

ESTUDIO GEOQUIMICO DE LOS METASEDIMENTOS DEL COMPLEJO ESQUISTO-GRAUVAQUICO COMO POSIBLE FUENTE DEL U DE LOS YACIMIENTOS DEL OESTE DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA

A. MARTIN-IZARD *, A. ARRIBAS ROSADO *, J. HERRERO PAYO **

RESUMEN.— Las últimas hipótesis sobre el origen de los yacimientos de U situados en las pizarras del complejo-esquistos grauváquico (C.E.G.) consideran como fuente del U los propios metasedimentos encajantes, fértiles, a partir de los cuales se habría concentrado dicho elemento en las brechas y fracturas que constituyen estos yacimientos.

Con objeto de comprobar la validez de esta teoría se ha llevado a cabo un estudio geoquímico, sistemático de los metasedimentos del C.E.G. situados al O. de C. Rodrigo. Este estudio se ha efectuado en tres etapas sucesivas, una previa, otra piloto, y otra sistemática.

El estudio previo demostró la posibilidad de efectuar los análisis utilizando muestras de superficie, mientras que el estudio piloto confirmó la existencia de niveles anómalos en U dentro de los niveles pelíticos. En consecuencia, el estudio sistemático se llevó a cabo sobre los diferentes materiales que forman la columna estratigráfica generalizada del C.E.G. en la zona, para lo que se tomaron 796 muestras pertenecientes a 3 perfiles y 2 sondeos.

Las rocas analizadas pertenecen a los siguientes tipos litológicos: filitas ampelíticas, sericíticas y cuarzo-sericíticas, cuarcitas, conglomerados, y rocas carbonatadas y anfibólicas. A su vez, y con el fin de comprobar si existía alguna relación entre el U y otros elementos menores, se analizaron el S, y el C orgánico y total.

De todos los elementos analizados se hallaron el valor medio y las desviaciones típicas y standard, considerando como valores normales los comprendidos entre la media y esta más menos una desviación, mientras que se consideraron como anómalos los análisis que superaban o quedaban por debajo de este último valor.

Los resultados obtenidos demuestran que existe una relación directa entre el carácter ampelítico de la roca y su contenido en U, y que la mitad de este elemento puede considerarse como lábil y, por tanto, fácilmente movilizable. Además, los niveles anómalos tienen gran continuidad y han podido detectarse en todos los perfiles realizados.

* Dept. de Geología y Mineralogía. Universidad de Salamanca.

** División de Minería. ENUSA. Salamanca.

Por lo que se refiere al Th, Ni, Cu, Zn, Ti y Fe, existe también una relación directa entre el contenido en U y estos elementos, y el carácter ampelítico de la roca.

Los valores anómalos del C orgánico corresponden a las de carácter ampelítico. El P y S, aunque en superficie tienen gran dispersión, en los testigos de sondeo muestran una perfecta correlación con los otros elementos analizados.

En consecuencia, es posible admitir que el U ha sido extraído de los metasedimentos, y concentrado en las brechas y fracturas en las que se encuentra actualmente, por diversos procesos, entre ellos, un flujo hidrotermal convectivo de carácter geotérmico.

ABSTRACT.— The results of systematic geochemical study of the different lithologies making up the Late Precambrian-Lower Paleozoic schist and graywacke complex (C.E.G.), are given in this paper. The purpose of this study was to verify if the metasediments, which are the host-rock of several uranium deposits, are the source of the uranium contained in some rich orebodies located in the western region of the Salamanca province. The study was carried out in three successive stages: preliminary, previous and systematic.

Completion of the first two stages resulted respectively in the evidence of stratigraphic levels showing anomalous uranium contents and the feasibility of sampling to carry out the systematic stage, in which 796 samples, covering all C.E.G. lithologies, were analyzed.

The results proved the existence of a direct relationship between the ampelitic character of the rocks and the uranium content, as well as a great lateral continuity of the anomalous layers. Furthermore, a perfect correlation between the uranium and some other trace elements was verified after a comparative statistical analysis. Therefore, it seems likely to admit that the uranium actually concentrated in fractures and breccias was leached from the fertile metasediments.

I. INTRODUCCION

La presencia en el O. peninsular de numerosas mineralizaciones uraníferas encajadas en rocas metasedimentarias, las cuales constituyen un nuevo tipo metalogénico, han sido objeto últimamente de diversos trabajos (Arribas 1980, 1984; Arribas y otros, 1983 y 1984; Martín-Izard y Arribas 1984; Martín-Izard, 1985), a propósito del origen, modo de transporte y deposición del U que ha dado lugar a los numerosos indicios y yacimientos. Según estos autores, la fuente de U se podría encontrar en las rocas encajantes fértiles es decir, las que contienen alto fondo geoquímico en dicho elemento de la serie metasedimentaria.

Las rocas encajantes de estas mineralizaciones pertenecen todas ellas al Complejo Esquisito-Grauváquico (C.E.G.), las cuales (Arribas y otros, 1983; Martín Izard y Arribas, 1984; Martín-Izard, 1985) se depositaron en una plataforma continental o mar epicontinental de naturaleza siliciclástica en la que se desarrollaron durante largos períodos de tiempo condiciones anóxicas, con deposición de materiales ampelíticos ricos en materia carbonosa y sulfuros de Fe.

Con el objeto de comprobar si, efectivamente, los metasedimentos del C.E.G. han podido ser la fuente de U, se ha llevado a cabo un estudio geoquímico sistemático de todas las litologías que lo forman para ver si, se produjo también un enriquecimiento parcial en algunos elementos metálicos, particularmente en U.

2. ANTECEDENTES

Este estudio ha sido llevado a cabo en tres etapas. La primera consistió en un estudio previo (Arribas y otros, 1983), con el objeto de poder definir y controlar las variables que podrían incidir en una investigación de esta clase y ver si este era representativo con muestras tomadas en superficie. El estudio se llevó a cabo con 41 muestras tomadas en diferentes litologías, a diferentes profundidades respecto de la superficie y de las que se analizó U total, U labil y Th. Se pudo comprobar que, mientras la materia carbonosa no se encontrara oxidada un estudio de estas características era perfectamente viable con muestras tomadas en superficie. Por otro lado, también se vió que, en general, las litologías de carácter ampelítico presentaban mayores contenidos en U.

Teniendo en cuenta los positivos resultados alcanzados en el estudio previo, se llevó a cabo un estudio geoquímico piloto (Arribas y otros, 1983), a partir de 322 muestras tomadas a lo largo del eje del sinclinal de Gallegos de Argañán (Fig. 1) y de manera que se abarcara la mayor parte de la serie estratigráfica general. Con este trabajo se comprobó que, el contenido medio en U es claramente mayor en las rocas de carácter ampelítico, que muchas muestras tienen altos contenidos en U, llegando a alcanzar valores de 60 ppm y que, casi todas las muestras anormales corresponden a filitas de carácter ampelítico.

3. ESTUDIO SISTEMATICO

Tomando como base los positivos resultados obtenidos en las fases anteriores, y para comprobar si las rocas metasedimentarias podrían ser la fuente del U que dió lugar a las mineralizaciones situadas en las brechas y fracturas del C.E.G., se llevó a cabo un desmuestre geoquímico sistemático de la columna estratigráfica. Para ello, se tomaron muestras según perfiles transversales a las grandes estructuras tectónicas (Fig. 1), concretamente, el anticlinal de Alameda, y los sinclinales de Villar de la Yegua, y Castillejo de Martín Viejo. Además, para com-

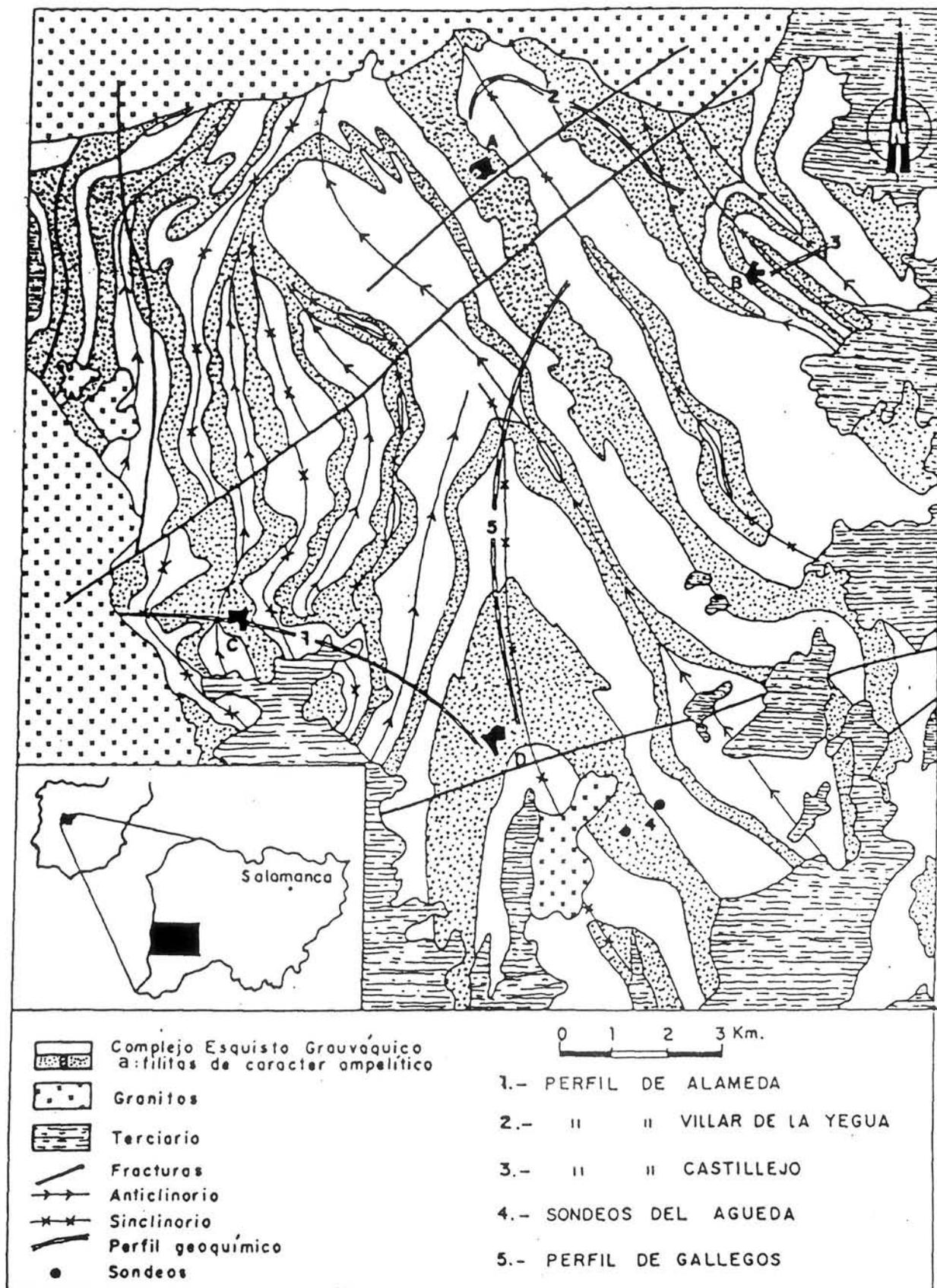


Figura 1: Esquema litoestructural del C.E.G. al O. de Ciudad Rodrigo.

probar las variaciones del contenido en los elementos analizados, y especialmente del U, se demostraron dos sondeos realizados en el flanco occidental del anticlinal del Agueda, en un área afectada únicamente por la primera fase tectónica, con el fin de evitar la repetición de unidades litológicas. (Arriba y otros, 1984). El criterio seguido para el demuestre fue el analizar todas y cada una de las diferentes litologías existentes en la columna estratigráfica regional, y cuando aquellas superaban los 5 m. de potencia, se tomaron varias muestras de acuerdo con la anchura del tramo.

También, para demostrar las rocas que estaban parcialmente oxidadas y/o alteradas en superficie, se escavaron pequeños pocillos hasta encontrar la roca fresca. Por último, al tiempo que se realizaba el demuestre, se midió la radiometría de cada una de las rocas con un escintilómetro SPP2NF.

Para el análisis químico, se tomaron aproximadamente 3 kg. de cada muestra, poniendo especial cuidado de no cogerlas de rocas brechificadas y fracturadas, ya que es en este tipo de materiales donde se encuentran normalmente las mineralizaciones.

A lo largo de los tres perfiles y dos sondeos, se tomaron un total de 795 muestras distribuidas de la siguiente forma:

- Perfil 1 (Alameda, fig. 1,1) = 252 muestras.
- Perfil 2 (Villar de la Yegua, fig. 1,2) = 261 muestras.
- Perfil 3 (Castillejo, fig. 1,3) = 99 muestras.
- Sondeos (anticlinal del Agueda, fig. 1,4) = 183 muestras.

En todos estos perfiles se han diferenciado los siguientes grupos litológicos.

Filitas de carácter ampelítico; filitas sericíticas y cuarzo-sericíticas; micacitas, cuarcitas y conglomerados; y rocas carbonatadas y anfibólicas.

De los cuatro tipos de rocas definidos en el área los dos primeros son los más abundantes. Con el fin de establecer la distribución geoquímica dentro de las diferentes facies, para cada una de las muestras se determinaron, por espectrometría U_{total} , U_{labil} , y Th y por fluorescencia de rayos X por energía dispersiva Ni, Cu, Zn, Ti, Fe, y P. Así mismo, se analizaron de 151 muestras representativas de todos los tipos litológicos, S, C orgánico y C total.

Además para una mejor interpretación del significado de los valores obtenidos, para cada uno de los elementos analizados, se halló el valor medio y las desviaciones media y estandar. Todos los valores comprendidos entre el medio y este más o menos una desviación, han sido considerados como normales, y únicamente se han considerado como anómalos los que quedan por encima o por debajo de los valores antes mencionados.

Con estos resultados y teniendo en cuenta las características litológicas de cada una de las muestras, se ha efectuado un estudio comparativo entre ellas, pa-

ra ver las posibles relaciones existentes entre las que presentan valores anómalos, ya sean altos o bajos —aunque haciendo hincapié en los primeros— y poniendo particular atención para determinar las relaciones entre las características litológicas y los contenidos en U y los demás elementos.

Por lo que se refiere a la distribución del U, Arribas y otros (1984), exponen los primeros resultados obtenidos en este estudio sistemático, observándose ya entonces que, las rocas más interesantes por sus contenidos en U son las filitas de carácter ampelítico las cuales a su vez, representan un importante porcentaje dentro de las pizarras del C.E.G., por lo que, existen grandes volúmenes de roca fértil.

Por otro lado los niveles estratigráficos que poseen un alto contenido en U tienen, en general, gran continuidad lateral, por lo que han sido identificados en todos los perfiles realizados, permaneciendo muy constante la relación U_{total}/U_{lib} en todas las muestras.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo para el U quedan representados en la tabla 1 y se resumen a continuación.

TABLA 1: Distribución estadística del U en los diferentes tipos de roca del C.E.G.

Litología	Nº de muestras	> 10 ppm	> 17 ppm (X + n)	> 20 ppm	> 30 ppm
Filitas de carácter ampelítico	372	77 (21%)	32 (8.6%)	28 (7.5%)	14 (3.7%)
Filitas sericíticas	328	13 (3.9%)	1 (0.3%)	0	0
Micacitas, cuarcitas y conglomerados	79	7 (8.8%)	0	0	0
Rocas carbonatadas y anfibólicas	16	1 (6.2%)	0	0	0

Ninguna roca perteneciente a micacitas, cuarcitas, conglomerados, rocas carbonatadas y anfibólicas contienen valores anómalos en U, esto es, sus contenidos no están por encima de la medida más la desviación, valor este situado en 17 ppm.

En cuanto al contenido en U de las filitas sericíticas, únicamente la muestra P-1-247 tiene un valor superior a 17 ppm, llegando a 17.6.

Sin ninguna duda y tal y como se venía apuntando, las rocas más interesantes por sus contenidos en U son las filitas de carácter ampelítico, caracterizadas a su vez por sus altos contenidos en materia carbonosa y sulfuros de Fe.

— De las 33 muestras anómalas en U, 32, es decir el 97% corresponden a filitas de carácter ampelítico. Dentro de esta litología las 32 muestras representan el 8,6% del total de rocas ampelíticas. Además, 14 muestras, lo que supone un 3,7%, dan más de 30 ppm, siendo de destacar que 4 de ellas contienen 90, 111, 169 y 198 ppm.

— La relación $U_{\text{lábil}}/U_{\text{total}}$ en el total de las rocas analizadas es 0.5, siendo las desviaciones media y standard inferiores a 0.12, por lo que, en principio, la mitad del U contenido en las rocas del C.E.G. es lábil y, por tanto, fácilmente lixiviable y movilizable.

— Además, y como era igualmente de esperar, existe una relación directa entre los contenidos en U y los valores radiométricos medidos con el SPP2, es decir, no hay ningún tipo de desequilibrio radiométrico.

— Los análisis realizados han demostrado la presencia en C.E.G. de niveles ampelíticos con alto contenido en U. Estos horizontes han sido detectados en todos los perfiles realizados, lo que demuestra la existencia de niveles estratigráficos, de carácter reductor, que tienen una gran continuidad lateral.

— Existen 2 muestras la P-37, y la P-38, cuyos contenidos en U_{total} son elevados —91 y 36 ppm respectivamente— mientras que los de $U_{\text{lábil}}$ son prácticamente nulos. El análisis mineralógico ha permitido comprobar que ambas —situadas una a techo y otra a muro del mismo nivel— eran ricas en circón, lo que explica el porqué de dichos valores anómalos.

Por lo que se refiere a los valores de Ni, Cu, Zn, Ti y Fe, los resultados obtenidos se resumen así:

— De un total de 325 muestras anómalas en alguno de esos elementos 192 es decir, el 60% del total, corresponden a filitas de carácter ampelítico; 115, el 34% a filitas sericíticas; 9, al 2.5% a cuarcitas y conglomerados, y 8, el 2.5% a rocas carbonatadas y anfibólicas. Cabe señalar que ninguna muestra perteneciente a las dos últimas litologías es anómala en Ti ó en Fe.

— Considerando la media más dos desviaciones, media y standard, hay un total de 65 muestras que sobrepasan este valor. De estas muestras, 39, lo que supone el 61%, corresponden a filitas de carácter ampelítico; 20, el 30% a filitas y cuarcitas sericíticas; 4 el 6%, a calizas y anfibolitas; y 2, el 3% a cuarcitas y conglomerados. Estos valores permiten afirmar que, aunque no tan marcadamente como en el caso del U, la mayor parte de las muestras anómalas en alguno de estos 5 elementos pertenece a filitas de carácter ampelítico. —

— Cabe señalar, además, que de las 33 muestras anómalas en U, 26, es decir el 79%, lo son también en alguno de aquellos 5 elementos, existiendo pues una relación directa entre las anomalías geoquímicas en U y las correspondientes al Ni, Cu, Zn, Ti y Fe. Por otro lado, 6 de las 7 muestras anómalas en U, pero no

en los otros elementos, están situadas entre muestras que si lo son. Por ello, únicamente la muestra P-2-53, anómala en U, no está directamente relacionada o comprendida entre las que presentan contenidos anómalos en Ni, Cu, Zn, Ti y Fe.

— Cabe señalar que las muestras P-1-26, S-136, P-2-105 y A-47, ésta última correspondiente al estudio geoquímico previo, situados en diferentes perfiles pero con contenidos anómalos en U y los otros 5 elementos, se encuentran en un mismo nivel estratigráfico.

— De las muestras cuyos contenidos geoquímicos en U, Ni, Cu, Zn, Ti y Fe son inferiores a la media menos una desviación, únicamente el 10% corresponde a filitas de carácter ampelítico; el 11%, a filitas y cuarcitas sericíticas; el 50%, a cuarcitas y conglomerados; y el 29% a rocas carbonatadas y anfibólicas. Si se tiene en cuenta que más de 85% de las rocas analizadas son filitas, ya sean ampelíticas o sericíticas, y que el 80% de las que muestran bajos contenidos geoquímicos en los elementos citados pertenecen a cuarcitas, conglomerados y rocas carbonatadas y anfibólicas, puede decirse que, tal y como era de esperar, estas litologías son prácticamente estériles en dichos elementos, y que, por tanto, no presentan condiciones para ser rocas fuente del U.

— Los análisis del P muestran una mayor dispersión que la de los otros elementos, no observándose, en las muestras tomadas en superficie, relación alguna entre la distribución del P, las diferentes litologías, y el contenido en los otros elementos. Sin embargo, en las muestras de los sondeos, sí que existe una clara relación entre las filitas ampelíticas, anómalas en U, y las que muestran contenidos anómalos en P y alguno de los otros 5 elementos. Cabe pensar, pues, que el P se ha comportado como un elemento extremadamente móvil, por lo que, en las muestras de superficie, que siempre están parcialmente oxidadas, su distribución es muy irregular.

Por lo que se refiere a los análisis de C orgánico, C total, y S cabe destacar los siguientes resultados:

— Todas las muestras ricas en C orgánico corresponden a filitas ampelíticas y sericítico-ampelíticas, siendo muy bajo el contenido de dicho elemento en las restantes litologías. Así, en las rocas de carácter ampelítico, el contenido medio se sitúa en un 0.51% llegándose a alcanzar valores de hasta 2.79%, mientras que en las restantes rocas dichos valores son 0.13% y 0.5%. Ello pone de manifiesto la estrecha relación existente entre el color de la roca y su contenido en C orgánico.

— El contenido medio en S muestra una clarísima diferencia entre las muestras de superficie y las procedentes de los sondeos. Así, mientras que en las primeras dicho contenido es de 0.07%, en las últimas es de 0.5% lo que indica claramente que las muestras de los perfiles P1, P2 y P3 están parcialmente alteradas y con la pirita oxidada. Sin embargo, los valores correspondientes al Fe son muy

parecidos, lo que indica que la mayor parte de este elemento permaneció en las rocas como óxido.

— Las escasas muestras de superficie que presentan una distribución irregular del C orgánico, ya sea ésta positiva o negativa, deben esta condición, en el primer caso, a la presencia de material vegetal —tal y como ocurre con la P-1-62— o, en el segundo caso, a la fuerte alteración de la roca —muestra P-2-53—.

— En los sondeos, donde las rocas no están alteradas el valor medio del contenido en S de los materiales de carácter ampelítico es del 1.6% alcanzándose valores de hasta 4.4%, mientras que en el resto de las rocas es de 0.56% con un máximo del 1.48%.

— También en los sondeos, el contenido en C orgánico de las rocas de carácter ampelítico alcanza un valor medio de 0.5%, mientras que en el resto de las litologías es del 0.18%, valores ambos muy próximos a los obtenidos en los desmuestres de superficie, por lo que se puede considerar que el C orgánico ha sido menos móvil que el S.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por el estudio geoquímico sistemático permiten llegar a las siguientes conclusiones:

— La mayoría de las muestras cuyo contenido en U es mayor que 17 ppm corresponden a filitas de carácter ampelítico, existiendo únicamente una filita sericitica que alcanza un valor semejante. Esto indica que el U se depositó casi exclusivamente en los sedimentos que contenían abundante materia carbonosa y sulfuros de Fe, es decir, en los de carácter reductor.

— Junto con el U, la materia carbonosa y el S se depositaron otros elementos —entre ellos, Ni, Cu, Zn, Ti, Fe y P— que muestran, cuando las rocas son frescas, una estrecha relación entre el contenido en U, C orgánico y S, y el carácter reductor de las pizarras.

— Los niveles estratigráficos que presentan valores anómalos en U, Ni, Cu, Zn, Ti, Fe y P tienen, por lo general, una gran continuidad lateral, y por ello han sido identificados en todos los perfiles.

— Las filitas de carácter ampelítico, muy abundantes en el área, representan más de 40% de la serie estratigráfica, por lo que en esta parte del C.E.G. existe un enorme volumen de roca fértil. Por otro lado, dado que la relación $U_{\text{libil}}/U_{\text{total}}$ se mantiene constante en todas las rocas analizadas, tanto las de superficie como las de los sondeos, la cantidad de U movilizable es, en principio, muy im-

portante, y capaz de explicar que, por lixiviación de las pizarras del C.E.G. se ha podido movilizar y redepositar el importe tonelaje de U_3O_8 que se encuentra en las estructuras mineralizadas.

A la vista de los positivos resultados obtenidos por la geoquímica con los que se demuestra que son los esquistos ampelíticos los que tienen mayor contenido en U, puede aceptarse como válida la hipótesis de que estos materiales son la fuente del uranio que dió origen a los yacimientos encajados en los propios esquistos. Aparte del U, el S es también muy abundante en los esquistos ampelíticos, los cuales contienen una gran cantidad de pirita diagenética en los planos de esquistosidad.

En cuanto al Ni y Cu, es necesario destacar un dato altamente significativo: como resultado de la lixiviación de las eras para la extracción del U de la mina Fé, junto con este elemento se concentran más de 150 ppm de Ni y alrededor de 75 ppm de Cu, lo que puede ser consecuencia del alto stock geoquímico que, de estos dos elementos tienen las rocas encajantes de las mineralizaciones uraníferas; lo que está de acuerdo con la presencia, aunque escasa, de calcopirita entre los minerales de la paragénesis.

Por lo que se refiere al Ti, tal y como se ha indicado anteriormente hay una gran abundancia de rutilo en los metasedimentos, lo que explica la riqueza de éstos en dicho elemento.

La presencia de esfalerita entre los minerales que forman la paragénesis uranífera indica que el Zn se movilizó a partir de los metasedimentos junto con el U, lo que sería consecuencia del alto stock geoquímico que las pizarras tienen en dicho elemento.

Por lo que se refiere al P, por el contrario apenas si existe este elemento en los esquistos ampelíticos. Ello explica la relativa escasez de fosfatos entre los minerales secundarios de U, los cuales son, en su mayor parte, silicatos.

Todos estos datos mineralógicos vienen a confirmar los resultados obtenidos por la geoquímica, esto es, que en ciertos tramos de la serie sedimentaria se depositaron también, junto con el U, S y la materia carbonosa, cantidades más o menos significativas de otros elementos especialmente Fe, Ni, Cu y Zn.

Por lo que se refiere a las causas que pudieron dar lugar a este enriquecimiento, HEINRICH (1966) ha recogido numerosas referencias en las que se señala que, en condiciones reductoras, el U puede ser extraído de la propia agua del mar, pasando a formar parte de los sedimentos. Por otra parte, MULLER y HALBACH (1983), indican también que el U contenido en ciertos sedimentos lacustres recientes y ligado a materia orgánica procede de la lixiviación de rocas volcánicas próximas.

En consecuencia, una situación similar podría haber tenido lugar durante la deposición de los sedimentos del C.E.G., en cuyo caso, el enriquecimiento de es-

tos últimos en U podría haber sido debido a la extracción de este elemento, en condiciones anóxicas, a partir del agua marina. A su vez, el uranio se podría haber acumulado en esta última por diferentes procesos. Entre otros, por la meteorización y erosión de la corteza continental, por lixiviación de rocas volcánicas—lavas y rocas piroclásticas—, medios todos ellos ricos en uranio, o por el aporte directo de U al medio de sedimentación a través de procesos exhalativos relacionados con fracturas existentes en la plataforma.

En este sentido, cabe señalar que, de acuerdo con los trabajos de DEGENS y otros (1977), diversos tipos de organismos de tipo planctónico pueden fijar en sus estructuras celulares elementos pesados, entre ellos el U. Por este proceso biológico, se pueden acumular en dichos organismos concentraciones hasta 10.000 veces superiores a las del agua marina, en donde los valores medios son inferiores a una decena de ppb. De esta forma, las concentraciones en aquellos organismos pueden alcanzar valores de varias decenas de ppm, pudiendo crecer este valor en función de la mayor abundancia de U en el medio. Por ello, los citados autores deducen que las condiciones reductoras en la cuenca de sedimentación sirven únicamente para preservar la materia orgánica rica en U, y no precisamente para fijar este elemento.

En consecuencia, el U de las pizarras ampelíticas pudo ser fijado por este proceso, es decir, que el plancton marino habría dado lugar en los sedimentos a concentraciones más o menos elevadas de U y otros elementos a partir del agua marina. Estos elementos habrían permanecido en las rocas sedimentarias gracias a las condiciones anóxicas del medio, las cuales impidieron la destrucción de los complejos que la materia orgánica formaba con el U y otros elementos pesados.

El ejemplo mejor conocido de este tipo de fijación anóxica de uranio en rocas sedimentarias es el del Mar Negro (DEGENS y otros, 1977), en donde la concentración media de U en el agua marina es de unas 3 ppb, mientras que en los sedimentos las concentraciones llegan a alcanzar valores de hasta 50 ppm. En este caso, la baja concentración del U en el agua marina se explica por la ausencia de dicho elemento en los aportes a la cuenca de sedimentación (DEGENS y ROSS, 1974), mientras que el U fijado en la materia orgánica se debe a los procesos metabólicos celulares del plancton existente en el agua del mar.

Por último la presencia en el C.E.G. de niveles ampelíticos ricos en Mn, el cual aparece en forma de espessartita, podría también ser indicativo de acciones exhalativas submarinas en un medio anóxico.

En resumen, se puede decir que, desde el punto de vista metalogénico, los resultados del estudio geoquímico de las filitas ampelíticas hacen viable la hipótesis de que, dadas las características sedimentológicas de las series del C.E.G. en esta zona, el U que forma las mineralizaciones situadas al Oeste de Ciudad Ro-

drigo ha podido ser extraído de los propios metasedimentos fértiles, es decir, de los que tienen un alto contenido geoquímico en dicho elemento.

La concentración del U en las brechas y fracturas en la que se encuentran actualmente la mineralización, podría ser debida a diversos procesos, entre los que destacan un flujo hidrotermal convectivo de carácter geotérmico (Arribas, 1984; Arribas y otras, 1983; Martín-Izard, 1985). Su funcionamiento sería similar al denominado bombeo sísmico, propuesto por Sibson y otros (1975), para explicar el origen de ciertas mineralizaciones hidrotermales de Pb-Zn.

BIBLIOGRAFIA

- ARRIBAS, A. (1980). Sobre el Origen de las mineralizaciones españolas de uranio en rocas metasedimentarias. *Libro Jubilar J.M. Rios. Geología de España; tomo II*. I.G.M.E. (en prensa).
- ARRIBAS, A. (1984). Sobre el origen de los yacimientos filonianos de uranio en rocas metasedimentarias: el caso de mina Fé (Salamanca) España. *En «On Vein-Like uranium deposit»*; Int. Atom. ENEG., Viena, 211-234.
- ARRIBAS, A., MARTIN-IZARD, A., 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 de Geol. del Oeste Peninsular. Stud. Geol.*; XVIII; 201-224.
- ARRIBAS, A., MARTIN-IZARD, MONTES, J. (1984). Distribución Geoquímica del uranio en los measedimentos del C.E.G. al Oeste de la provincia de Salamanca. *VIII Congreso Intern. de Min. y Metalurgia*, Barcelona; 1; 353-358.
- DEGENS, E.T. y ROOS, P.A. (1974). The Black Sea: Geology, Chemistry and Biology. *Amer Ass. Petrol. Geol. Mem.*; 20, Tulsa, Oklahoma.
- DEGENS, E.T., KHOO, F., MICHAELIS, W. (1977). Uranium anomaly in Blanck Sea Sediments. *Nature*; 269; 566-569.
- HEINRICH, E.W. (1966). Geología y Mineralogía de las materias primas radiactivas. *Ed. Omega*. Barcelona.
- MARTIN-IZARD, A. (1985). El origen de los yacimientos de uranio en las pizarras del Complejo Esquisto-Grauváquico. *Tesis Doctoral Universidad de Salamanca*.
- MARTIN-IZARD, A., ARRIBAS, A. (1984). Relaciones entre la estratigrafía y las mineralizaciones uraníferas del Complejo Esquisto-Grauváquico en el Oeste de la Provincia de Salamanca. *I Congreso Español de Geología*. II; 577-587.

MULLER, A., HALBACH, P. (1983) the Anderson Mine (Arizona) an early diagenetic uranium deposit in Mioceno lake sediments. *Economic Geol.*; 78; 275-292.

SIBSON, R.H., MOORE, J., RANKIN, A.H. (1975) Seismic Pumping. A hydrothermal fluid transport mechanism. *Jour. Geol. Soc.*; 131; 311-350.

(Presentado por el Dpto. de Mineralogía el 11-October-1985)