Esperanza), Ribera de Azaba, Gallegos de Argañán, Río Águeda (mina Fe), Villavieja de Yeltes (mina Caridad) y las mineralizaciones de Retortillo y Pedro Alonso. Todas ellas, salvo las mineralizaciones de Retortillo, que se encuentran en el Ordovícico Superior-Silúrico, en materiales del C.E.G., próximos a intrusiones graníticas, afectados o no por metamorfismo de contacto.

Todos estos indicios y yacimientos fueron descubiertos por la JEN hace más de 25 años, por lo que han sido objeto de intensos trabajos de exploración e investigación, y algunos han sido o están siendo explotados.

Los que mejor se conocen desde el punto de vista mineralógico y metalogénico son los correspondientes a la provincia de Salamanca (ARRIBAS, 1960, 1962a, 1970, 1975, 1985 y 1987; FERNÁNDEZ POLO, 1965 y 1970; ARRIBAS et al., 1983 y 1984; MARTÍN IZARD y ARRIBAS, 1984; MANGAS y ARRIBAS, 1984; MARTÍN IZARD, 1985; MARTÍN CALVO et al., 1988) y a la de Cáceres (PÉREZ DEL VILLAR, 1988; PÉREZ DEL VILLAR y MORO a y b, en este vol.).

Por lo que se refiere a los yacimientos de Portugal, merecen destacarse, entre otros, el yacimiento de Nisa, situado más al O y en el mismo contexto geológico que los indicios de las Cañas y Argaminos, y los de Azere y Nuestra Señora das Fontes, todos ellos encajados en el C.E.G., y que fueron intensamente estudiados durante la década de los años 60 (LOBATO y FERRAO, 1959; MARTINS y LIMPO DE FARIA, 1959; LIMPO DE FARIA y MESQUITA, 1962; LIMPO DE FARIA, 1966; LENCASTRE y VAIRINHO, 1970; FERREIRA, 1971; PEINADOR, 1971).

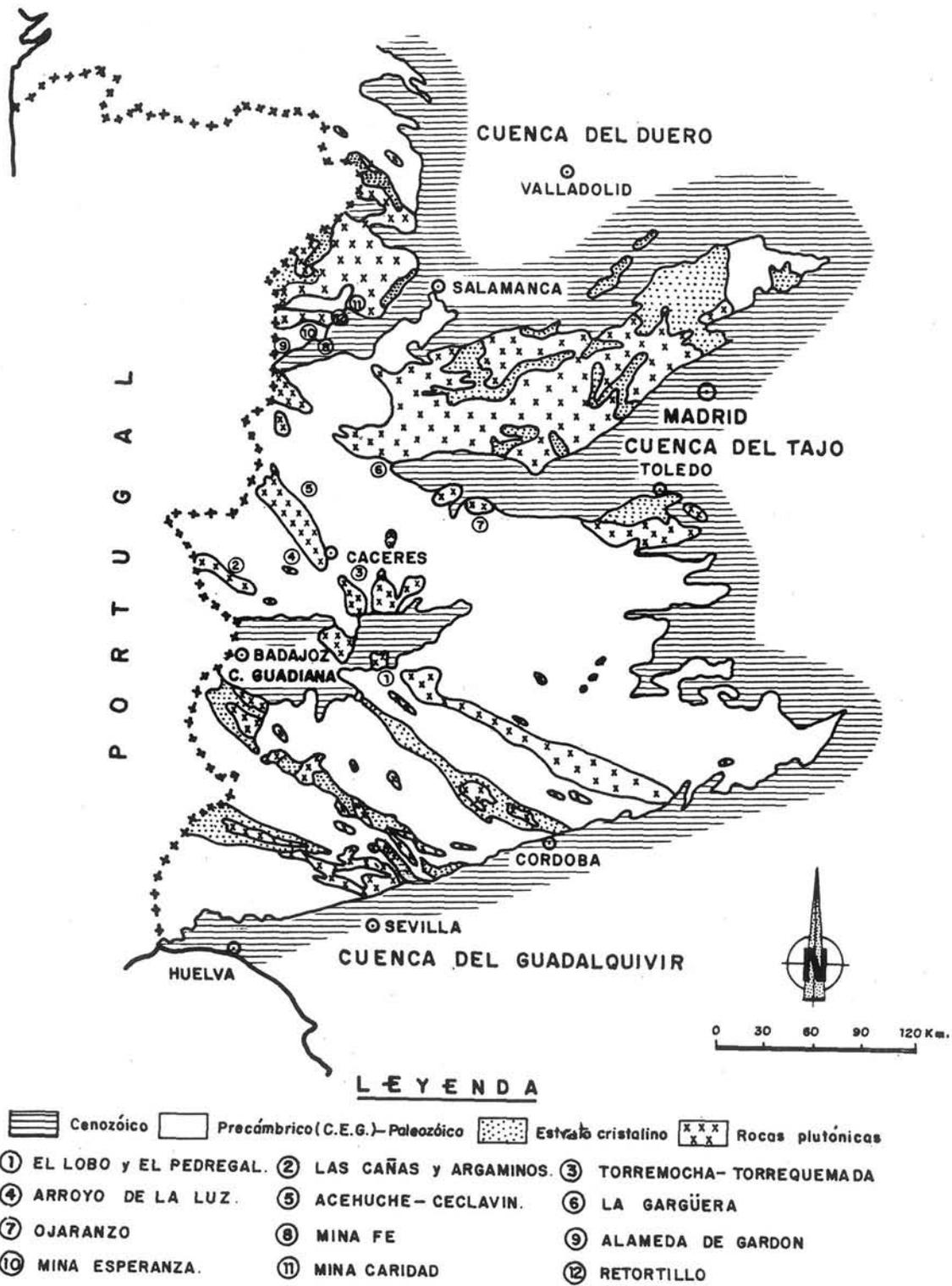


Figura 1. Situación de los yacimientos e indicios de uranio más importantes encajados en el C.E.G. o Paleozoico del dominio hercínico español.

En el SO de Inglaterra, en los metasedimentos encajantes del batolito granítico de Cornubian, existe una gran cantidad de indicios y pequeños yacimientos de U, cuyas características han sido sintetizadas por BALL et al. (1982).

En Francia, en las regiones de La Vendée y Sur de la Bretaña, se localizan varios yacimientos de U, peri a extrabatolíticos, situados al N de los macizos leucograníticos de Mortagne y Guérande, respectivamente.

En la región de La Vendée los hay que encajan a uno y otro lado del contacto granito roca encajante (Chardon y l'Ecarpière), mientras que otros se localizan exclusivamente en el cinturón metamórfico que rodea al macizo granítico de Mortagne (Retail, Baconniere y Le Prée). En el Sur de Bretaña, el único yacimiento localizado hasta el momento, Penaran, es extrabatolítico y situado en los materiales metamórficos encajantes del leucogranito de Guérande.

Todos ellos han sido estudiados en detalle por CATHELINEAU (1982), y constituyen, hasta el momento, las únicas manifestaciones uraníferas peribatolíticas encontradas en Francia.

Por último, en EE.UU., en las zonas del Front Range (Colorado) y Spokane (Washington), existen indicios y yacimientos de U que, encajados en ambientes geológicos semejantes, han sido estudiados por RICH y BARABAS (1982), NELSON y GALLAGHER (1982), WALLACE (1982), RUHLAND (1982), ROBBINS (1978) y LUDWIG et al. (1981), entre otros autores.

2. LOS YACIMIENTOS E INDICIOS ESPAÑOLES DE URANIO EN LA PROVINCIA DE SALAMANCA

De acuerdo con ARRIBAS (1985) y MARTÍN IZARD (1985), las características fundamentales de los yacimientos de U de esta provincia, obtenidas en su mayor parte de muestras procedentes de los yacimientos Fe y Alameda de Gardón, se pueden resumir de la siguiente manera:

En cuanto al emplazamiento, todas las mineralizaciones se localizan en los tramos de pizarras ampelíticas del C.E.G., situadas en las proximidades de los granitos, a una distancia máxima de unos 4 Km (mina Fe) y que pueden o no estar afectadas por el metamorfismo térmico.

Por lo que se refiere al control tectónico, las mineralizaciones se encuentran en zonas de fractura desarrolladas en los flancos inversos o en las zonas de charnela de los pliegues de la primera fase hercínica.

Las direcciones más frecuentes de dichas fracturas y de las brechas asociadas a ellas son N160E, N20E y N120E, las cuales coinciden, respectivamente, con las estructuras de la primera, segunda y tercera fases de deformación hercínica.

Las brechas tienen potencias variables, han sido reactivadas repetidas veces a lo largo de su historia geológica y, por sus características, son asimilables a las que se originan durante los procesos sísmicos actuales. El buzamiento de las fracturas varía entre subvertical y horizontal, oscilando los valores más frecuentes entre 40 y 50°.

Respecto a la mineralización, ARRIBAS (1985) llega a la conclusión de que se debió formar en etapas sucesivas, acompañadas por brechificaciones cada vez menos intensas. Así se explicaría la existencia de brechas con fragmentos de pechblenda, y la disposición varvada que ocasionalmente presentan los minerales de la paragénesis uranífera, característica que es propia de un depósito en régimen de flujo tranquilo, y desarrollada en las zonas subhorizontales de dichas fracturas.

La paragénesis está formada por los siguientes minerales: adularia, pirita-marcasita, calcopirita, esfalerita, galena, pechblenda, coffinita y carbonatos.

Por lo que se refiere a los caracteres geoquímicos de las rocas encajantes, ARRIBAS et al. (1984) y MARTÍN IZARD (1985) llegan a las siguientes conclusiones:

— Las pizarras ricas en materia orgánica presentan contenidos anormalmente altos en U, Cu, Ni y Zn.

— El enriquecimiento en U de las pizarras habría sido singenético y debido a la intervención de organismos planctónicos, las cuales extrajeron el U del agua del mar y lo fijaron en sus estructuras celulares.

— El U habría permanecido en los sedimentos gracias a las condiciones anóxicas del medio, las que impidieron la destrucción de los complejos formados entre la materia orgánica y el U.

— De acuerdo con todo ello, las pizarras ricas en C org. habrían sido las rocas fuente de los elementos concentrados posteriormente en los yacimientos.

— Además, los autores citados sugieren la posibilidad de un proceso de pre-concentración a favor de las charnelas y flancos inversos de los pliegues hercínicos.

En relación con los mecanismos de lixiviación y transporte del U, ARRIBAS (1985) invoca el de un flujo hidrotermal generado por un aumento del gradiente geotérmico como consecuencia de los procesos tectónicos de fracturación, y aplica un modelo semejante al del bombeo sísmico de SIBSON et al. (1975), como motor del flujo hidrotermal intermitente.

Con respecto a las características físico-químicas de los fluidos hidrotermales, MANGAS y ARRIBAS (1984), a partir de las inclusiones fluidas de los minerales de la ganga de mina Fe, llegaron a la conclusión de que los fluidos fueron soluciones acuosas cloruradas, caracterizadas por un aumento progresivo de la salinidad y descenso de la temperatura de homogeneización, cuyos valores oscilan entre 0 y 25% equivalente en peso de ClNa y 230° y 70° C respectivamente. La

presión de homogeneización obtenida por dichos autores fue del orden de las 20 atmósferas. De acuerdo con ello, dichos autores sugieren que el yacimiento se debió formar a temperaturas comprendidas entre los valores citados anteriormente y una presión mínima de 20 atmósferas, propia de ambientes superficiales y posiblemente por una mezcla entre las soluciones ascendentes y aguas vadasas.

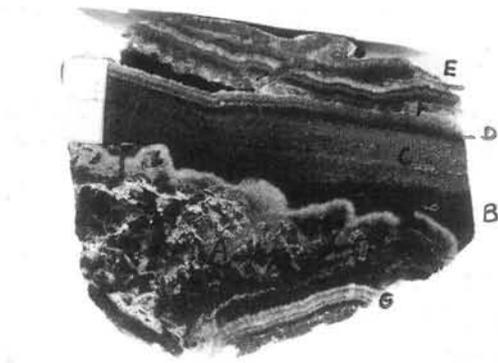
En cuanto a la edad de estas mineralizaciones, LUDWIG (1980), obtuvo, a partir de una muestra de pechblenda de la mina Fe, una edad comprendida entre 37 y 57 M.a., mientras que las encontradas por SAINT-ANDRE (1986), a partir de muestras de la misma mina y de la zona de Alameda de Gardón, han sido de 55 y 36 M.a., siendo el valor más frecuente el segundo. Por ello, ARRIBAS (1985) y MARTÍN IZARD (1985) aceptan como más probable la de 36 M.a., la cual coincide con la formación y relleno de la cuenca de Ciudad Rodrigo y con la fase pirenaica de la orogenia alpina.

Por último, la investigación realizada recientemente por ARRIBAS (com. personal) en los carbonatos que acompañan a la pechblenda de la mina Fe muestra que, para los primeros carbonatos en depositarse, los valores $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ son negativos y propios de la materia orgánica, mientras que, para los carbonatos más tardíos, dichos valores se hacen menos negativos y, por lo tanto, más próximos a los de los carbonatos de origen inorgánico.

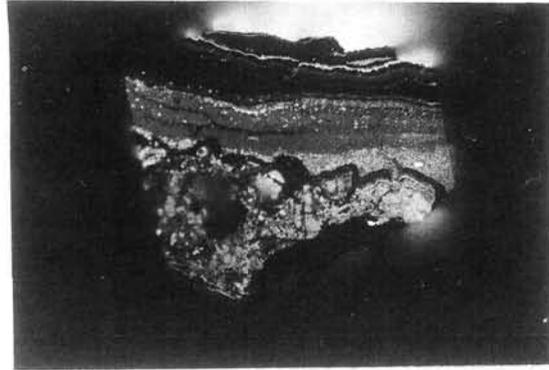
Por otra parte, MARTÍN CALVO et al. (1988) estudiaron muestras procedentes de la mina Fe y establecieron tres episodios mineralizantes precedidos por sendas fases de brechificación, de los cuales los dos primeros fueron los más importantes. La pechblenda I tiene un color gris oscuro y reflectividad baja, lo que es debido, probablemente, a su mayor contenido en impurezas. Se encuentra fracturada y los cantos están festoneados por la pechblenda de segunda generación, de color gris acerdo, mayor reflectividad y con textura coliforme. La tercera generación rellena las microfisuras que afectan a ambas.

Por lo que se refiere a la mineralización de Retortillo, las observaciones realizadas por uno de los autores (PÉREZ DEL VILLAR, 1988), a partir de muestras de sondeos, han puesto de manifiesto que la mineralización primaria de U se dispone en pequeñas fracturas verticales a subverticales, más o menos paralelas a la esquistosidad de flujo (S_1), y particularmente en fracturas subhorizontales abiertas.

Del estudio de las muestras se llega a la conclusión siguiente: con posterioridad o simultáneamente al desarrollo de las fracturas subhorizontales, éstas se reabrieron para dar paso a la mineralización de pirita-marcasita, pechblenda-coffinita y carbonatos, también con estructura bandeada. La mineralización forma filoncillos simétricamente zonados con respecto a la composición, y disimétricos en cuanto a su desarrollo, siendo en la salbanda del muro donde aquélla está más desarrollada. El relleno total de las fracturas se realizó mediante calcita con tex-



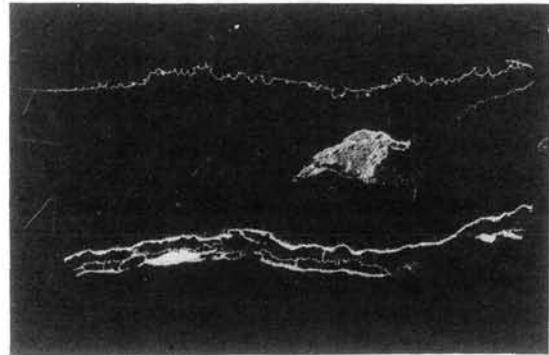
a



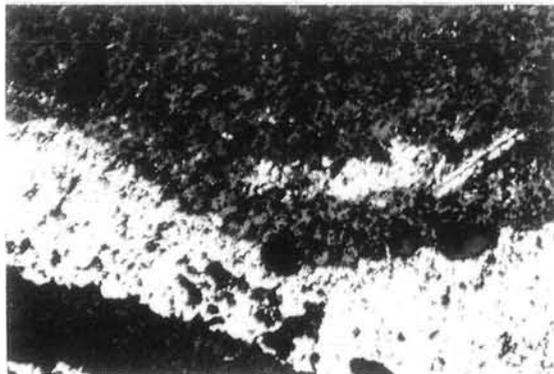
b



c



d



e



f

Figura 2

Figura 2. (Yacimiento de Retortillo). a) Muestra del relleno de una fractura subhorizontal abierta y tomada del testigo de un sondeo. Los rasgos texto-estructurales de esta muestra permiten establecer la siguiente secuencia de cristalización: la zona A está constituida por fragmentos de pizarras impregnados por minerales de U y cementados por carbonatos con textura crustiforme. A continuación se depositó el nivel B, constituido por pechblenda y carbonatos, adaptándose a la morfología de la zona A. Seguidamente se formó el nivel C, integrado esencialmente por carbonatos con textura varvada. El final de este episodio carbonatado coincide con otro D, más rico en minerales de U. A la vez, y probablemente desde el techo de la fractura, cristalizarían los carbonatos crustiformes, con algo de U, de la zona E. Por último, cristalizarían los carbonatos de la zona F que, con crecimiento crustiforme, centrípeto y opuesto, sellarían casi totalmente la fractura. La zona G podría corresponderse con la E, pero con menor desarrollo. c y d) Relleno de otra fractura subhorizontal con características texto-estructurales semejantes a las descritas para la muestra anterior. La única diferencia consiste en la presencia de sulfuros de Fe en las zonas más externas del relleno. La autorradiografía muestra, en la parte central, un canto de pizarra impregnado por minerales de U y, en los laterales, la disposición de estos últimos sobre las bandas de sulfuros de Fe. Obsérvese que el conjunto formado por los sulfuros de Fe y minerales de U está más desarrollado en el lateral inferior que en el superior. e y f) Aspecto microscópico del lateral inferior de la muestra anterior. Obsérvese que la lámina de pechblenda está más desarrollada sobre los nodos de la banda de sulfuros, la cual está constituida por pirita y marcasita. Después del depósito de la pechblenda precipitaron los carbonatos. Luz reflejada paralela y entre nícoles cruzados, $\times 50$.

tura fibroso-radiada y crustiforme, como es propio de las cristalizaciones en espacios abiertos (Fig. 2).

Las características texturales y ópticas de la pechblenda, así como las de los carbonatos que la acompañan, permiten correlacionar este episodio mineralizador con el segundo de mina Fe (MARTÍN-CALVO et al., 1988) y con el observado en las mineralizaciones de Acehuche-Ceclavín (PÉREZ DEL VILLAR, 1988 y PÉREZ DEL VILLAR y MORO a, en este vol.).

3. LOS YACIMIENTOS E INDICIOS DE URANIO EN EL C.E.G. DE PORTUGAL

De las mineralizaciones uraníferas portuguesas no existen datos tan precisos como en los casos anteriormente descritos. No obstante, LIMPO DE FARIA (1966) sintetizó las características de este tipo de yacimientos y los subdividió en YACIMIENTOS DE DISEMINACIÓN (Nisa y Azere), en los que la mineralización es superficial y tiene características netamente supergénicas, y FILONIANOS EPITERMALES (Tarabau, Cuhna, Baixa, Matos de Povoá, Povoá das Meadas, etc.), que constituyen la prolongación de las estructuras uraníferas intragraníticas en el C.E.G., y presentan una zona superficial idéntica a la de los primeros. La presencia de pechblenda en las zonas más profundas de ambos tipos de yacimientos ha sido interpretada por un proceso de cementación, en los primeros, y otro epitermal, en los segundos.

Respecto a la edad, y apoyándose en la obtenida para los yacimientos intragraníticos (80 M.a.), los yacimientos encajados en las pizarras del C.E.G. son considerados como coetáneos o posteriores a aquéllos. Incluso se llega a admitir que pueden ser de formación reciente.

En cuanto a la génesis, LIMPO DE FARIA admite la hipótesis «per descensum» de FERNÁNDEZ POLO (1965) para los primeros, mientras que los segundos los interpreta como manifestaciones peribatolíticas de las mineralizaciones intrabatolíticas.

4. LOS YACIMIENTOS E INDICIOS URANÍFEROS DEL SO DE INGLATERRA

La mayor parte de los indicios uraníferos del SO de Inglaterra encajan en rocas metasedimentarias devónicas, Formación Killas, en las proximidades del batolito granítico hercínico de Cornubian (Fig. 3).

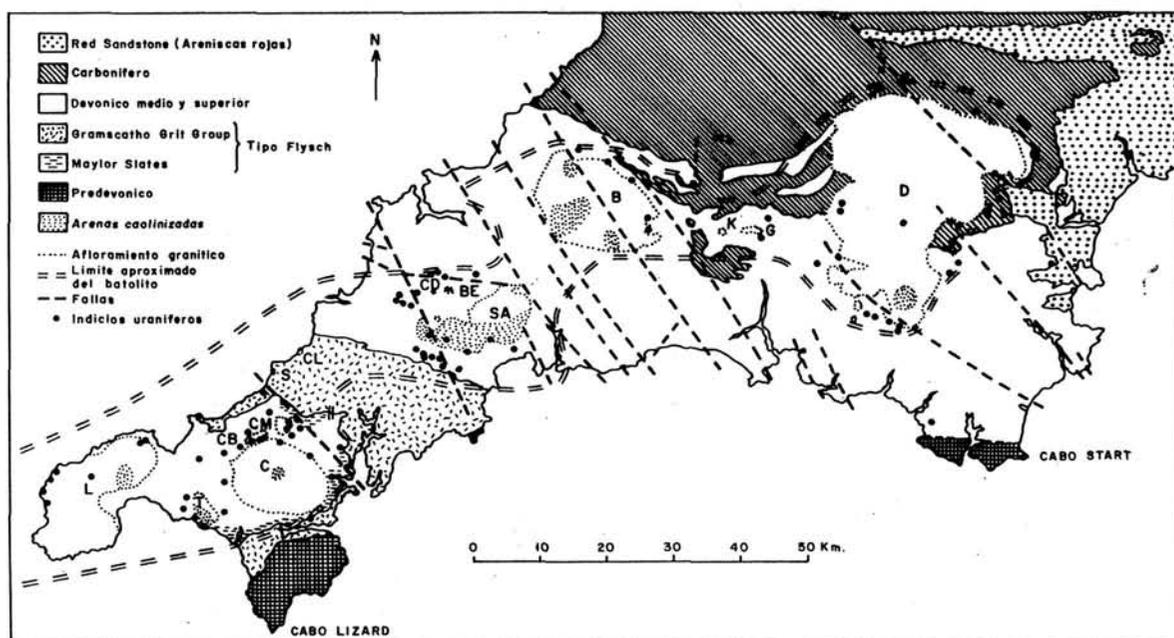


Figura 3. Mapa geológico generalizado del SO de Inglaterra que representa el batolito de Cornubian y sus límites deducidos. AFLORAMIENTOS GRANÍTICOS: L-Land's End; T-Tregonning-Godolphin, C-Carnmenellis; CB-Carn Brea; Cm-Carn Marth; S-St. Agnes; CL-Cligga; CD-Castle and Dinas; BE-Belowda; SA-St. Austell; B-Bodmin; K-Kit Hill; G-Gunnislake; D-Dartmoor (in BALL et al. 1982).

Desde el punto de vista litológico los sedimentos devónicos están constituidos esencialmente por pizarras, en las que se intercalan niveles de materiales volcanoclásticos y rocas calcosilicatadas, y cuyos contenidos en U no exceden, como término medio, de 4 ppm.

Estos materiales están afectados por una fase de metamorfismo regional de bajo grado y, posteriormente, por otro, térmico, inducido por la intrusión granítica citada, que es fértil en U.

Las mineralizaciones de U presentan un control estructural neto, y se emplazaron en diferentes familias de fractura con dirección NS, NNE, NNO y E-O, las cuales fueron mineralizadas, primero por cuarzo, casiterita y wolframita, y después de la brechificación y hematización de esta paragénesis, por pechblenda.

Aunque la pechblenda suele coexistir con sulfoarseniuros de Ni y Co, sulfuros de Zn, Fe, Pb y Cu, cuarzo, fluorita y raramente siderita, las relaciones texturales indican que aquélla es paragenética, solamente, con los sulfuros B.P.G.C., cuarzo, fluorita y, ocasionalmente, con los carbonatos.

De acuerdo con la gama de edades absolutas obtenidas para las pechblendas de los diferentes indicios, así como por su correlación con los diversos acontecimientos térmicos observados en el área, BALL et al. (1982) concluyeron que el batolito de Cornubian ha actuado, desde que hizo intrusión, como una fuente continua de U. No obstante, y atendiendo a que las edades más frecuentes corres-

ponden al Terciario, y a las relaciones espacio-temporales entre dichas mineralizaciones y la formación de los yacimientos de caolín, los autores sugieren, además, que fue durante el Cenozoico cuando se produjo la mayor reconcentración de U en los metasedimentos devónicos.

El modelo metalogénico que estos autores propone para explicar el origen de aquellas mineralizaciones se resume de la siguiente manera:

a) Caolinización supergénica, durante el Terciario, de las cúpulas graníticas aflorantes.

b) Movilización del U preexistente en el granito como consecuencia de la caolinización de éste.

c) Percolación de las aguas oxidantes y uraníferas, a través del granito, y generación de corrientes convectivas entre éste y las rocas encajantes, debido a las diferencias de calor entre ambas formaciones rocosas (calor radiogénico). Las zonas de carga hidráulica corresponderían a los granitos, elevados topográficamente, y las de descarga a las rocas encajantes, situadas a un nivel topográfico inferior.

d) El U habría sido transportado como complejos de uranilo, a veces carbonatados, produciéndose la precipitación en fractura NO-SE, que fueron las más activas durante la tectónica terciaria. Los agentes reductores habrían sido el Fe^{2+} , S^{2-} y CH_4 , ya que todos están asociados a la pechblenda.

e) Por extrapolación de los datos microtermométricos obtenidos en la esferita, galena, cuarzo, fluorita, que son los minerales que más frecuentemente acompañan a la pechblenda, los autores citados admiten que la precipitación de este último mineral debió tener lugar en un rango de temperatura comprendido entre 50° y 150° C, valores no corregidos para la presión.

5. LOS YACIMIENTOS DE URANIO DE LA VENDEE, EN FRANCIA

La región de La Vendée ofrece una gama completa de yacimientos de U, desde los intrabatolíticos a los extrabatolíticos, relacionados con el macizo leucogranítico hercínico de Mortagne (Fig. 4). CATHELINÉAU (1982), quien los estudia en detalle, los clasifica, por su situación respecto al granito, de la siguiente manera:

- Intrabatolíticos: La Commanderie.
- Peribatolíticos, encajados a uno y otro lado del contacto entre el batolito y las rocas encajantes: Chardon y L'Écapière.
- Inframetamórficos: Retail.

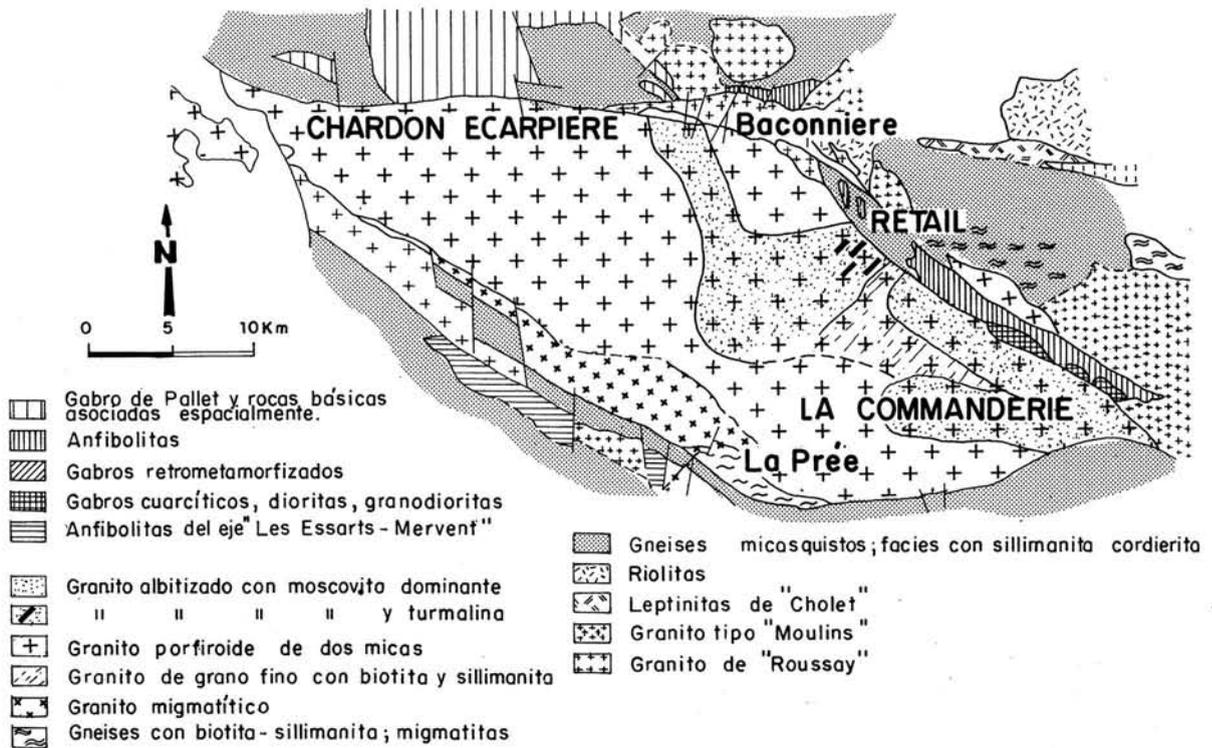


Figura 4. Esquema geológico del macizo de Mortagne y su encajante. Situación de los yacimientos de U intra, peri y extratolíticos. (En CATHELINEAU, 1982).

De todos ellos, aquí sólo se resumen las características más importantes de los yacimiento de Chardon y Retail.

El batolito granítico de Mortagne, situado en la zona blastomilonítica Surarmoricana, es sintectónico y se caracteriza por su zonalidad petrográfica, mineralógica y geoquímica.

Por lo que se refiere al contenido en U de estos granitos, CATHELINEAU (1982) observa, en base a los datos aportados por RENARD (1971), un aumento del fondo geoquímico desde la facies migmatítica hasta la albitizada, en la que el contenido en U puede llegar a ser 20 ppm. Además, mientras que en la primera el U se encuentra fundamentalmente en el circón y la monacita, en la segunda lo está principalmente en forma de uraninita.

Los materiales encajantes del batolito, así como los de los yacimientos de U, son diferentes según la zona de contacto. Así, por el N, donde se encuentran las mineralizaciones de Chardon y L'Ecarpière, el batolito cabalga sobre los materiales epimetamórficos del anticlinorio de Mauges, los cuales, atribuidos al Briovoriense Superior, están constituidos por sericitoesquistos y cloritoesquistos, a veces ricos en grafito y cuarzo. Por el NE, al igual que por el S, donde se encuentra el yacimiento de Retail, el encajante está constituido por gneises y migmatitas con sillimanita.

El contenido medio en U de estos materiales encajantes aumenta desde 2-3 ppm, en los epi-mesozonales, hasta los 4-6 ppm, en los meso-catazonales. En cual-

quier caso, el U está esencialmente en el circón y en la monacita, por lo que se considera singenético. No obstante, no se descarta la posibilidad de un enriquecimiento, en este elemento, de las zonas del encajante más próximas al granito, inducido por los procesos de granitización (CUNEY, 1981).

En el yacimiento de Chardon, los filones mineralizados atraviesan, de S a N, el granito milonitizado, un tramo de rocas básicas (gabro uralitizado), uno de esquistos negros bandeados y, por último, otro de porfiroide, roca con matriz esencialmente cuarzo-filítica, con abundantes ojos de plagioclasa sericitizada, FdK y cuarzo, y cuyo origen es controvertido. Estas bandas están orientadas E-O.

La mineralización de U rellena las zonas de extensión de cizallas N20E-200 y fracturas de tensión subverticales N-S. La apertura de las fracturas estuvo regulada por una fracturación hidráulica, tal y como parece deducirse de la formación de brechas con fragmentos sin rastros de fricción. La mineralización de U sería contemporánea con la brechificación (CATHELINEAU, 1982).

La potencia de los filones varía según la competencia de los materiales que atraviesan, siendo más potentes en los esquistos bandeados y granito sin milonitizar, y desapareciendo en la lámina de gabros alterados.

Los filones uraníferos, en sus zonas intraesquistos, están constituidos por una asociación mineral en la que CATHELINEAU (1982) establece los episodios siguientes:

1º Cuarzo I, con textura en peine, interestratificados, pechblenda esferulítica muy abundante y pirita en cristales idiomorfos. Los dos últimos minerales cristalizaron recurrentemente. Este episodio finalizó con el depósito de una banda pirítica formada por placas y cristales de gran tamaño.

2º Cuarzo II y óxidos de Fe, en esferulitos, coronando las terminaciones idiomorfas del cuarzo II.

3º Dolomita en geodas, marcasita, cuarzo III y goethita. En las geodas de mayor tamaño aparece calcita zonada por variaciones del contenido en Fe y Mn. El episodio carbonatado está muy desarrollado en la zona del filón que encaja en los esquistos, muy poco en la que atraviesa los porfiroides y desaparece totalmente en la zona intragranítica. En esta última se han observado dos episodios de removilización importantes: el primero, con formación de coffinita, marcasita y montmorillonita, y el segundo, de adularia, cuarzo, sulfuros de Fe y productos negros.

En cuanto a la datación de este yacimiento, CATHELINEAU (1982) dedujo, a partir de los datos isotópicos obtenidos. KOSZTOLANYI (1971), una edad mínima, 250 M.a., y otra máxima, 285 M.a., por lo que sugirió la de 260 ± 5 M.a., como más probable. Además, encuentra que la edad de las removilizaciones se sitúa entre 20 y 40 M.a.

Por lo que se refiere a la fuente del U, CATHELINEAU (1982) sugiere que serían los leucogranitos milonitizados situados en el borde del batolito, ya que los efectos de la milonitización permitirían una liberación importante de aquel elemento.

El U, según el mismo autor, habría sido transportado en solución acuosa, como complejos carbonatados de uranilo y por circulación geotérmica. El calor necesario pudo tener orígenes diversos: radiogénico, el generado por el magmatismo tardío o en las propias zonas de cizalla. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de los carbonatos que acompañan a la pechblenda, variables entre -7 y -13, indican una contribución importante de C orgánico en la formación de dichos minerales. Por ello, el autor sugiere que las soluciones mineralizadoras tuvieron una componente importante de agua meteórica.

La pechblenda se depositó, entre 250 y 150°C, al desestabilizarse los complejos carbonatados de uranilo por factores físicos (caída brutal de presión) y químicos (interacción fluido-roca encajante). El ión uranilo fue reducido por el SH_2 de la solución mineralizadora, y la precipitación de los minerales carbonatados se favoreció por la existencia, en el encajante, de rocas ricas en Ca, Fe y Mg.

El yacimiento de Retail, situado al O de Chardon, difiere fundamentalmente de éste en los aspectos siguientes:

— Es intrametamórfico en su totalidad y las rocas encajantes están constituidas esencialmente por gneises con dos micas, retrometamorfizados.

— La mineralización encaja en tres familias de fallas sucesivas en el tiempo, y orientadas N100, N110/75S y N40/60NO, las cuales determinan filones con asociaciones minerales también diferentes. En los filones N100 la paragénesis está constituida fundamentalmente por pechblenda-pirita-marcasita, algo de hematites, melnicovita y montmorillonita. Otros minerales presentes, aunque a nivel de trazas, son la clausthalita y la calcopirita. Los filones N110E se caracterizan por una asociación mineral constituida por pechblenda, cuarzo, sulfuros de Fe, calcopirita y sulfuros y seleniuros de Bi, Cd y Pb. La mineralización de las fracturas N40 se dispone tapizando fragmentos de brecha y está constituida por cuarzo, pechblenda, carbonatos y, a veces, fluorita. Además, la composición química de la pechblenda difiere de la de los otros filones en que es más rica en Ca y menos en Si y Pb. Esta mineralización se ha interpretado como producto de la removiliación de la dos anteriores.

Con relación al yacimiento de Chardon, el de Retail es más antiguo y su edad aproximada es de 340-360 M.a. Igualmente, la temperatura de formación es más alta y estimada en 370°C. Sin embargo, la temperatura de cristalización de la calcita, último mineral en depositarse, es de 115°C.

La existencia de este tipo de mineralización, con paragénesis más compleja que en los yacimientos restantes y próximos, así como su mayor edad y tempera-

tura de formación, hacen sugerir a CATHELINÉAU (1982) la posible existencia de yacimientos intrametamórficos coetáneos con las primeras granitizaciones anatócticas de la zona. A partir de éstos, pudieron formarse, por removilizaciones sucesivas, durante el Pérmico y el Terciario, los restantes yacimientos que bordean el macizo de Mortagne.

6. LOS YACIMIENTOS DE URANIO DE LA REGIÓN DE SPOKANE (WASHINGTON)

Las mineralizaciones más importantes de esta región son las de la mina Midnite y el pequeño yacimiento Spokane Mountain (Fig. 5A). Aunque la primera mineralización es la mejor estudiada, por estar en explotación, los datos obtenidos son, en cierta medida, extrapolables a la segunda (LUDWIG et al., 1981):

Las mineralizaciones se localizan en las metapelitas, con intercalaciones carbonatadas, de la formación Togo de edad Proterozoico Medio, y que están plegadas y metamorfizadas en la facies de los esquistos verdes. Esta formación fue intruida por una cuarzo-monzonita porfiroide (75 M.a.), con abundante moscovita secundaria, y un contenido medio en U de 17 ppm. Como consecuencia de la intrusión, las rocas encajantes sufrieron un intenso metamorfismo de contacto, que dio lugar a la formación de filitas, esquistos y corneanas, así como a rocas de tipo skarn.

En cuanto al control tectónico, y a pesar de que la estructura de la zona está mal estudiada por falta de afloramientos, la mina parece estar situada en el flanco occidental inverso de una antiforma. Tanto los minerales oxidados como los reducidos aparecen en zonas de cizalla, formando un «stockwork» o diseminados en los planos de esquistosidad de la roca. La mineralización no penetra en el granito adyacente. La morfología de la mineralización es más o menos tabular, con dimensiones que alcanzan unos 600 m de largo, 250 m de ancho y 30 m de potencia. Otra característica de interés es que las zonas mineralizadas más potentes coinciden con depresiones del contacto granito-esquistos, mientras que el límite superior es generalmente subhorizontal (Fig. 5C).

La mineralización está constituida por pirita, pechblenda, coffinita, hesingerita, marcasita, esfalerita y trazas de calcopirita y bornita, constituyendo una asociación mineral de baja temperatura. Esta sucesión suele estar interrumpida por varios procesos de brechificación.

En relación al transporte del U, los autores admiten que éste se realizó como complejos de uranilo, pero señalan que no existen pruebas de procesos de oxidación, ni agentes reductores evidentes para dar lugar a la reducción y depósito del

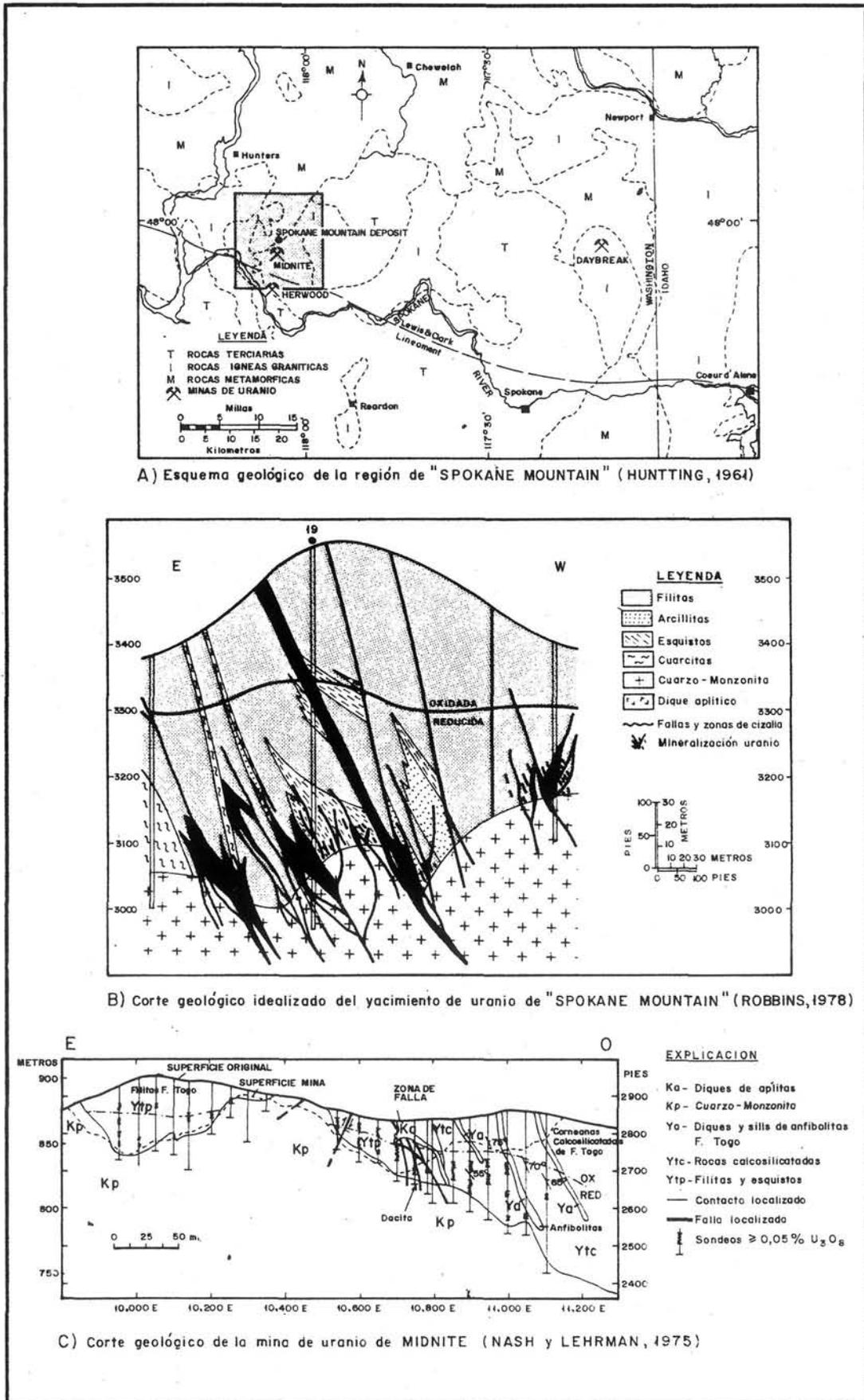


Figura 5. Yacimientos uraníferos de la región de Spokane (Washington).

U en forma de pechblenda. No obstante, sugieren una acción reductora de los sulfuros metaestables con valencias intermedias.

A partir del método U-Pb se ha obtenido una edad de 51 M.a. para el emplazamiento de la mineralización.

Por último los autores, concluyen que el U procedería del granito porfirioide, cuyas manifestaciones hidrotermales habrían dado lugar a un protoyacimien- to en las pizarras encajantes. Posteriormente, el U se habría removilizado y re- concentrado por la acción de aguas superficiales, calentadas en profundidad.

Por lo que se refiere al yacimiento Spokane Mountain, ROBBINS (1978) es- tablece algunas diferencias con relación al de Midnite. Las más importantes son las siguientes:

— La dirección de la mineralización es casi perpendicular a la estratifica- ción y esquistosidad.

— Aunque existen lechos carbonatados de escasa potencia, éstos no parecen actuar aquí como barreras para la mineralización, tal y como ocurre en Midnite.

— La mineralización de U penetra unos 15 metros en la cuarzo-monzonita (Fig. 5D).

— La mineralización parece circunscribirse a la parte pelítica de la forma- ción Togo.

Este autor explica la génesis del yacimiento mediante cinco etapas que, resu- midas, son las siguientes:

1º Preconcentración singenética del U, en ambiente reductor, en los sedi- mentos pelíticos de la formación Togo.

2º Removilización de los sulfuros y parte del U durante el plegamiento y me- tamorfismo del Jurásico. Estas soluciones migrarían hacia los núcleos de los plie- gues, que son zonas de debilidad.

3º Aporte de U al sistema durante la fase hidrotermal del plutonismo graní- tico, y removilización del U preexistente en las rocas encajantes. Las soluciones así formadas se habrían canalizado por las fracturas NE y NO, precipitando pech- blenda en ellas.

4º Reconcentración del U durante la inyección de los diques aplíticos en el Eoceno.

5º Enriquecimiento supergénico.

7. LAS MINERALIZACIONES DE URANIO DE LA REGIÓN DEL FRONT RANGE (MONTAÑAS ROCOSAS)

Los yacimientos e indicios de U del Front Range (Rolston Creek, mina de Shwartzwalder, Golden Gate, South Plate, etc.,) se encuentran en los materiales metamórficos de la formación Idaho Springs, que constituye el zócalo precámbrico de las Montañas Rocosas. Estos materiales están intruidos localmente por plutones y diques graníticos del Cretácico Superior y Terciario (Fig. 6).

El control de la mineralización es fundamentalmente tectónico, y está determinado por un conjunto de brechas de falla, de dirección NO, probablemente de edad Proterozoico, y reactivadas durante la orogenia larámida. Las rocas encajantes de las brechas mineralizadas son neises granatífero-biotíticos, micasquistos, cuarcitas, anfibolitas, y rocas calcosilicatadas.

Según RUHLAND (1982), las fracturas que controlan la mineralización corresponden a dos sistemas de fallas inversas, conjugadas y originalmente subhorizontales, que deben su inclinación actual a un proceso de basculamiento del zócalo, concretamente del bloque próximo a los materiales sedimentarios de la cobertera, que es donde se encuentran las mineralización es más importantes (Fig. 7).

De esta manera explica que las brechas mineralizadas presenten buzamientos comprendidos entre 30° y 60° al E, que las menos inclinadas aparezcan como fallas normales y que la mineralización de Shwartzwalder alcance profundidades superiores a los 800 m, con escasa extensión lateral.

Por otra parte, de acuerdo con la naturaleza del cemento dominante, WALLACE (1982) clasificó las brechas de falla de la siguiente manera: con cemento de cuarzo y hematites, de carbonatos y adularia, y con abundante fluorita. Las primeras predominan en los materiales graníticos, las segundas en los metamórficos y las terceras en ambos y en las zonas donde aquéllas cortan a las rocas calcosilicatadas.

Por lo que se refiere a la paragénesis y sucesión de mineral, RICH y BARABAS (1982) establecen tres episodios mineralizantes separados por dos fases de brechificación. El primero, posterior a la fase tectónica más importante, dio lugar a la formación de adularia, pechblenda, jordisita, y materia hidrocarburada de composición indeterminada. El segundo fue el responsable de la precipitación de ankerita, piritita-marcasita, y sulfuros de Cu, Zn y Pb. Y durante el tercero se depositaron calcita y piritita.

Desde el punto de vista textural, la paragénesis crustifica las paredes de las fracturas abiertas y los fragmentos de las brechas. El depósito de la pechblenda fue acompañado por un proceso de hematización y de las salbandas de las fracturas.

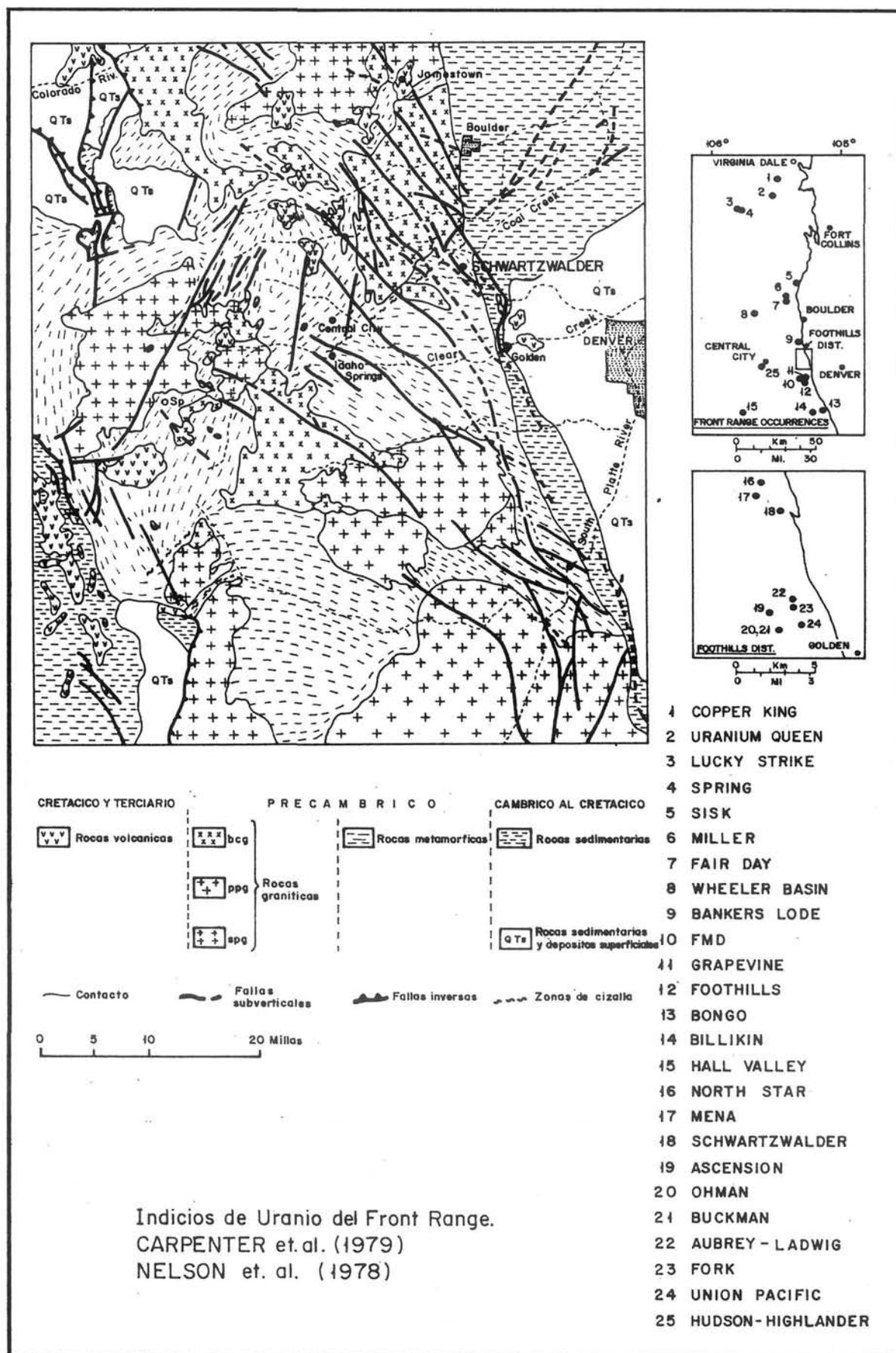


Figura 6. Esquema geológico del Front Range (Montañas Rocosas, Colorado) in M. RUHLAND (1982).

En cuanto a la composición química de las rocas encajantes, los granitos adyacentes y la mineralización existen pocos datos, muy dispersos y de dudosa representatividad. No obstante, la composición química media de las brechas estériles (Tabla 1) muestra que las cementadas por carbonatos y adularia, que son las que suelen estar mineralizadas con pechblenda, tienen mayor contenido en Y que las restantes.

Los datos microtermométricos obtenidos por RICH y BARABAS (1982) han sido considerados por ellos mismos como escasos y poco definidores. No obstante,

TABLA 1. Composición química media de las brechas de falla de la región del Front Range (WALLACE, 1982)

Elementos	Cuarzo hematites 8 (M)	Carbonatos adularia 4 (M)	Cuarzo fluorita 4 (M)	Carbonatos fluorita 1 (M)
Fe %	2,7	3,0	2,6	10,0
Mg	0,1	1,5	0,01	1,5
Ca	1,1	7,0	7,0	7,0
Ti	0,3	0,14	0,15	0,3
Mn	0,03	0,05	0,01	0,15
Si	31	10	10	10
Al	8,4	6,0	7,0	7,0
Na	0,82	0,9	0,2	1,5
K	5	7	7	7
Ba (ppm)	1.076	460	713	700
Bi	N	N	N	N
Ce	133	N	300	N
Co	5	5	N	27
Cr	34	25	10	70
Cu	11	3	528	150
Fe	NA	375	45.000	30.000
Ga	18	N	20	20
La	57	N	N	N
Mo	10	3	3	2
Ni	17	9	10	50
Pb	58	20	43	30
Sr	504	268	318	500
U	2,23	3,9	15,4	80,6
V	62	135	45	700
Y	21	43	10	15
Zn	97	100	85	70
Zr	97	100	85	20

M = N° de muestras; N = no detectado; NA = no analizado; Analizados pero no detectados.

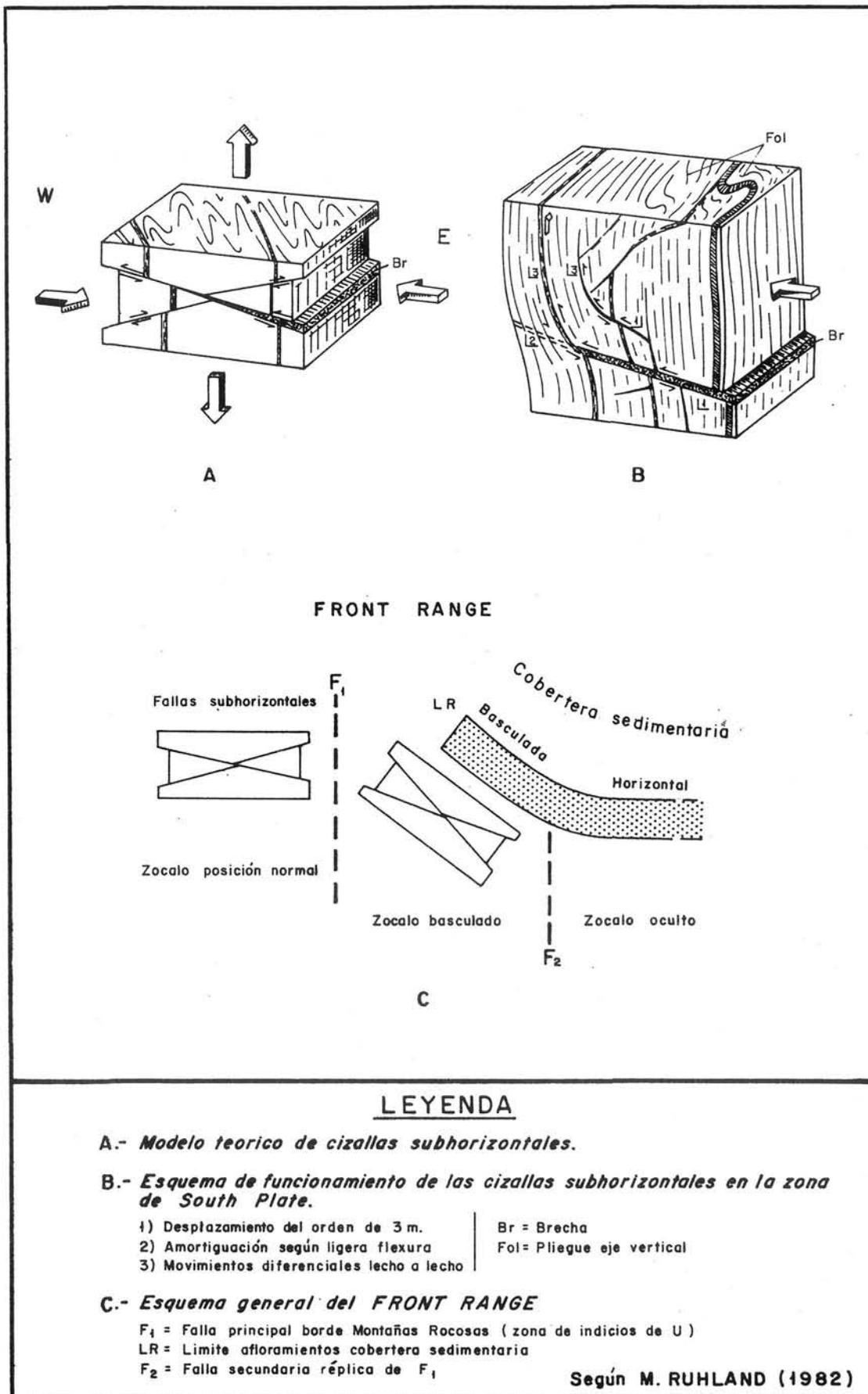


Figura 7. Esquema explicativo de las fallas mineralizadas del Front Range.

te, en base a ellos, han sugerido que los fluidos que dieron lugar a la adularia y pechblenda del primer episodio, y la ankerita del segundo, fueron de naturaleza orgánica u orgánico-acuosa, mientras que los responsables de la formación de la esfalerita del segundo episodio y la calcita del tercero serían acuosos, de salinidad intermedia y baja temperatura (75-165° C).

Por lo que se refiere a la edad absoluta de la pechblenda, HEYSE (1971) ha obtenido, 52, 61 y 68 ± 2 M.a., correspondientes a la orogenia larámida, y que MASLYM (1978 y 1979) interpreta como correspondientes a las sucesivas fases de fracturación, removilización y precipitación que sufrió la paragénesis.

En cuanto al origen del U, existen casi tantas hipótesis como autores han estudiado estas mineralizaciones. Así, SIMS y SHERIDAN (1964) lo relacionan con la actividad hidrotermal ligada al magmatismo terciario. MASLYM (1978 y 1979) lo consideran de origen supergénico y, en contraposición, BIRD (1979) clasifica estos yacimientos como típicamente hidrotermales y formados a partir del U de un granito que supone no está muy profundo.

Por otra parte, NELSON y GALLAGHER (1982) sugieren que existen varias fases en la formación de estos yacimientos. Durante el Proterozoico tendría lugar una primera concentración de tipo «strata-bound», ligada a los sedimentos clásticos, carbonatados y evaporíticos de la formación Idaho Springs. Posteriormente, durante la orogenia Boulder Creek (1.700-1.800 M.A.) se habría producido una removilización y dispersión del U singenético. Los fenómenos de anatexia relacionados con la orogenia Silver Plume (1.390-1.450 M.a.) habrían conducido a una concentración de U, por los fundidos anatéticos, en zonas tectónicamente favorables con alta actividad de fluidos. La orogenia larámida habría reactivado las estructuras proterozoicas y removilizado el U, el cual precipitó en aquellas estructuras que presentaban condiciones físico-químicas adecuadas. En estas últimas condiciones, la formación de los yacimientos se prolongó durante un intervalo de 2 M.a.

RICH y BARABAS (1982) comparan estos yacimientos de U con los de tipo «roll», consideran que su formación es supergénica, y que el U y la materia orgánica procederían de la lixiviación de los materiales pensilvanienses cercanos.

8. CARACTERES COMUNES A LOS YACIMIENTOS DESCRITOS Y COMPARACIÓN CON LOS DE ACEHUCHE-CECLAVÍN

De acuerdo con las descripciones anteriores, y con las características de las mineralizaciones del área Acehuche-Ceclavín, descritas por PÉREZ DEL VILLAR

(1988) y PÉREZ DEL VILLAR, PÉREZ DEL VILLAR y MORO a y b (en este vol.), los caracteres comunes a este tipo de yacimientos se pueden resumir de la siguiente manera:

— Todos ellos se encuentran en formaciones sedimentarias, más o menos metamorfizadas, generalmente ricas en materia orgánica muy evolucionada, con niveles calcosilicatados intercalados o con rocas ricas en Ca y Mg.

— Están situados en las proximidades de intrusiones graníticas, total o parcialmente fértiles en U, sin que necesariamente encajen en el aureola de metamorfismo de contacto.

— Tanto las rocas de caja como los granitos adyacentes tienen niveles geoquímicos suficientemente altos de U como para ser las rocas fuente del concentrado en los yacimientos. La formación Killas, en el SO de Inglaterra, y el complejo blastomilonítico esquistoso de La Vendée, en Francia, son las excepciones.

— El control de las mineralizaciones parece ser doble: uno, el más importante y claro, es estructural y determinado por fracturas de cizalla y brechas asociadas, y el otro, de dudosa influencia, es litológico y está definido por el carácter carbonoso o cálcico magnésico de la roca encajante. Además, en algunos yacimientos, al igual que en los indicios y mineralizaciones de Acehuche-Ceclavín, la mineralización está controlada por fracturas subhorizontales o que originalmente han podido tener tal disposición. No obstante, no se descarta la posibilidad de que los yacimientos de Acehuche-Ceclavín presenten otro control tectónico diferente del descrito y que se ha deducido a partir de datos obtenidos mediante sondeos verticales.

— Los cuerpos mineralizados suelen ser lenticulares, de tamaño variable y, con excepción de la mina Schwartwalder, subsuperficiales.

— Generalmente, la paragénesis mineral es de baja a muy baja temperatura, y está constituida esencialmente por sulfuros de hierro (pirita-marcasita), óxidos y silicatos de U (pechblenda y coffinita), y carbonatos (siderita-ankerita-calcita). Ocasionalmente, pueden aparecer los sulfuros restantes de la paragénesis B.P.G.C. Entre los minerales de la ganga pueden encontrarse, además de la adularia, anterior a la pechblenda, hematites, clorita, esmectitas y cuarzo. El yacimiento intrametamórfico de Retail presenta una paragénesis mesotermal, con mineralogía más compleja.

— La paragénesis presenta texturas muy semejantes en todas las mineralizaciones descritas, y generalmente está afectada por más de un proceso de brechificación. Hasta el momento, las texturas laminadas sólo han sido descritas en la mina Fe, yacimiento de Retortillo y en los indicios y mineralizaciones de Acehuche-Ceclavín.

— En aquellas mineralizaciones donde se ha determinado la $\delta^{13}\text{C}$ en los carbonatos asociados a la pechblenda se observa, independientemente de la edad de

la mineralización, una contribución importante del C org. en la formación de dichos minerales, sin que se pueda establecer si el CO₂ procede de la materia orgánica (grafitoidea) de la roca encajante, o de horizontes edáficos anteriores a la formación de las mineralizaciones. En este último caso habría que admitir la participación de aguas meteóricas en las soluciones hidroterminales mineralizadoras.

— En aquellos yacimientos donde se ha estudiado la geoquímica de la mineralización se ha observado, al igual que en los de Acehuche-Ceclavín, un enriquecimiento en Y respecto a la roca encajante, y que parece estar asociado con los carbonatos y/o minerales de uranio.

— A excepción de los yacimientos de la región francesa de La Vendée, formados durante el Carbonífero Inferior (Retail) y el Estefaniense Superior-Pérmico (Chardon), la edad del resto de las mineralizaciones descritas está comprendida entre el Terciario Inferior y el Medio.

Por último, aún a falta de datos sobre la edad absoluta, inclusiones fluidas y de $\delta^{13}\text{C}$ (PÉREZ DEL VILLAR et al. investigación en curso), la semejanza existente entre las mineralizaciones de la zona Acehuche-Ceclavín y la de la provincia de Salamanca (mina Fe) permite establecer la correlación temporal y genética entre ellas.

REFERENCIAS

- ARRIBAS, A. 1960. Mineralogy of the spanish uraniferous deposits. *XII Int. Geol. Congr., Copenhagen*, 15; 98-108.
- ARRIBAS, A. 1962. Mineralogía y Metalogenia de los Yacimientos Españoles de Uranio. Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca. *Est. Geol.*, 18; 155-172.
- ARRIBAS, A. 1970. Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca. *Stvd. Geol.* I; 7-45.
- ARRIBAS, A. 1975. Caracteres geológicos de los yacimientos españoles de uranio. (Su importancia económica e interés en el desarrollo energético del país). *Stvd. Geol.*, 9; 7-63.
- ARRIBAS, A. 1985. Origen, transporte y deposición del uranio en los yacimientos en pizarras de la provincia de Salamanca. *Est. Geol.*, 41; 3-16.
- ARRIBAS, A. 1987. Sobre el origen de las mineralizaciones españolas de uranio en rocas metasedimentarias. *Bol. Geol. Min.* 98(5); 705-711.
- ARRIBAS, A., MARTÍN IZARD, A., y MONTES, J. 1983. Las mineralizaciones de uranio de la zona de Alameda de Gardón y su posición en el contexto geotectónico de las pizarras del Oeste de la provincia de Salamanca. VIII Reunión sobre la Geología del Oeste Peninsular. Salamanca-Coimbra. *Stvd. Geol.*, 18; 201-224.
- ARRIBAS, A., MARTÍN IZARD, A., y MONTES, J. 1984. Distribución geoquímica del uranio en los metasedimentos del C.E.G. al Oeste de la provincia de Salamanca. *VII Congr. Intern. de Min. y Met. (Barcelona)* I, 353-358.

- BALL, T.K., BASHAM, I.R., y MICHIE, U.McL. 1982. *Uraniferous vein occurrences of South-West England. Paragenesis and genesis*. En *Vein-Type and Similar Uranium Deposits in Rocks Younger than Proterozoic. Proc. Tech. Comm. I.A.E.A. meeting, Lisbon*, 113-158.
- BIRD, A.G. 1979. An epigenetic model for the formation of the Shwartzwalder uranium deposit. A discussion. *Econ. Geol.*, 74; 947-948.
- CARPENTER, R.H., GALLAGHER, J.R.L., y HUBER, G.C. 1979. Modes of uranium occurrences in the Colorado Front Range, *Colorado School Mines Quartz*, 74; n.º 3, 76 pp.
- CATHELINÉAU, M. 1982. Les gisements d'uranium liés spatialement aux leucogranites sud-armoricains et à leur encaissant métamorphique. *Sci. Terre. Mem* 42; 375 pp.
- CUNÉY, M. 1981. *Comportement de l'uranium et du thorium au cours du métamorphisme. Role de l'anatexie dans la genese de magmas riches en radioéléments*. Thèse d'Etat. I.N.P.L. Nancy, 520 p.
- FERNÁNDEZ POLO, J.A. 1965. Procesos genéticos en los yacimientos uraníferos en pizarras (Zamora y Salamanca). *Coloq. Luso-Hispano-Francés sobre mineralizaciones uraníferas en metasedimentos*. J.E.N. Madrid.
- FERNÁNDEZ POLO, J.A. 1970. Caracteres geológicos, estructurales y genéticos de los yacimientos uraníferos de Salamanca. *Energía Nuclear*, 5.
- FERREIRA, M.V.A. 1971. Jazigos uraníferos portugueses. *1^{er} Congr. Hisp. Luso-Americano de Geol. Econom.* Libro guía de la excursión n.º 5.
- HEYSE, J.V. 1971. *Mineralogy and paragenesis of the Schwartzwalder mine uranium ore, Jefferson County Colorado*. U.S. Atomic Energy Comm. Report RMO-983, part I, 26 pp.
- HUNTING, M.T. 1961. EN: ROBBINS (1978).
- KOSZTOLANY, C. 1971. *Géochronologie des gisements uraníferes français par la méthode uranium-plomb. Influence du déséquilibre radiactif sur les résultats*. Thèse Doctorat. Sciences. Univ. Nancy I, 279 pp.
- LENCASTRE, J., y VAIRINHO, M.M. 1970. *Estudo de un mineral uranífero de Nisa (Portugal)*. Informes J.E.N. Portugal. Inédito.
- LIMPO DE FARIA, F. 1966. Gîtes d'uranium portugais dans les formations metasedimentaires. *Com. Serv. Geol. Portugal*. 50.
- LIMPO DE FARIA, F., y MESQUITA, L.P. 1962. Jazigos de uranio de Nisa-Castelo de Vide (Alto Alentejo). *Bol. Soc. Geol. de Portugal*, Vol. XIV.
- LOBATO, C.P., y FERRAO, C.N. 1959. *Ocurrencias de minérios de uranio no complexo xisto-grauvaquico das Beiras, Senhora das Fontes (Pinhel)*. Técnica n.º 291.
- LUDWIG, K.R. 1980. En MARTÍN CALVO et al. (1988).
- LUDWIG, K.R., NASH, J.T., y NAESER, C.W. 1981. U-Pb isotope systematics and age of uranium mineralization Midnite Mine, Washington. *Econ. Geol.* 76; 89-110.
- MANGAS, J., y ARRIBAS, A. 1984. Características físico-químicas de los fluidos asociados con las mineralizaciones de uranio de mina Fe (Salamanca). *VII Congr. Intern. de Min. y Metal. Barcelona*. 435-451.

- MARTÍN-CALVO, M., COMA, F., y RANZ, I. 1988. Contribución al análisis geológico, mineralógico y metalogénico del yacimiento de uranio «mina Fe», Saelices el Chico, Salamanca. *Bol. Geol. Min.*, 99(1); 102-119.
- MARTÍN-IZARD, A. 1985. *El origen de los yacimientos de uranio en las pizarras del Complejo Esquisto Grauváquico*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca, 365 pp.
- MARTÍN-IZARD, A., y ARRIBAS, A. 1984. Relaciones entre la estratigrafía y las mineralizaciones uraníferas del Complejo Esquisto Grauváquico en el Oeste de la provincia de Salamanca. *1^{er} Congr. Nac. de Geología (Segovia)*. Tomo II, 577-587.
- MARTÍNS, J.A., y LIMPO DE FARIA, F. 1959. Ocorrências uraníferas em metasedimentos na orla de contacto do maço granítico das Beiras nos distritos de Coimbra e Viseu. *J.E.N., Mem. 17. Portugal*.
- MASLYM, R.M. 1978. An epigenetic model for the formation of the Schwartzwalder uranium deposit. *Econ. Geol.* 73; 552-557.
- MASLYM, R.M. 1979. An epigenetic model for the formation of the Schwartzwalder uranium deposit. A reply. *Econ. Geol.* 74; 948-951.
- NASH, J.T., y LEHRMAN, N.J. 1975. Geology of the Midnite uranium mine, Stevens County, Washington. A preliminary report. *Us. Geol. Survey. Open-File, Rept.* 75-402, 36 pp.
- NELSON, C.E., y GALLAGHER, J.R. 1982. Proterozoic origins of uranium mineralizations in the Colorado Front Range. *Econ. Geol.* 77; 1.221-1.239.
- NELSON-MOORE, J.L., COLLINS, D.B., y HORN BAKER, A.L. 1978. Radiactive mineral occurrences of Colorado. *Colorado Geol. Survey Bull.* 40; 1.054.
- PEINADOR, A. 1971. A geologia da provincia uranífera fo Alto Alentejo. *I Congr. Hisp.-Luso-Americano de Geol. Econ. Sección I, Geologia*. T. II, 491-504.
- PÉREZ DEL VILLAR, L. 1988. *El uranio en el batolito de Cabeza de Araya y en el C.E.G. del borde septentrional (Prov. de Cáceres): prospección, mineralogía, geoquímica y metalogenia*. Tesis Doctoral, 470 pp. Universidad de Salamanca.
- PÉREZ DEL VILLAR, L., y MORO, C. (en este vol. a). Características geológicas y mineralógicas de los indicios uraníferos del Complejo Esquisto-Grauváquico en el área Acehuche-Ceclavín (Provincia de Cáceres): El yacimiento de La Espigadera.
- PÉREZ DEL VILLAR, L. y MORO, C. (en este vol. b). Estudio geoquímico comparativo entre las rocas encajantes y las mineralizaciones de uranio del Complejo Esquisto-Grauváquico en el área Acehuche-Ceclavín (Provincia de Cáceres).
- RENARD, J.P. 1971. Etude pétrographique et géochimique des granites du district uranífère de Vendée. Liaison entre l'évolution mineralogique et le comportement de l'uranium. Conséquences pour la prospection. *Sci Terre, Mém.* 30; 214 pp.
- RICH, R.A., y BARABAS, A.H. 1982. Genetic implications of preliminary mineralogical, paragenetic and fluid inclusion data for the Schwartzwalder uranium mines Colorado. En: *Vein-Type and Similar Uranium Deposits in Rock Younger than Proterozoic. Procc. Tech. Comm. Meeting. Lisbon.* 181-193.

- ROBBINS, D.A. 1978. Applied geology in the discovery of the Spokane Mountain uranium deposit, Washington. *Econ. Geol.* 73; 1.533-1.538.
- RUHLAND, M. 1982. Exemples d'organisation des reseaux de fractures mineralisés dans divers modeles structuraux. En: Vein-Type and Similar Uranium Deposits in Rocks Younger than Proterozoic. *Procc. Tech. Comm. Meeting Lisbon.* 47-65.
- SAINT-ANDRÉ, B. 1986. Rapport cofidentiel de fin de contrat sur les datations U-Pb sur minéralisations uranifères en provenance du secteur de la mine de Fe. Province de Salamanca. Espagne. I.A.E.A. *Technical Committe Meeting Uranium Deposits in Magmatic Rocks.* University of Salamanca. 30 pp.
- SIBSON, R.H., McMOORE, J., y RANKIN, R.H. 1975. Seismic pumping a hydrothermal fluid transport mechanism. *J. Geol. Soc. London*, 131; 653-659.
- SIMS, P.R., y SHERIDAN, D.M. 1964. Geology of Uranium Deposits of the Front Range, Colorado. *U.S. Geol. Survey Bull.* 1.159; 116 pp.
- WALLACE, A.R. 1982. Structural and mineralogical characteristics and distribution of carbonate-dominated fault breccias associated with uranium deposits, Front Range, Colorado. *Econ. Geol.* 77; 1945-1950.

Recibido el 25-Septiembre-1989

Aceptado el 12-Febrero-1990