

LAS MINERALIZACIONES DE URANIO DE LA ZONA DE ALAMEDA DE GARDON, Y SU POSICION EN EL CONTEXTO GEOTECTONICO Y METALOGENICO DE LAS PIZARRAS DEL OESTE DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA

A. ARRIBAS *
A. MARTIN IZARD *
J. MONTES **

RESUMEN.— Se exponen en este trabajo los principales caracteres estratigráficos, tectónicos y metamórficos de los metasedimentos del Oeste de la provincia de Salamanca, así como los aspectos mineralógicos, metalogénicos y geoquímicos de los yacimientos e indicios uraníferos presentes en la zona de Alameda de Gardón.

SUMMARY.— The main stratigraphic, tectonic and metamorphic features of the metasediments hosting the uraniferous occurrences located in the west of the Salamanca province are described in this paper. Special emphasis is made on the mineralogical, geochemical and metallogenic nature of the Alameda de Gardon radioactive anomalies and deposits.

* Dpto. de Geología y Mineralogía, Universidad de Salamanca.

** División de Exploración, ENUSA, Ciudad Rodrigo (Salamanca).

INTRODUCCION

La presencia de anomalías radiactivas y de minerales de uranio en diversos puntos del área metamórfica del Oeste de la provincia de Salamanca es conocida desde finales de los años 50, en que se detectaron pizarras impregandas por minerales secundarios de uranio. Estos indicios fueron estudiados por ARRIBAS (1962 y 1970), quien hace una descripción conjunta para todos los yacimientos del área, atendiendo tanto a las rocas encajantes como a las propias mineralizaciones y su mineralogía.

Por otro lado, todos los trabajos de investigación geológica y minera que la Empresa Nacional de Uranio (ENUSA), en colaboración con el I.G.A. está llevando a cabo durante estos últimos años, están permitiendo obtener datos de gran interés para resolver la metalogenia de estos yacimientos.

I. GEOLOGIA REGIONAL

Los materiales que constituyen el área pertenecen al denominado Complejo Esquisto-grauváquico (C.X.G.), de edad precámbrico-cámbrico y que junto con las intrusiones graníticas forman el basamento hercínico. Sobre él se depositan los materiales post-paleozoicos, pertenecientes fundamentalmente al Terciario. Una primera descripción de la geología de esta zona se debe a CORRETGE y LOPEZ PLAZA (1976).

I.1. *Estratigrafía.*

En términos generales, las rocas metamórficas que constituyen el área corresponden a cuarcitas, conglomerados, esquistos y rocas calcosilicatas. Este conjunto de metasedimentos se puede dividir en una serie de tramos que, de muro a techo, presentan las siguientes características.

Un primer tramo, únicamente aflorante en los núcleos de las antiformalas, que se presenta muy replegado y del que no se conoce el muro en esta zona. Está constituido por una serie bastante potente y monótona en la que alternan filitas, cuarzo-filitas, filitas cuarzo-feldespáticas y cuarcitas. Todos estos términos presentan un carácter ampelítico más o menos marcado según las áreas, además de numerosas estructuras sedimentarias.

El segundo tramo, más complejo que el anterior, comienza por unos paquetes ampelíticos de escasa potencia tras los cuales se depositan unas cuarcitas con abundantes niveles anfibólicos intercalados. Tras estos niveles vienen unos paquetes de rocas carbonatadas que muestran grandes variaciones, tanto en extensión como en potencia, y a los que van asociados, lateral y verticalmente, niveles anfibólicos. Presentan abundantes estructuras sedimentarias de las que son de destacar las producidas por deslizamientos intransformationales (Lam. I-1).

El tercer tramo vuelve a ser bastante monótono. Está compuesto por una alternancia de filitas, cuarzo-filitas y filitas cuarzo feldespáticas. Algunos niveles de esta alternancia tienen un marcado carácter ampelítico.

El cuarto tramo está compuesto por un conjunto de paquetes de filitas cuarzo-sericíticas en el que aparecen intercalados abundantes niveles cuarcíticos, cuarzo-feldespáticos, y de conglomerados y microconglomerados subarcósicos. Localmente pueden aparecer intercalados niveles con un marcado carácter ampelítico.

El quinto tramo, que marcaría el techo del C.X.G. en la zona está formado por una alternancia de filitas y cuarcitas con un fuerte carácter ampelítico.

Desde un punto de vista sedimentológico, las mineralizaciones de uranio de la mina Fé, se encuentran en metasedimentos del C.X.G. formados por una serie

alternante de lutitas y areniscas de grano fino y con abundante materia carbonosa, ocasionalmente de carácter turbidítico, en la que predominan las ritmitas con estratificación y laminación paralela (Lám. I-2).

En ocasiones, las rocas epimetamórficas —sericitoesquistos, cloritoesquistos y cuarcitas— muestran todavía estructuras claramente sedimentarias, tales como rizaduras de oleaje, laminaciones cruzadas y ocasionalmente avolutadas, marcas de corrientes, sedimentación gradual, acanaladuras y surcos; además, en la serie aparecen intercaladas gravas, conglomerados y rocas calco-silicatadas, especialmente anfibolitas cuarcíferas y granatíferas.

Por lo que se refiere a las rocas calcosilicatadas, en cuya composición entran a formar parte como minerales esenciales los anfíboles, feldespatos, granates, epidota-zoisita, y cuarzo, y cuyas características varían de unas zonas a otras, corresponderían, en unos casos, al metamorfismo de rocas de tipo margoso, y en otros, al retrometamorfismo de rocas volcánicas.

Por otro lado, se encuentran también términos de carácter detrítico carbonatado y con deformaciones intrasedimentarias, tales como deslizamientos, replegamientos y brechas intraformacionales, que podrían corresponder a materiales depositados en zonas próximas al borde de una plataforma.

Con todos estos datos, se puede afirmar que, en términos generales, las rocas encajantes de las mineralizaciones se formaron por sedimentación y decantación, en aguas turbias y generalmente por debajo del nivel de acción del oleaje, de materiales predominantemente siliciclásticos, normalmente de grano fino, depositados en el borde externo de una plataforma continental abierta, o en el de un mar epicontinental.

1.2. *Tectónica y metamorfismo.*

Todos los materiales anteriormente mencionados, de edad anteordovícica, están afectados por tres fases de la orogenia hercínica, si bien lo pueden estar también por a fase sárdica del Caledoniano. De todas formas los plegamientos sárdicos, cuando existen, solo se pueden observar en las áreas que han sido afectadas únicamente por la primera de las fases hercínicas que actuaron en la zona. Donde han actuado las fases posteriores, la dispersión de datos es tan grande que resulta sumamente difícil descubrir los rasgos tectónicos preordovícicos.

Donde con mayor facilidad se reconoce esta fase sárdica es en el contacto de los materiales cámbrico-precámbricos con las cuarcitas ordovícicas. En estas áreas se puede observar que los ejes de los pliegues de las cuarcitas son subhorizontales, mientras que los del C.X.G. tienen un buzamiento comprendido entre

15 y 30° al S. Por otro lado, al efectuar una cartografía de detalle, se puede observar que las cuarcitas del Ordovícico no reposan siempre sobre las mismas litologías del complejo. Además, en ciertas áreas, parecen detectarse «tetes plongeantes» debidas a la presencia de pliegues antehercínicos. Sin embargo, dado que este fenómeno solo es visible en los tramos carbonatados, bien podría tratarse de pliegues intrasedimentarios y no tectónicos.

Por lo que se refiere a la tectónica hercínica, en el área estudiada existen tres fases de deformación principales cuyos efectos no son uniformes en todas las zonas. Además, existen otras estructuras tectónicas, tales como kink-bands, fracturaciones y brechificaciones, debidas a fases posteriores.

La primera fase está presente en toda la región. Da lugar a grandes macroestructuras, anticlinorios y sinclinorios, que llegan a alcanzar longitudes de onda de hasta 3 km. y cuyos pliegues (Lám. I-3) tienen direcciones que van de N a NO, o incluso al O en algunos casos. Esta dispersión es debida al efecto de las posteriores fases tectónicas.

En el área de Alameda de Gardón, la dirección de los pliegues de esta primera fase tiene un gran cabeceo debido a la acción de las fases posteriores, aunque, en general, es N - S, con vergencia al E y con los ejes buzando al S. Asociada a esta primera fase hay una esquistosidad de flujo, la cual, cuando ha sido afectada por la segunda fase, aparece crenulada y, en ocasiones de forma muy local, la llega a trasponer.

El metamorfismo desarrollado durante la primera fase está incluido dentro de la facies de los esquistos verdes, distinguiéndose diversas subfacies en función de la composición original de la roca. Las más frecuentes son:

Rocas pelíticas

Cuarzo, albita, moscovita, clorita, biotita.

Cuarzo, biotita, moscovita, granate, albita.

Rocas cuarzo feldespáticas

Cuarzo, albita, microclina.

Cuarzo, albita, microlina, biotita.

Rocas calcosilicatadas

Calcita, epidota, tremolita, cuarzo biotita.

Cuarzo, biotita, actinolita, granates, epidota.

Como se puede observar, durante este primer metamorfismo se alcanzan las isogradas de la biotita y el granate, éste rico en almandino, por lo que, de acuerdo con TURNER y WERHOOGEN (1960) y WINKLER (1976), el metamorfismo de la zona se ha debido producir entre 300° y 500°C y una presión superior a los 3 kb.

Los efectos de la segunda fase hercínica son, por el contrario, muy diferentes en las diversas áreas cartografiadas, ya que aquella no tiene igual intensidad. Dichos

efectos se pueden reconocer por diversos motivos, entre otros, los factores geométricos debidos a la superposición de fases, el cabeceo del eje de los pliegues de la primera fase, y la crenulación, e incluso trasposición, de la esquistosidad de la primera fase. Así mismo, esta fase fue acompañada por un retrometamorfismo en la facies de los esquistos verdes que dio lugar a la cloritización de los granates y biotitas.

Por lo que se refiere a la segunda fase tectónica, la dirección del eje de los pliegues varía de ENE a E-O, e incluso a ESE, en función de las dislocaciones provocadas por las fases posteriores.

En el área de Alameda de Gardón, la superposición de la segunda fase con los pliegues de la primera se dispone en forma de domos y cubetas, con un cabeceo de los ejes que llega a ser de hasta 90°.

Donde se observan los pliegues de la segunda fase estos son de tendencia isoclinal, bastante apretados, por lo que la esquistosidad de la fase anterior o está fuertemente crenulada o borrada, siendo en este caso únicamente reconocible al microscopio. En los casos en los que la segunda esquistosidad es la dominante, es también de flujo.

La tercera fase tectónica, al igual que ocurre a veces con la segunda, no está generalizada. Donde existe, da lugar a grandes antiformal y sinformas, muy suaves y de gran longitud de onda, que llevan asociada una esquistosidad de fractura muy grosera y no siempre visible. La dirección de esta fase es N a NNE y casi coaxial por lo tanto, con la de la primera.

En relación con las fases tectónicas anteriormente descritas, hay una serie de intrusiones graníticas que han dado lugar al desarrollo de aureolas de contacto.

Así, durante la primera fase, se emplazan los denominados «granitos viejos» del Hercínico (OEN ING SOEN, 1970), muy bien representados al norte del área estudiada por el granito de Lumbrales, de marcado carácter alcalino.

En la zona objeto de este trabajo, los granitos mejor y más abundantemente representados son los denominados «granitos jóvenes», representados por los granitos de Villar del Ciervo - Bañobarez y Fuentes de Oñoro, de carácter calcoalcalino. Estos granitos, estudiados con gran detalle por CORRETGE y LOPEZ PLAZA (1977) y CARNICERO (1980), se pueden relacionar con la segunda de las fases hercínicas de la zona dado que, en diversos puntos del área, se ha observado que los minerales propios del metamorfismo de contacto provocado por estos granitos están orientados según la esquistosidad producida por la segunda fase. Lo que, además, parece indicar que esta fase puede ser una consecuencia o la causa del emplazamiento de estos «granitos jóvenes».

Por otra parte, estos granitos han dado lugar a numerosas diferenciaciones pegmoaplíticas que, en forma de diques, cortan a los materiales metamórficos en

las proximidades de las rocas plutónicas. Localmente pueden estar mineralizados en Sn y W, y en muy raras ocasiones se han detectado también en ellos mineralizaciones uraníferas.

El metamorfismo de contacto producido por las intrusiones graníticas dio lugar a la formación de pizarras mosqueadas en la parte externa de las aureolas, y a una fuerte recristalización de las rocas en el mismo contacto, si bien no se llegan a formar verdaderas cornubianitas. Las asociaciones minerales encontradas en la zona han sido las siguientes:

Rocas pelíticas

Cuarzo, clorita, sericita.

Cuarzo, clorita, moscovita, andalucita.

Cuarzo, biotita, moscovita, andalucita.

Cuarzo, biotita, moscovita, andalucita, cordierita.

Rocas calcosilicatadas

Wollastonita, grosularia, diópsido, cuarzo.

Grosularia, calcita, clinozoisita, tremolita, cuarzo.

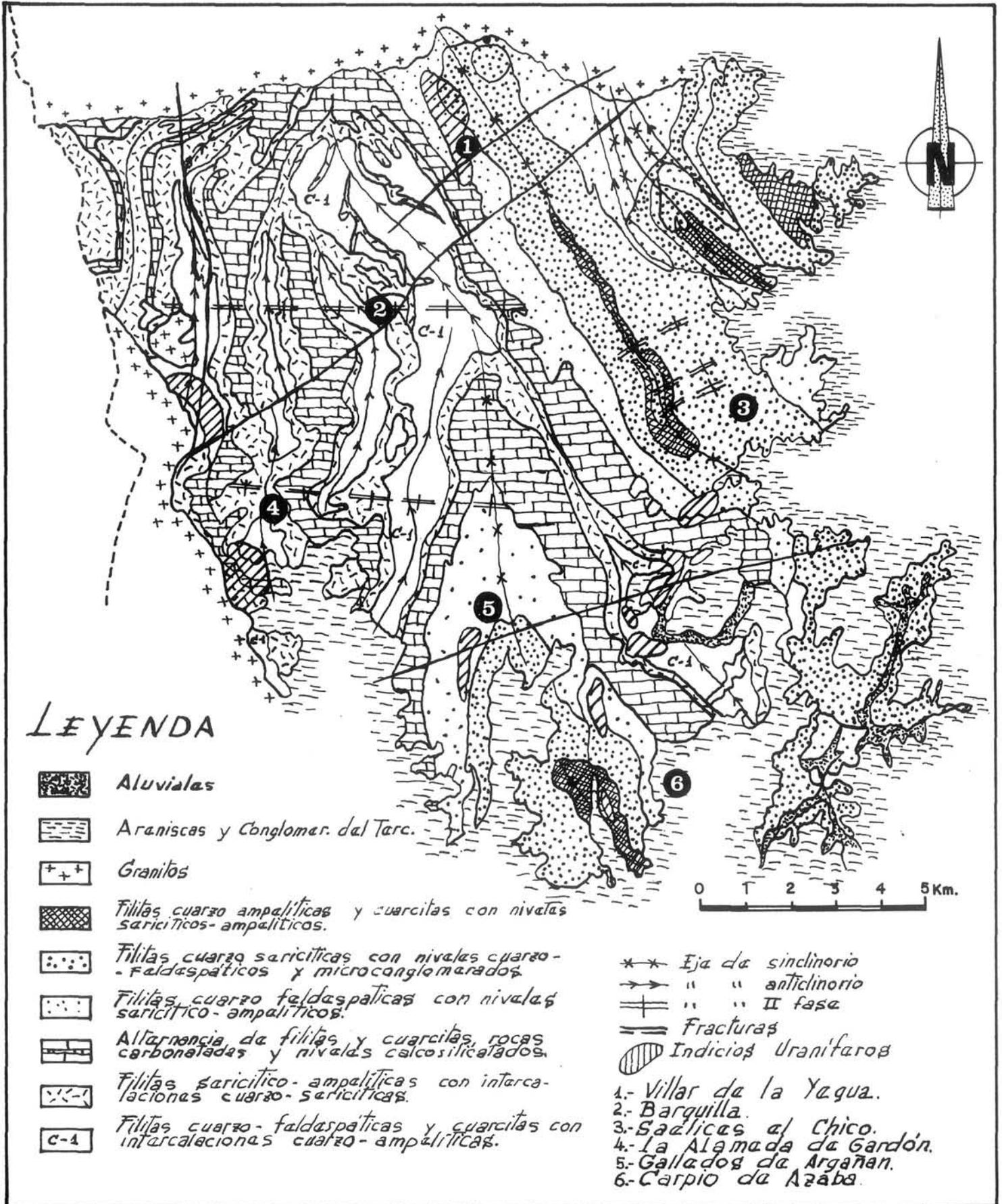
Con posterioridad a estas tres fases tectónicas principales, se produjeron kink-bands y fracturaciones que afectaron a todas las estructuras anteriores, preferentemente en las partes más débiles.

Por último, ya fuera de la orogenia hercínica debidas a los contragolpes alpinos, se producen nuevos sistemas de fractura que, en parte, resultan ser rejuego de los anteriores y que localmente originan el desarrollo de brechas. Estas se describen con detalle al hablar de las mineralizaciones.

II. LOS INDICIOS Y YACIMIENTOS URANIFEROS

El estudio de las anomalías uraníferas en los materiales del C.X.G. se ha realizado en diversas etapas (FERNANDEZ POLO, 1965). Durante la primera de ellas, que se llevó a cabo con métodos convencionales, se detectaron 84 anomalías. Las fases posteriores han consistido en el estudio detallado de las más importantes, y tanto las técnicas de estudio como la metodología desarrollada han sido variados y su intensidad acorde con los resultados que se han ido obteniendo.

En líneas generales, las anomalías detectadas se pueden agrupar en cinco zonas (Fig. 1): Alameda (A), Villar de la Yegua (B), Gallegos (C), Rivera de Azaba (D), y Río Agueda (E). En esta última, que es por ahora la de mayor potencial uranífero,



se encuentra el gran yacimiento de «Fe». En todas las zonas, las características litológicas, mineralógicas y metalogénicas parecen ser idénticas, si bien hay que señalar, como dato diferenciador, que las anomalías de Alameda y Villar de la Yegua, está próximas al granito, mientras que las del Río Agueda no lo están.

II.1. *Zona de Alameda.*

Esta zona, cuyo estudio es el objeto principal de este trabajo, se encuentra situada en los materiales que forman los dos primeros tramos de la columna descrita en el apartado de estratigrafía.

Las mineralizaciones están repartidas en una serie de áreas —Zonas 2, 19, 21, 23, 24, 68 y 69— que han sido evaluadas mediante sondeos de corona con recuperación de testigo, contabilizándose en total unas reservas geológicas de 8000 toneladas de U_3O_8 .

La mineralización está dispuesta en brechas de relleno, siendo las direcciones predominantes N 20 E, N 50 E, N 110 E y N 160 E. La paragénesis es del tipo pirita —pechblenda— carbonatos, y en la parte meteorizada del yacimiento se encuentran minerales secundarios del uranio.

Es de destacar que las zonas mineralizadas se sitúan preferentemente en aquéllos lugares donde coinciden estructuras tectónicas de 1º y 2º fase, y grandes fracturas regionales. Lo cual parece coincidir con lo observado anteriormente por COMA (1983) en Mina Fè.

II.2. *Villar de la Yegua.*

Las anomalías están alineadas en el mismo contacto o muy cerca del contacto con el granito. Cabe destacar que este contacto se encuentra en gran parte fallado, existiendo también aquí brechas con minerales primarios y secundarios de uranio, sulfuros de plomo e hierro, y abundantes carbonatos y cuarzo jasperoideo. Las fracturaciones que contienen la mineralización tienen direcciones predominantes de N 160 E, N 10 E y N 45 E. Las rocas encajantes comprenden materiales de la parte superior del tramo 3, el tramo 4 y la parte inferior del tramo 5 de la columna estratigráfica, afectados por metamorfismo de contacto. El área anómala más importante de esta zona corresponde a la Mina Esperanza, parcialmente evaluada mediante sondeos y situada, como la mayor parte de las anomalías, en los tramos de naturaleza pelítica.

II.3. Zona Gallegos de Argañan y Rivera de Azaba.

Se caracteriza esta zona porque, hasta ahora, sólo se han encontrado en ella minerales secundarios de uranio, los cuales se distribuyen en todas las litologías del C.X.G. y con preferencia en los materiales más pelíticos, siendo de destacar su ausencia en los niveles carbonatados. Las mineralizaciones más importantes se encuentran asociadas a brechas limoníticas, donde aparecen diseminadas en las diaclasas y planos de esquistosidad de las pizarras.

Por lo conocido en la actualidad y, en concreto, en la Rivera de Azaba, las zonas mineralizadas forman parte de una montera de 5 m. de espesor en la parte alta de la penillanura, no habiéndose encontrado hasta el momento ni indicios importantes ni minerales primarios de uranio en los sondeos realizados.

Por lo que se refiere a las anomalías de Gallegos de Argañan éstas se sitúan en la parte superior del tramo 3 e inferior del tramo 4 de la columna estratigráfica.

II.4. Zona del Río Agueda.

Corresponden estas mineralizaciones a los indicios de «Sajeras», «M» y «Cuéllar», situados alrededor de la Mina Fé, todas ellas muy alejadas del granito. Están controladas por fracturas cuyas direcciones principales son N 20 E, N -S, N 120 E y N 80 E.

Los indicios se encuentran en los tramos 3 y 4 de la columna estratigráfica, estando situados los de «Cuéllar» y «Sajeras» en idéntica posición que los de Mina Fé y mostrando características tectónicas semejantes. La paragénesis, tal y como se ha observado en los sondeos de Majuelos, está constituida por adularia, pirita, pechblenda, clorita y carbonatos que, junto con los fragmentos de las rocas encajantes, forman la brecha mineralizada. En la actualidad se está reconociendo esta zona mediante sondeos, habiéndose evaluado hasta el momento 1000 Tn de U_3O_8

III. LAS MINERALIZACIONES DEL AREA DE ALAMEDA DE GARDON

III.1. Generalidades.

La presencia de anomalías radiactivas en las zonas de Alameda de Gardón, Villar de la Yegua y Gallegos de Argañan se conocen desde principios de los años 60, en que se encontraron pizarras impregnadas con minerales secundarios de uranio. Todos los trabajos de investigación geológica y minera que la Empresa

Nacional del Uranio está llevando a cabo durante estos últimos años están permitiendo obtener datos de gran interés en cuanto a la petrografía, mineralogía y metalogía de estos yacimientos.

Estos indicios fueron estudiados por primera vez por ARRIBAS (1962), quien hizo una descripción conjunta para todos los yacimientos del área atendiendo tanto a las rocas encajantes como a las propias mineralizaciones y su mineralogía.

Las mineralizaciones uraníferas de Alameda de Gardón están situadas en los alrededores del pueblo y distribuidas en una franja de 6 por 1.5 kms. a lo largo del contacto con las rocas plutónicas. Es característico de esta zona la gran cantidad de diques y pequeñas apófisis graníticas que atraviesan los materiales del C.X.G. (Fig. 2).

El yacimiento está siendo investigado en la actualidad por medio de calicatas y sondeos con recuperación de testigo, para lo cual, el conjunto de mineralizaciones y anomalías se ha subdividido en tres áreas (Fig. 2): «Alameda Sur», situada al Sur del pueblo, «Dos y Cinco Nidos», al Oeste, entre el pueblo y el contacto con el granito, y «Alameda Norte», al Norte del pueblo, en una zona más amplia y menos definida que las anteriores. Cada una de estas tres áreas ha sido dividida respectivamente en las zonas siguientes: 23, 24, 68 y 69, 2 y 21, y 19.

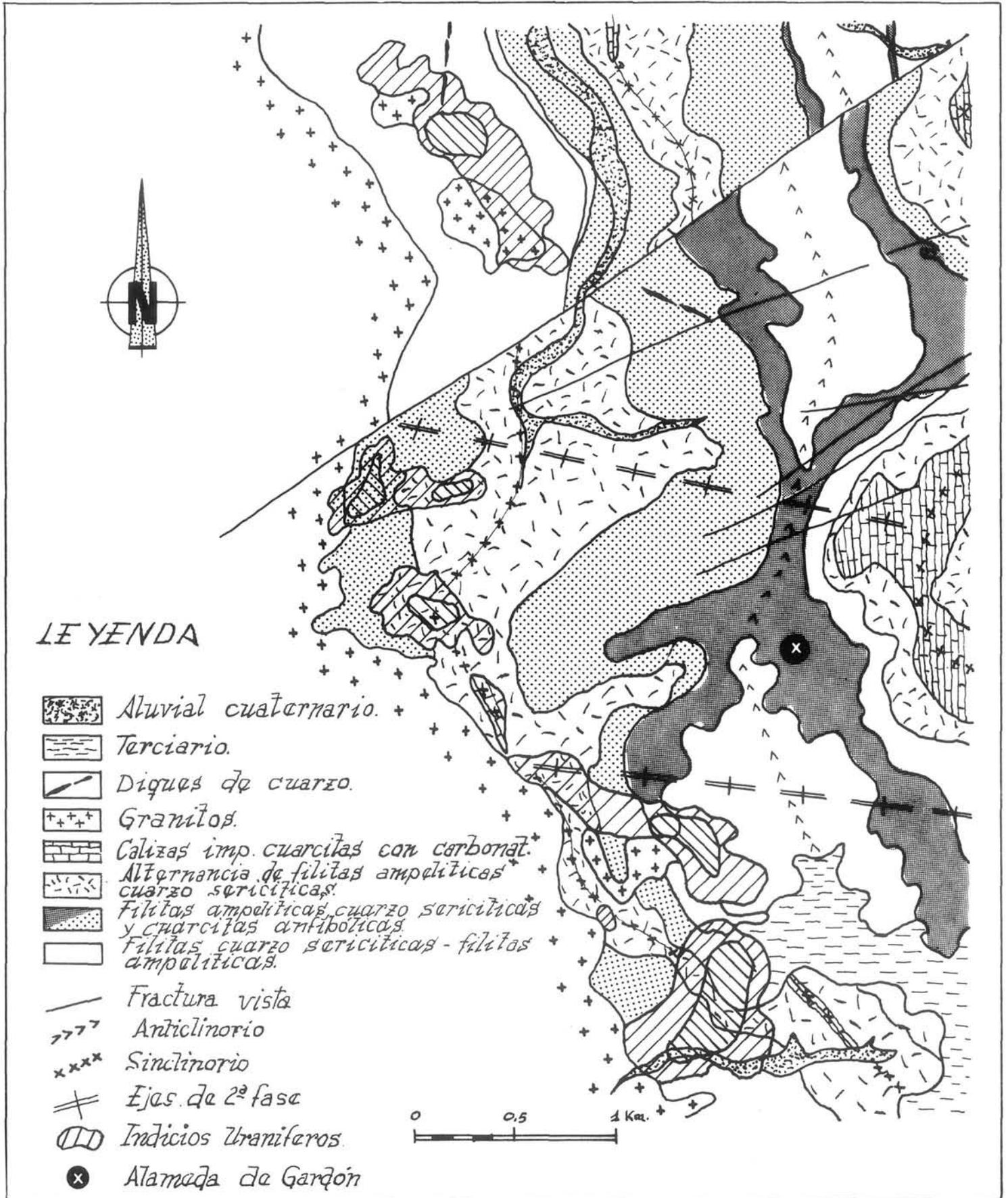
De todas estas anomalías, las más interesantes son las de «Alameda Sur». Por esta razón, este estudio se centra preferentemente en la descripción de estas últimas mineralizaciones, las cuales presentan características muy similares a las de las otras dos áreas, por lo que los resultados obtenidos pueden hacerse extensibles a todas ellas.

III.2. *Litología.*

Las rocas encajantes de la mineralización son las pizarras del C.X.G. aunque es de destacar que, en este área, las mineralizaciones se encuentran siempre muy cerca del contacto con el granito. Por ello, es frecuente encontrar diques de estas rocas atravesando las pizarras. Estos diques muestran en solo dos ocasiones anomalías radiométricas, si bien éstas son de mucha menor importancia que las de los esquistos.

En términos generales, las rocas metamórficas corresponden a cuarcitas, esquistos y rocas carbonatadas y calcosilicatadas análogas a las descritas anteriormente.

Las rocas carbonatadas son, por lo general, calizas impuras, calcarenitas, y areniscas y conglomerados calcáreos. Los niveles calcosilicatados, siempre de pequeño tamaño, están formados por anfíboles de tipo tremolita-actinolita, epidoto-



ta clinozoisita, carbonatos, feldespatos y cuarzo. Tal y como se mencionó anteriormente, todas estas rocas están afectadas por las aureolas de metamorfismo de contacto en las proximidades de los granitos, siendo de destacar que, hasta el momento no se han encontrado mineralizaciones en las brechas que los atraviesan.

III.3. *Tectónica.*

En la zona de Alameda de Gardón, los diferentes esfuerzos tectónicos hercínicos que se sucedieron sobre las rocas metamórficas encajantes de la mineralización se reconocen tanto a simple vista como al microscopio, habiendo dado lugar aquellos a la superposición de las fases de plegamiento y fracturación que se describen a continuación.

La primera fase dio lugar a la formación de grandes macroestructuras, anticlinorios y sinclinorios vergentes al S.E., formados por una gran cantidad de pliegues menores, cuyas características se describieron anteriormente.

Los efectos de la segunda fase, en general, de intensidad muy variable, son muy patentes en el área. Ella dio lugar también a grandes anticlinorios y sinclinorios de menor longitud de onda e intensidad que los anteriores, pero con mayor vergencia, la cual es en este caso hacia el N. La superposición de los efectos tectónicos dio lugar a una fuerte silicificación de las zonas de charnela, especialmente donde se cruzan los pliegues de primera con los de segunda fase, así como a la aparición de zonas de debilidad muy marcada por las que, tal y como pone de manifiesto COMA (1983), rompe la roca con mayor facilidad.

Todavía hay una tercera etapa mucho más suave que las anteriores que dio lugar a un abombamiento general de las estructuras.

Con posterioridad a estas tres etapas, las cuales pueden llevar localmente asociadas diversos tipos de rotura, tales como las fallas de flanco de los pliegues, hay una fracturación provocada por las fases finales de la orogenia hercínica que es más acentuada en aquellas áreas de características favorables.

III.4. *Investigaciones mineras.*

Aparte de las calicatas y trabajos de superficie realizados hace años por la Junta de Energía Nuclear, las investigaciones actuales se han efectuado fundamentalmente por medio de sondeos de testigo, única forma de tener un conocimiento de las características de la mineralización en profundidad.

En la Fig. 3, se resumen los datos obtenidos en el sondeo «20 N 50» que se puede considerar como representativo de todos los realizados en el área, y en el que se indican las características litológicas (Lám. I-4) y radiométricas, el conte-

nido en U, los tramos brechificados —los cuales coinciden por lo general con las zonas en las que la estratificación y la esquistosidad son casi perpendiculares— y las zonas mineralizadas.

Los datos obtenidos en todos los sondeos confirman que las mineralizaciones formadas por óxidos de uranio están asociadas siempre con las zonas brechificadas de las pizarras, pero, sin que esto signifique que todas las brechas están mineralizadas. Así mismo, es de destacar que la formación de las brechas es independiente de la naturaleza litológica de las rocas encajantes, y que su desarrollo está condicionado fundamentalmente por factores estructurales. Por otra parte, el sondeo «20 N 50» tiene leyes muy altas, por lo que ha resultado idóneo para el estudio de la mineralización.

Por lo que se refiere a las zonas brechificadas que atraviesan a las rocas encajantes y con las que está asociada la mineralización, se deduce que ellas han tenido diversas etapas de funcionamiento, por lo que es muy frecuente encontrar dentro de ellas fragmentos de roca y cuarzo brechificados y recrystalizados con anterioridad.

Dentro de las zonas de brecha, la fracturación no se produce según planos bien definidos, sino que aquella consiste en una infinidad de planos irregulares de rotura, no paralelos entre sí, que forman un haz en el que quedan comprendidos los fragmentos de la brecha. Además, existe una variación en lo que se refiere a la intensidad de la deformación. Así, en la Lám. I-5 se pueden observar tres fragmentos del sondeo «20 N 50», tomados a 100 m. (centro), 103 m. (derecha) y 107 m. (izquierda) de profundidad, pertenecientes a un tramo brechificado de los esquistos encajantes de la mineralización de «Alameda Sur». Ellos muestran el progresivo aumento del grado de trituración desde el testigo más próximo a la roca sana (centro) al más alejado de ella (izquierda). A partir de este último, situado en la zona de máxima brechificación, ésta vuelve a decrecer hasta llegar de nuevo a la roca sin fracturación.

La potencia de las zonas de fractura es muy variable, desde únicamente algunos decímetros hasta varios metros. Es en ellas (Lám. I-6) donde, tal y como muestra la autoradiografía sobre placa CR-39 (izquierda) de un testigo del sondeo «5 N 65», tomado a 39 ms. de profundidad, se deposita la mineralización.

III.5. *La mineralización.*

La mineralización primaria se encuentra siempre en las zonas brechificadas, mientras que los minerales secundarios pueden estar diseminados también en fisuras y en planos de esquistosidad.

En el momento de su formación, la mayor parte de estas fracturas que son hercínicas, se rellenaron de cuarzo lechoso, masivo o con textura en peine, que fue brechificado junto con las rocas encajantes durante las siguientes etapas tectónicas, probablemente alpinas, con las que parecen estar relacionadas las mineralizaciones uraníferas.

Los sulfuros más importantes son pirita y marcasita. La primera puede ser singenética, de carácter sedimentario, en cristales alineados según los planos de esquistosidad, o bien epigenética, de naturaleza hidrotermal rellenando las fracturas de la roca. Esta última pirita puede ir acompañada por marcasita y, ocasionalmente esfalerita (Lám. II-1), galena y calcopirita. Todos estos minerales, junto con el cuarzo, carbonatos, hematites y clorita, constituyen la ganga de los minerales primarios de uranio, pechblenda y coffinita.

El estudio microscópico y el microquímico con microscopio electrónico de barrido ha permitido definir las características de las zonas mineralizadas y la naturaleza de las inclusiones que presentan los minerales esenciales. Así, rodeando los fragmentos de las rocas encajantes y del cuarzo que forman las brechas, se depositaron sucesivamente: pirita, calcopirita, marcasita, esfalerita (Lám. II-2) y ocasionalmente carbonatos (Lám. II-3). Alrededor de éstos minerales, y también rellenando sus fracturas y la de las rocas de caja, se depositaron la pechblenda y coffinita (Láms. II-4 y 5). Finalmente, los carbonatos y la clorita (Lám. II-6) terminaron por rellenar todos los huecos existentes, siendo de destacar la fuerte y característica cloritización que, como ocurre en todos los indicios de esta clase, afecta a las rocas encajantes. En cualquier caso, el proceso mineralizador se sucedió durante varias etapas, por lo que es frecuente ver a los minerales anteriormente descritos rotos y con las fracturas rellenas por las sucesivas mineralizaciones que, cada vez, tienen menor intensidad.

Los minerales secundarios son muy numerosos y, aparte de los derivados de la pirita y calcopirita, los más frecuentes y llamativos son los de uranio. De éstos, los más importantes son las gummitas, sabulita, fosfuranilita, renardita, uranotilo y autunita.

IV. CARACTERISTICAS METALOGENICAS

Desde 1959, los diversos procesos a los que se ha venido atribuyendo el origen de los yacimientos de uranio existentes en las pizarras de la provincia de Salamanca (ARRIBAS, 1984) han sido los siguiente: *magmáticos*, relacionados con el emplazamiento de los granitos hercínicos; *supergénicos*, en los que el uranio habría sido lixiviado de los granitos durante los procesos de meteorización y erosión relacionados con el desarrollo de la penillanura pliocena, y concentrado posteriormente, por descenso, en la red de fracturas de las pizarras; de *segregación*, por liberación

del uranio de las rocas plutónicas como consecuencia de los procesos tectónicos tardihercínicos o alpinos y su ulterior concentración en las zonas fracturadas de los esquistos; y de *difusión*, por extracción del uranio contenido en los metasedimentos fértiles del C.X.G. y concentración del mismo, por difusión térmica, a favor de corrientes de convección que pudieron ser generadas por procesos tectónicos post-paleozoicos.

Al igual que en mina Fé, la mineralización uranífera de Alameda de Gardón, caracterizada por la paragénesis carbonatos, pechblenda y sulfuros de Fe, corresponde a la de un yacimiento hidrotermal de baja temperatura. Ella rellena principalmente brechas de falla, las cuales pueden estar recubiertas por sedimentos terciarios de la fosa de Ciudad Rodrigo. Por ello, dado que las edades radiogénicas obtenidas hasta ahora dan una edad máxima de 55 m.a. para los minerales primarios de uranio de los granitoïdes hercínicos, un origen magmático relacionado con estos últimos debe ser descartado. Además, la textura y estructuras de los filones no son las características de los yacimientos ligados a la intrusión de rocas plutónicas.

El origen supergénico, por descenso, tampoco es posible, dado el carácter hidrotermal de la paragénesis, y por estar el yacimiento fosilizado por los sedimentos del terciario.

Por otra parte, la segregación del uranio de las rocas plutónicas fértiles por procesos de alteración y tectónicos análogos a los que han dado lugar algunos yacimientos intragraníticos españoles sería posible para aquellos yacimientos de las pizarras que se encuentran próximos a los granitos; pero dado que, como en el caso de la Ribera de Azaba, Cuéllar, Sajeras y especialmente Fé, hay mineralizaciones alejadas de las rocas plutónicas que tienen la misma paragénesis e iguales características que las que se encuentran en sus proximidades, y que la edad de los minerales de uranio es muy posterior a la de las mineralizaciones intragraníticas, este origen tampoco es posible.

Así, pues, es necesario buscar otros mecanismos que permiten explicar el origen de este tipo de mineralizaciones.

En este sentido, hay que tener en cuenta que la única edad de la pechblenda conocida hasta ahora coincide con la del comienzo de la orogenia alpina, es decir, con el momento en que empezaron a formarse las grandes fosas terciarias de la meseta como consecuencia del funcionamiento de nuevos sistemas de fractura o de la reactivación de las estructuras hercínicas. Fracturas por las cuales pudieron ser expulsados hacia la superficie los fluidos que transportaron el uranio y los otros elementos presentes en la paragénesis.

Por lo que se refiere al mecanismo que pudo dar lugar al transporte y deposición de estos últimos caben dos posibilidades. La primera de ellas sería la *difusión térmica*, invocada ya por ARRIBAS (1980). La segunda sería la generación de un *flujo sísmico* creado como consecuencia de los procesos tectónicos.

Teniendo en cuenta los datos de que se conocen actualmente sobre la mineralización (ARRIBAS, 1984), y dado que las texturas filonianas indican la existencia de una intensa actividad cinemática de los fluidos, la hipótesis más verosímil parece ser la segunda, es decir, la correspondiente a un *bombeo sísmico* provocado por la actividad tectónica. Según esta hipótesis, los fluidos se habrían desplazado formando corrientes de convención que contribuyeron a lixiviar el uranio contenido en los esquistos encajantes fértiles y que habría sido liberado durante los procesos de dilatación que precedieron al desencadenamiento de los terremotos poco profundos. El uranio se habría depositado entonces en las zonas de salida, es decir, en las brechas filonianas, a partir de los fluidos movilizados por la actividad sísmica.

Por ello, de ser cierta esta hipótesis, habría sido un proceso de bombeo sísmico generado por los contragolpes alpinos el que, aprovechando las importantes zonas de fractura que afectan a los metasedimentos, habría dado lugar a una amplia movilización de los fluidos del basamento hercínico y al transporte de éstos bien fuera a impulsos o por corrientes de convención más o menos continuas, hacia las fracturas y brechas en las que finalmente se depositaron los minerales de la paragénesis uranífera: carbonatos, pechblenda (coffinita), y sulfuros de hierro.

V. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los problemas que se plantean al querer explicar la procedencia del uranio contenido en las brechas existentes en el C.X.G., se estimó conveniente realizar un estudio geoquímico de los materiales metasedimentarios para ver si podían ser ellos la fuente del uranio que dio lugar posteriormente a las mineralizaciones filonianas.

Con este fin y para controlar algunos de los posibles factores de error que se pueden producir al efectuar el desmuestre sistemático de la columna litoestratigráfica, se ha realizado un estudio piloto sobre 43 muestras, tomadas unas en superficie y otras a diferentes profundidades, y sobre las 5 litologías más características del área, tanto en las zonas mineralizadas como en las estériles. El objeto del desmuestre era conocer si existían dentro de la serie metasedimentaria rocas con contenidos anómalos de U y Th, y ver cual era la variación de éstos en profundi-

dad para una misma litología. Es decir, si las muestras de la superficie estaban o no lixiviadas.

Para ello, se desmustraron sondeos y calicatas en diferentes materiales, especialmente en las rocas de carácter ampelítico, dado que, en principio, se consideró éstas las que presentan los fondos geoquímicos más elevados en U. Además, dado que este elemento puede estar contenido, en parte, en los minerales refractarios, se han analizado tanto el U total como el lábil, de cada muestra, así como la relación U_1/U_2 , lo que permite conocer si las muestras han sufrido una lixiviación o, por el contrario, una concentración del U por procesos exógenos.

Los resultados de este estudio indican lo siguiente:

- el U total muestra una ligera variación de unas rocas a otras, pero las de carácter ampelítico tienen mayor contenido medio en U, tanto lábil como total, valor que disminuye al aumentar el carácter sericítico o cuarcítico de la roca.
- hay muestras que, con independencia de su litología y posición respecto a la superficie, dan un contenido en U, tanto total como lábil, muy por encima de lo normal, pero la relación U lábil/U total es análoga a la de las restantes muestras. Por ello, se puede admitir que ellas tienen contenidos anómalos, y que éstos no se deben a ningún proceso de concentración superficial.
- la relación U lábil/U total se mantiene muy constante para todas las muestras, observándose un ligero aumento lineal del U lábil con la profundidad, lo que podría indicar la existencia de una ligera lixiviación en las zonas próximas a la superficie. Sin embargo, hay algunas muestras que parecen haber estado sometidas a procesos de lixiviación mayores de lo normal, y que sin embargo no fueron tomadas cerca de la superficie, sino a profundidad variable y en cualquier tipo de litología.
- la relación U lábil/U total varía mucho menos con el carácter ampelítico, acentuándose esta diferencia en las filitas y cuarcitas sericíticas. Este fenómeno, debido posiblemente al carácter más reductor de los términos ampelíticos, indica que los desmuestres para geoquímica se pueden hacer con rocas de superficie mientras la materia carbonosa no esté oxidada.
- el torio, salvo anomalías muy particulares y que curiosamente corresponden a rocas tomadas en superficie, muestra tendencia a concentrarse en las zonas de mayor alteración, lo que se explica porque los minerales refractarios son resistentes a la lixiviación. Al igual que ocurre con el U, los valores medios del torio son mayores en las rocas de carácter ampelítico que en el resto.

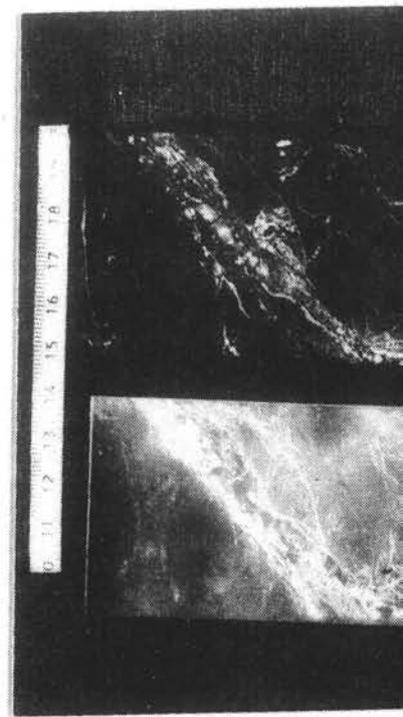
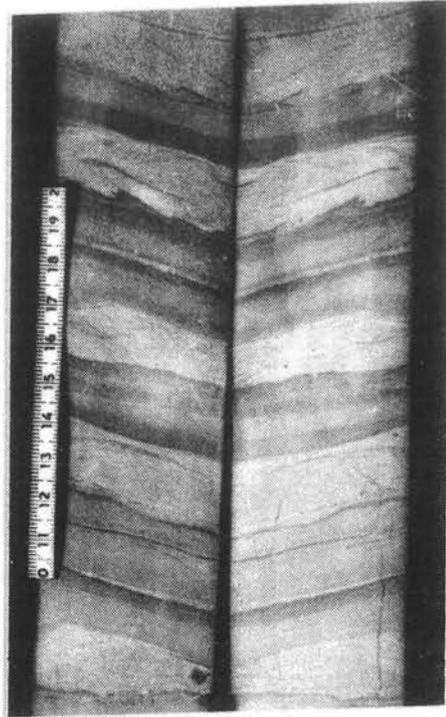
A la vista de los resultados obtenidos, se realizó un desmuestre geoquímico de aproximadamente 400 muestras, tomadas a lo largo de un flanco del sinclinal de Gallegos de Argañan, que atravesó la mayor parte de la serie estratigráfica y que se analizó para conocer la distribución del U y Th en los metasedimentos del C.X.G. Por el momento y en espera de los datos que se obtengan en otros desmuestres que se están llevando a cabo en diferentes puntos y a lo largo de toda la serie estratigráfica, se puede adelantar lo siguiente:

- en general, el contenido medio en U es mayor en las rocas ampelíticas.
- un gran número de muestras tienen un alto contenido en uranio, hasta 60 ppm.
- casi todas estas muestras corresponden a filitas ampelíticas.

BIBLIOGRAFIA

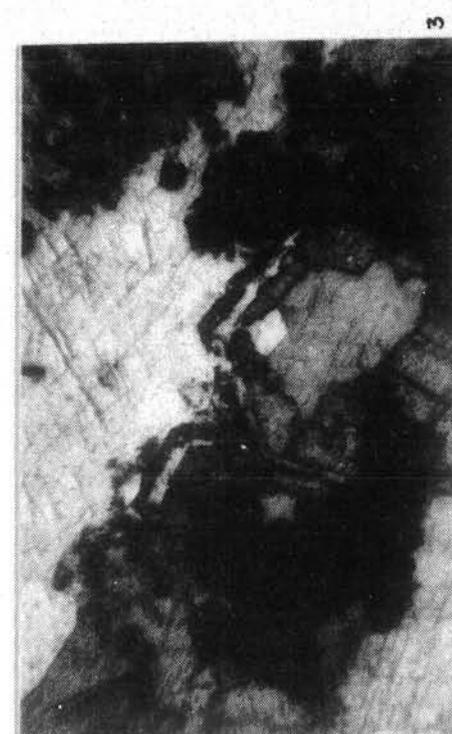
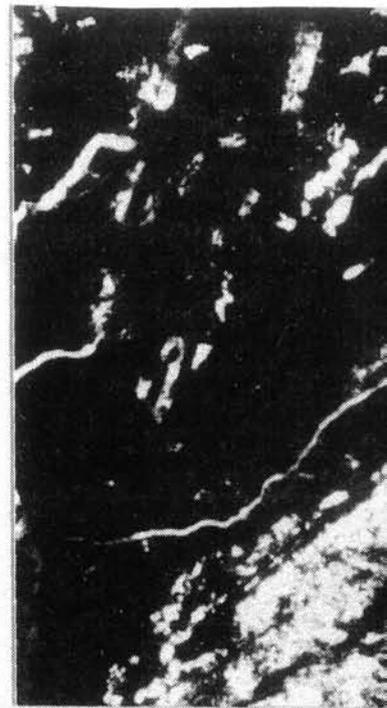
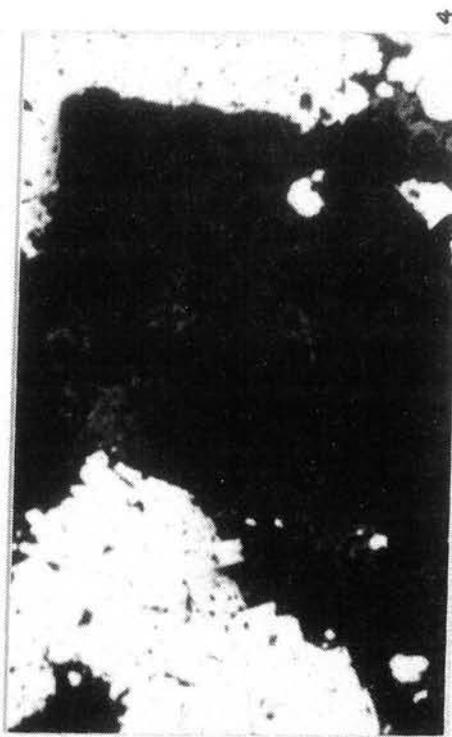
- ARRIBAS, A. (1962). Mineralogía y metalogenia de los yacimientos españoles de uranio. Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca. *Est. Geol.*, 18, 155-172 Acad.
- ARRIBAS, A. (1970). Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca. *Studia Geológica I*, 7-45. Univ. Salamanca.
- ARRIBAS, A. (1980). Sobre el origen de las mineralizaciones españolas de uranio en rocas metasedimentarias. Libro Jubilar J.M. Ríos. *Geología de España Tomo II*. IGME (en prensa).
- ARRIBAS, A. (1984). Sobre el origen y los mecanismos de transporte y deposición del uranio en los yacimientos en pizarras de la provincia de Salamanca. El caso de la Mina Fe. *Tecniterrae* (en prensa).
- CARNICERO, A. (1980). Estudio petrológico del metamorfismo y los granitoides entre Ciperez y Aldea del Obispo. Oeste de la provincia de Salamanca. Tesis Doctoral. Univ. de Salamanca.
- COMA, F. (1983). Litología, tectónica y mineralización del yacimiento Fe. Saelices el Chico Salamanca. VIII Reunión de Geología del Oeste Peninsular.
- CORRETGE, G. y LOPEZ PLAZA, M. (1976). Geología del área granítica y metamórfica al Oeste de Ciudad Rodrigo. I El complejo esquisto-grauváquico. *Studia Geológica* 11, 121-149. Univ. de Salamanca.
- CORRETGE, G. y LOPEZ PLAZA, M. (1977). Geología del área granítica y metamórfica al Oeste de Ciudad Rodrigo. II. Las rocas graníticas. *Studia Geológica* 12, 47-73. Univ. de Salamanca.
- FERNANDEZ POLO, J.A. (1965). Estudio geológico de los yacimientos de uranio del Oeste de la provincia de Salamanca. Tesis Doctoral. Univ. de Barcelona.
- OEN ING SOEN (1970). Granite intrusion, folding and metamorphism in Central northern Portugal. *B.G.M.* 81, 198-271.

LAMINA I



2. Secuencias pelítico-arenosas en las proximidades de los tramos conglomeráticos al sur de Gallegos de Argañan.
3. Aspecto de los pliegues de primera fase en una alternancia de términos pelíticos y cuarcíticos. Río Agueda.
4. Aspecto en un testigo mostrando una secuencia pelítico-areniscosa rítmica.
5. Tres fragmentos pertenecientes a un tramo brechificado del sondeo «25 N 50» de Alameda Sur.
6. Testigo de sondeo mineralizado y autoradiografía sobre placa CR-39 en la que quedan perfectamente marcadas las zonas uraníferas.

LAMINA II



La preparación para el A 200.
Pirita, marcasita y esfalerita. Esta última acompañada frecuentemente las mineralizaciones uraníferas de Alameda Sur.

2. Preparación pulida, NC x 200.
Misma zona que la anterior con nicoles cruzados. Observese los abundantes reflejos internos de la esfalerita y la isotropía de la pechblenda.
3. Preparación transparente, NP x 60.
Carbonatos formados junto con la pirita y corroídos por una generación posterior de ellos.
4. Preparación pulida, NC x 50.
Aspecto de una brecha mineralizada con pirita, marcasita, esfalerita, pechblenda, cofinita y carbonatos.
5. Preparación pulida, LN x 200.
La pirita y marcasita y demás sulfuros son los primeros minerales en depositarse. Rodeándolos se encuentran los minerales radiactivos y rellenando los huecos los carbonatos.
6. Preparación transparente, NC x 25.
Brecha mineralizada en la que se observan los rellenos cloríticos y carbonatados despositados en último lugar.

COLOQUIO

F.J. GONZALO CORRAL pregunta sobre la relación entre la fracturación asociada a charnelas de pliegues y edad tardía de esta fracturación.

MARTIN IZARD: Existe un condicionamiento de la fracturación por el plegamiento dado que en la zona de charnelas y flancos de pliegues, tal como indica F. Coma (1983), en la mina Fé, hay una silicificación y pequeño cabalgamiento en los flancos inversos.

L.C. GARCIA DE FIGUEROLA opina que la mineralización del Uranio procede de las pizarras negras.

MARTIN IZARD: Si, en principio es de las pizarras negras.

L.C. GARCIA DE FIGUEROLA pregunta sobre la Dirección y Buzamiento de las zonas de trituración mineralizadoras.

A. MARTIN IZARD: No hay una sola dirección dominante pero si varias preferentes.

F. NOVONHA: ¿La mineralización está controlada solamente por zonas de fracturación o también por alguna litología como por ejemplo la presencia de materia orgánica?

A. MARTIN IZARD: La mineralización solo por zonas de fractura, pero el Uranio lo está geoquímicamente por la litología.

F. NOVONHA: ¿Cuál es la posición de la adularia en la secuencia mineral? y ¿Cuál es el tipo de la clorita?

A. MARTIN IZARD: La adularia es la primera en depositarse incluso anterior a los sulfuros. La clorita es de tipo ferroso, pero no está determinada.