

CARACTERES GEOLOGICOS DE LOS YACIMIENTOS ESPAÑÓLES DE URANIO

Su importancia económica e interés
en el desarrollo energético del país

A. ARRIBAS*

RESUMEN.—Se resumen en este trabajo los principales caracteres petrográficos, mineralógicos y metalogénicos de los más importantes indicios y yacimientos españoles de minerales radiactivos, así como las teorías más recientes sobre la génesis de los yacimientos encajados en los granitos y rocas metamórficas. Ello permite establecer una clasificación metalogénico-estructural de las mineralizaciones españolas y definir las relaciones que existen entre ellos y otros yacimientos de la provincia uranífera europea. Finalmente, en función de sus reservas de uranio y necesidades energéticas, se valora la posición que ocupa España entre los países productores de materias primas radiactivas.

SUMMARY.—The main petrological, mineralogical and metallogenic features of the Spanish radioactive occurrences, and the more recent ideas on the genesis of several important deposits located in some granitic and metamorphic rocks are summarized in this paper. As a result, an attempt is made to classify the Spanish uranium deposits according to their structural and metallogenic character, and to discuss their relations with other deposits of the European uraniferous hercynian province. Finally, the position of Spain among the radioactive raw materials producing countries is evaluated considering the Spanish uranium resources and the energy demand until the end of the century.

INTRODUCCION

Los estudios efectuados en España a lo largo de estos últimos veinte años por la Junta de Energía Nuclear y algunos otros organismos estatales y pri-

* Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Salamanca.

vados, especialmente el Departamento de Mineralogía de la Universidad de Salamanca, han permitido obtener un conocimiento bastante completo de las mineralizaciones radiactivas existentes en nuestro país y de las posibilidades que éste ofrece para el descubrimiento de nuevas mineralizaciones de uranio. En consecuencia, el poder comparar ahora, en este trabajo, los caracteres geológicos y metalogénicos considerando en conjunto los más importantes indicios y yacimientos radiactivos conocidos hasta hoy en España, ha hecho posible:

- definir los caracteres petrográficos y mineralógicos de los yacimientos españoles teniendo en cuenta la naturaleza de las rocas encajantes, las transformaciones físico-químicas, la mineralización y las gangas.
- establecer hipótesis sobre el origen de dichos yacimientos analizando, para cada uno de los tipos representativos, las relaciones que existen entre sus paragénesis, sucesión mineral y factores de concentración.
- proponer una clasificación mixta, metalogénico-estructural, de las mineralizaciones españolas, y
- comparar los yacimientos españoles con otros extranjeros precisando la posición que España ocupa dentro de la provincia uranífera europea.

Por otra parte, una revisión del estado actual de las reservas españolas de uranio, calculadas por los trabajos de prospección y valoración efectuados por la Junta de Energía Nuclear, permite tener una idea de la posición que España ocupa dentro del concierto internacional de naciones productoras de materias primas radiactivas. Lo que unido al cálculo de la demanda de energía en nuestro país hasta 1990, demuestra lo pequeña que es aún nuestra capacidad para producir los concentrados de uranio imprescindibles para atender a las necesidades previstas y de qué manera España deberá intensificar la búsqueda de minerales radiactivos si quiere asegurar su abastecimiento en combustibles nucleares.

GEOLOGIA DE LOS YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE URANIO

INDICIOS Y YACIMIENTOS ESPAÑOLES DE MINERALES RADIATIVOS

Por el momento, ya que la prospección de minerales radiactivos no ha terminado aún en nuestro país, los principales yacimientos españoles de uranio se encuentran en el área herciniana de la Península Ibérica (Fig. 1) —unos en el granito y otros en las pizarras más o menos metamorfizadas que lo rodean—, en zonas bien definidas desde el punto de vista estructural, correspondientes en su mayor parte a las zonas Centro-ibérica y Lusitano-alcúdica de LOTZE (1945).

Los más importantes son los yacimientos de tipo filoniano que se extienden por las provincias de Jaén, Córdoba, Badajoz, Cáceres y Salamanca, entre la fractura del Guadalquivir y la frontera portuguesa, ya que en ellas se encuentran las mineralizaciones más interesantes, especialmente cuando contienen minerales primarios (ARRIBAS, 1960a y 1961).

Otros indicios muy importantes se han localizado en formaciones sedimentarias permo-triásicas, cretácicas, oligocenas y miocenas, pero de todas ellas sólo las dos primeras parecen tener interés económico en el momento.

La Fig. 1 representa un mapa de la Península Ibérica en el que se ha señalado, sobre una base geotectónica muy esquemática, la situación de los principales indicios y yacimientos españoles de minerales radiactivos. Los números señalan las localidades más próximas a las áreas mineralizadas, en cuya proximidad se encuentran los yacimientos o indicios más importantes. De esta forma se podrán localizar más fácilmente las numerosas mineralizaciones a las que se hace referencia en el texto.

DIQUES EN ROCAS IGNEAS, METAMORFICAS Y SEDIMENTARIAS *

1. Sierra Albarrana (Córdoba): Diéresis, Beta, Umbría, Peña Aguila.
2. Fuenteovejuna (Córdoba).
3. Besullo y Cangas del Narcea (Asturias).
4. Villanueva del Fresno (Badajoz): Cabra Baja.

* Las áreas mineralizadas están agrupadas de acuerdo con la clasificación metalogénico-estructural que se propone en este trabajo.

FILONES HIDROTERMALES EN ROCAS IGNEAS, METAMORFICAS Y SEDIMENTARIAS

5. Monesterio (Badajoz): Mina Cabra Alta.
6. Andújar (Jaén): Minas La Virgen y Navalasno.
7. Venta de Cardena (Córdoba): Trapero, Ovejo, y Cano 2, 3, 6, 9, 10 y 11.
8. Albalá (Cáceres): Minas Los Ratones, La Carretona, El Orejudo y Las Perdices.
9. Albalá (Cáceres): El Peñascal, La Dehesilla, El Gallo.
10. Alburquerque (Badajoz): Valderrascón, Pedro Negro, Toril del Centeno.
11. Alburquerque (Badajoz): Engorda y El Sabio.
12. Navas del Madroño (Cáceres).
13. Casar de Cáceres (Cáceres): La Zafrilla.
14. Trujillo (Cáceres): Belén.
15. Villar del Pedroso (Cáceres).
16. Escalona (Toledo): El Berrocal y Paredes.
17. Mijares (Avila).
18. Parrillas (Toledo): La Fontanilla.
19. Madrigal (Avila): Carretero.
20. Navarredonda de la Sierra (Avila).
21. Vadillo de la Sierra (Avila).
22. El Guijo (Avila).
23. Martinamor (Salamanca).
24. Alberguería (Salamanca).
25. Casillas de Flores (Salamanca): Mina Casillas y Fuenteguinaldo.
26. San Felices de los Gallegos (Salamanca).
27. Bañobárez (Salamanca): Los Propios.
28. Lumbrales (Salamanca): Mina Valdemascaño.
29. Villar de Peralonso (Salamanca).
30. San Rafael (Segovia).
31. Navarredonda (Madrid).
32. Montederramo (Orense): Montederramo, Santiago y Sas do Monte.
33. Friol (Lugo): Santa María, Brecha Incógnita, Cota y Montechao.
34. Villamayor de Negal (Lugo): Bacurín y La Cruz.
35. Darnius (Gerona).
36. Andújar (Jaén): Raso de los Machos.
37. Venta de Cardena (Córdoba): San Valentín y Trapero.
38. Villanueva del Fresno (Badajoz): Cabra Baja.
39. Cazorla (Jaén): Mina Collado Verde.

MINERALIZACIONES ESTRATIFORMES SINGENETICAS

40. Santa Elena (Jaén).
41. Cantillana (Sevilla): Cuenca del Viar.
42. Dos Aguas (Valencia).
43. Valdemeca (Cuenca).
44. Mazarete (Guadalajara).

45. Abéjar (Soria).
46. Cabrejas del Pinar (Soria).
47. Salas de los Infantes (Burgos).
48. Briviesca (Burgos).
49. Leiza (Navarra).
50. Epila (Zaragoza).
51. Mequinenza (Zaragoza): Mequinenza, Monascos, Ribarroja, Mayals y Serós.
52. Fraga (Huesca): Fraga y Nonaspe.
53. Calaf (Barcelona).
54. Santa Coloma de Queralt (Barcelona).
55. La Plana de Monrós (Lérida): Eureka.
56. Montanuy (Huesca).
57. Seo de Urgel (Lérida).
58. Berga (Lérida): Valcebre y Figols.
59. Peñalen (Guadalajara).
60. Utrillas (Teruel).
61. Estercuel (Teruel): Gargallo y Estercuel.
62. Ariño (Teruel).
63. Andorra (Teruel): Andorra, Alloza y Alcorisa.

MINERALIZACIONES ESTRATIFORMES EPIGENETICAS

64. Paracuellos del Jarama (Madrid).
65. Córcoles (Guadalajara).
66. Loranca del Campo (Cuenca).

MINERALIZACIONES DISEMINADAS EN ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

67. Porriño (Pontevedra).
68. Burguillos del Cerro (Badajoz): Minas Monchi, Consuelo y Aurora.
69. Santa Olalla de Cala (Badajoz): Minas Cala, Petronila y Tauler.
70. Gavá (Barcelona).
71. Santa Creu d'Olorde (Barcelona).
72. Malgrat (Barcelona).
73. Aljucén (Badajoz).
74. El Castillejo (Cáceres).
75. Peraleda de San Román (Cáceres).
76. Ojaranzo (Cáceres).
77. Ceclavín (Cáceres): Duero, Viesgo y Sevillana.
78. La Gargüera (Cáceres).
79. Alameda de Gardón (Salamanca): Alameda, Cinco Nidos, Los Piconos y El Gardón.
80. Gallegos de Argañán (Salamanca): Mataconejos, Marialba y Espejo.
81. Saelices (Salamanca): Coto minero de Fe y Saelices.
82. Villar de la Yegua (Salamanca): Mina Esperanza y El Torbiscal.
83. Villavieja de Yeltes (Salamanca): Mina Caridad, La Mesa y Rodillo de la Huerta.

84. Villares de Yeltes (Salamanca): Pedro Alvaro, Casablanca y Las Heras.
85. Carpio de Azaba (Salamanca): El Tornillar, Aldehuela y El Pizarral.
86. Don Benito (Badajoz): Hoya de El Lobo, El Pedregal y María Lozano.
87. Encinasola (Badajoz): El Bravo, La Torera, La Escaleruela y El Castillo.
88. Palacios de la Sierra (Burgos).

ROCAS ENCAJANTES

Desde el punto de vista petrológico, las mineralizaciones radiactivas españolas se pueden dividir en dos grandes grupos: el de las rocas endógenas, que contienen los yacimientos de origen ígneo y metamórfico, y el de las rocas exógenas, al que pertenecen las mineralizaciones estratiformes de origen sedimentario.

La razón es que, en estas últimas, la concentración del uranio coincide con la de los minerales que forman la roca encajante y es, por lo tanto, un problema petrogenético fácil de comprender en líneas generales. Por el contrario, en las rocas endógenas, especialmente en las plutónicas, no es fácil explicar muchas veces el verdadero origen de las soluciones mineralizadoras, y la interpretación de los procesos que acompañan a la deposición del uranio presenta normalmente muchas dificultades.

ROCAS ENDÓGENAS

Rocas ígneas

La mayor parte de los yacimientos intrabatolíticos españoles se encuentran situados en granitos monzoníticos o granodioritas, generalmente de dos micas, frecuentemente porfídicos, a veces con megacristales, situados en posiciones estructuralmente elevadas, caso de Albalá, o en la periferia y extremo de los batolitos, caso de los Pedroches.

Al igual que ocurre en otras regiones uraníferas europeas (GANGLOFF, 1970 y GEFFROY, 1973), una serie de mineralizaciones estanno-wolframíferas rodea a estos macizos graníticos (SAAVEDRA, ARRIBAS y otros, 1974b), mientras que en España están ausentes o carecen de importancia los cortejos pegmatíticos que normalmente acompañan a los granitos uraníferos.

Desde el punto de vista geoquímico, se pueden clasificar estas rocas como granitos alcalinos o con tendencia alcalina, de marcado carácter aluminico, correspondientes a un magma leucogranítico de la serie calcoalcalina, con tendencia sílico-potásica y una importante albitización intergranular tardía que se puede observar al microscopio.

Las características principales de sus minerales son las siguientes.

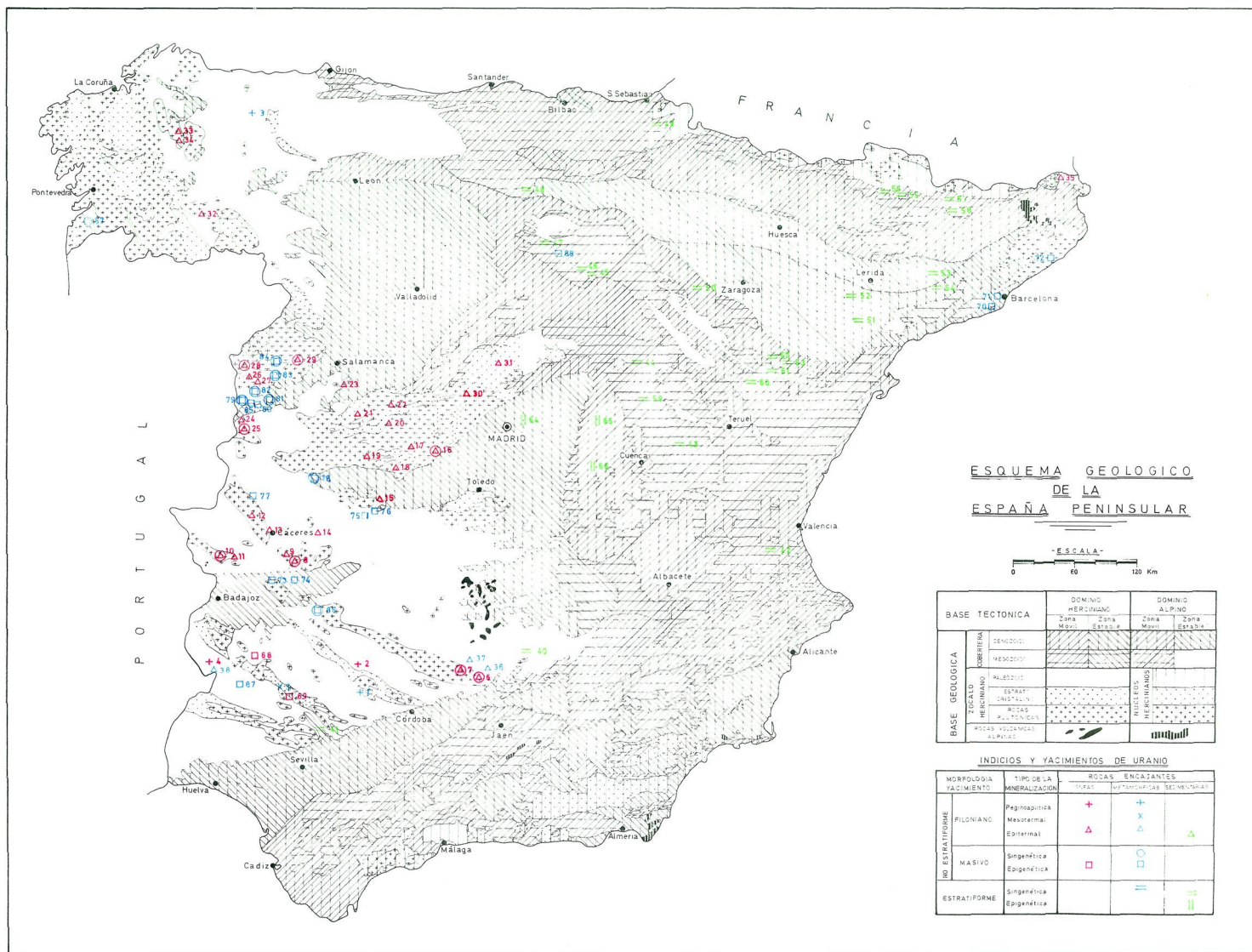


FIG. 1

Indicios y yacimientos españoles de minerales radiactivos (los yacimientos más importantes están rodeados por un círculo)

Las *plagioclasas* forman cristales idiomorfos o subidiomorfos, maclados según las leyes de la albita, albita-Ala y Carlsbad, rara vez de la periclina. Muy frecuentemente son zonadas, con una composición que varía entre la de una oligoclasa básica (25 % An), en la periferia, y una andesina ácida (35 % An), en el centro. Por lo general, el contenido en anortita oscila entre 28 y 32 %, pero la albitización tardía * conduce a la formación de cristales de albita-oligoclasa, con aproximadamente el 8 % An, que reemplazan a las plagioclasas o forman coronas alrededor del feldespato potásico (PENHA, 1973).

El *feldespato potásico*, en general muy abundante, puede ser microclina, especialmente en los granitos de Salamanca, u ortosa. Aparece en cristales idiomorfos o subidiomorfos, generalmente maclados según la ley de Carlsbad, con textura pertítica y parcialmente mirmequitizados. Cuando se trata de megacristales, pueden llegar a medir varios centímetros de longitud, y frecuentemente engloban plagioclasas, biotitas y cuarzo. Sin embargo, en la mesostasis de los granitos porfídicos, existen otros cristales más pequeños, xenomórficos, de feldespato potásico, pertenecientes a una generación anterior.

El feldespato potásico muestra a veces una fuerte tendencia blástica, corroyendo a las plagioclasas, mientras que en otras ocasiones es él el que aparece afectado por la albitización tardía.

El *cuarzo* es siempre muy abundante y xenomorfo, aunque en algunos casos tiende al idiomorfismo. Esto ocurre principalmente cuando los granitos contienen abundante turmalina o topacio, tal y como ocurre en Albalá o Albuquerque (SAAVEDRA y cols., 1974). En general, hay dos generaciones de cuarzo: una primera, con textura en mosaico y extinción frecuentemente ondulante, caso de Villar de Peralonso, y otra tardía, posterior a la cristalización de las plagioclasas, con textura reticular, que está probablemente relacionada con el proceso de moscovitización.

La *biotita* es la mica más abundante en los granitos no hidrotermalizados. Aparece en cristales aislados o en agregados, idiomorfa o con tendencia al idiomorfismo, con abundantes inclusiones de circón y apatito rodeadas por halos pleocroicos, o de silimanita, topacio y agujas de rutilo, especialmente cuando está desferrificada. Además, en las zonas donde el granito ha sufrido fuertes acciones tectónicas —p. ej., en Villar de Peralonso—, la cloritización es muy intensa, llegando incluso a producirse una generación de ortosa y clorita que podría deberse al fenómeno descrito por CHAYES (1955).

La mayor parte de la *moscovita* es claramente tardía, muy blástica, y

* Este proceso de albitización se observa difícilmente en las rocas encajantes de los yacimientos, donde la sericitización y caolinización de los feldespatos alcanzan gran intensidad.

reemplaza preferentemente a los aluminosilicatos, especialmente la andalucita. En general, forma pequeños cristales alotriomorfos que ocupan las fisuras de los feldespatos o sustituyen a las plagioclasas como productos de alteración. Siempre está subordinada a la biotita, pero en las zonas hidrotermalizadas, caso de Albalá, domina ampliamente sobre ella, y entonces aparece baveritizada o cloritizada. Cuando los granitos han sido tectonizados, la moscovita produce una lineación y contribuye a acentuar el carácter cataclástico de la roca. En cualquier caso, hay dos generaciones de moscovita: una, claramente anterior a la cataclasis, aparece orientada y ondulada; otra, tardía, es un producto de transformación del feldespato potásico y la biotita, en el que quedan abundantes inclusiones de circón y apatito cuyos halos pleocroicos han sido prácticamente reabsorbidos.

Los *silicatos de aluminio*, silimanita, cordierita y andalucita, están casi siempre presentes en los granitos de Salamanca y Extremadura. En Villar de Peralonso y en Lumbrales, la *silimanita*, perteneciente a la variedad fibrolita, aparece incluida en el cuarzo, los feldespatos y las micas, llegando a formar agregados visibles a simple vista. En los granitos de Albalá y Alburquerque, por el contrario, es bastante rara. La *cordierita* de los granitos de Salamanca está siempre pseudomorfizada por la moscovita, mientras que en Albalá y Alburquerque es extraordinariamente abundante, llegando a formar cristales idiomorfos de hasta tres centímetros de longitud y más o menos sericitizados o cloritizados; otras veces aparece incluida en las biotitas, plagioclasas o el feldespato potásico. En cualquier caso, la presencia de cordierita es muy frecuente en los granitos de Extremadura Central, principalmente en los de megacristales feldespáticos, habiendo sido atribuido su origen a la cristalización de magmas altamente aluminicos por asimilación de rocas corticales (CORRETGE, 1971). Por último, la *andalucita* es algo menos abundante que la cordierita, y sus restos aparecen dentro de la moscovita que la ha reemplazado casi por completo. En los granitos de Andalucía, por el contrario, los silicatos de aluminio están ausentes, o por lo menos no han sido observados hasta ahora.

De los minerales accesorios, el *circón* y el *apatito* son los más frecuentes, formando cristales idiomorfos, rodeados de halos pleocroicos. El circón, de tamaño muy reducido, aparece siempre incluido en las micas, mientras que el apatito puede acompañar al circón o bien dar lugar a cristales mucho mayores. Este es el caso de los granitos extremeños —Albalá, Trujillo, Alburquerque—, donde el apatito, muy abundante, aparece en cristales heteromorfos o agregados flabiliformes que prueban el enriquecimiento del granito en fósforo; enriquecimiento que puede dar lugar a concentraciones de interés económico, tales como los yacimientos de “fosforita” que han sido explotados en diversos puntos de Extremadura.

En los granitos de esta región es también frecuente la presencia de minerales fluorados, concretamente turmalina, topacio y dumortierita. La *turmalina* reemplaza principalmente a los feldespatos. El *topacio* cristaliza en dos generaciones: la primera da lugar a cristales idiomorfos reemplazados a veces por otros minerales, entre ellos *dumortierita*, correspondiente a una fase tardía, probablemente neumatolítica, de la granitización (ARRIBAS y SAAVEDRA, 1974a); la segunda aparece en forma de cristales mucho más pequeños, alineados generalmente dentro de las fisuras de la roca y contemporáneos del desarrollo de la dumortierita. Sin embargo, ni el topacio ni la dumortierita han sido observados por ahora en los granitos de Salamanca o Andalucía.

Finalmente, entre los minerales accesorios hay también rutilo, ilmenita-leucoxeno, pirita y arsenopirita, siendo esta última especialmente frecuente en los granitos con topacio y dumortierita.

Por lo que se refiere a la composición química, los valores medios de los elementos mayores y en trazas de los granitos uraníferos salmantinos, extremeños y andaluces, son los siguientes:

Elementos mayores (%)

	Villar de Peralonso	Albalá-Montánchez	Cardena-Andújar
SiO ₂	71.18	70.91	72.31
Al ₂ O ₃	14.86	16.13	15.05
Fe ₂ O ₃ (total).....	1.68	2.38	1.97
TiO ₂	0.18	0.28	0.29
P ₂ O ₅	0.40	0.24	0.01
MnO	0.04	0.08	0.05
CaO	0.77	0.96	1.10
MgO	0.60	0.53	0.59
Na ₂ O	3.57	3.47	3.41
K ₂ O	5.45	4.21	4.21
Vol.	0.85	0.76	0.68
Total.....	99.58	99.95	99.67

Elementos en trazas (ppm)

Sn	8.73	3.5	5
W	61.51	6.76	5.8
Mo	3.51	2	2
Pb	2.30	12	12
Cu	9.30	10	10
Zn	33.80	42.2	24.5
F	—	0.11 %	0.09 %

De acuerdo con la clasificación de BURRI y NIGGLI (1945), aquellos valores corresponden a los de un magma leucogranítico de la serie calcoalcalina, con tendencia yosemítica, relativamente rico en álcalis, y con valores anómalos de *al* y *c*.

Rocas metamórficas

Los indicios y yacimientos localizados en rocas metamórficas están claramente definidos por la geometría de sus mineralizaciones y la naturaleza de las rocas encajantes.

Las mineralizaciones singenéticas de Porriño se encuentran en gneises biotíticos y alcalinos con riebeckita, allanita, xenotima, fluorita y astrofilita (ARRIBAS, 1963f); las pegmatíticas de Sierra Albarrana (Córdoba), con brannerita, monacita y uraninita, en gneises biotíticos y anfibólicos (ARRIBAS, 1967a); las aplíticas de Serrezuela (Fuenteovejuna), con cirtolita, y las de Oliva de la Frontera (Badajoz), con davidita y brannerita, en migmatitas y micacitas (ARRIBAS, 1963g y 1963e); las pegmoaplíticas de Cangas del Narcea y Besullo en Asturias, en dolomías cámbricas (I.G.M.E., 1972); las piro-metasomáticas de Burguillos del Cerro (Badajoz), con uraninita, allanita y minerales de hierro, en el contacto de calizas y dioritas (ARRIBAS, 1962c); las filonianas de Monesterio (Badajoz), con pechblenda y arseniuros de níquel y cobalto, en gneises biotíticos (ARRIBAS, 1963c); y los placeres fósiles metamorizados, tales como las areniscas circoníferas, con rutilo e ilmenita, de Santa Elena (Jaén) y otros puntos de la Meseta, en cuarcitas y pizarras sericiticas (ARRIBAS, 1962e).

Por último, las mineralizaciones de los esquistos paleozoicos, tan característicos de la Península Ibérica, que se extienden por las provincias de Salamanca —Saelices, Villar de la Yegua, Villavieja de Yeltes y Alameda de Gardón—, Cáceres —Ceclavín, Acebuche y Albalá—, Badajoz —Villanueva del Fresno y Valle de la Serena— y Córdoba —borde norte del batolito de Los Pedroches—, constituidos por una red de delgados filoncillos con pechblenda que han sido oxidados en la proximidad de la superficie, donde han dado lugar a una fuerte diseminación de minerales secundarios en las rocas encajantes, se encuentran en pizarras cloríticas y sericíticas (ARRIBAS, 1962a y 1970; FERNÁNDEZ POLO, 1970).

Rocas filonianas

Los diques de rocas ígneas son muy frecuentes entre los materiales encajantes de los yacimientos españoles de uranio, y tienen un interés especial cuando éstos son de origen filoniano, ya que entonces las mineralizaciones

suelen encontrarse en reaperturas producidas a lo largo del borde de los diques, o en fracturas que se mineralizan al atravesar aquellas estructuras. Así, por ejemplo, existen relaciones topominerales muy claras entre los yacimientos filonianos y los diques de *porfiritas andesíticas* —Cardena y La Virgen—, *diabasas* —Monesterio, Cazorla—, *pórfidos graníticos* —Cardena—, *microgranitos aplíticos* —Escalona—, y *cuarzo* —Valdemascaño, Valderrascón, Escalona y Cardena—, por lo que su interés económico es grande.

Los diques de pórfidos, microgranitos y aplitas tienen aproximadamente la misma composición —Cardena— o son ligeramente más ácidos —Albalá, Escalona— que los granitos encajantes. Las rocas básicas son siempre de tipo dolerítico, porfiritas o diabasas, y los diques de cuarzo que, como ocurre en Salamanca, pueden tener gran longitud y potencia, están formados por cuarzo lechoso, muy rara vez ahumado. En general, especialmente en Salamanca, estos diques parecen tener un origen tectónico y corresponder al relleno de grandes fracturas del basamento cristalino (GARCÍA DE FIGUEROLA y PARGA, 1968). Lo mismo se podría decir de algunos diques de microgranitos del área de Escalona (ARRIBAS, 1962b y 1964b).

Deformaciones tectónicas

Los efectos de las acciones tectónicas sobre las rocas encajantes de los yacimientos españoles de uranio no se han dejado sentir, en general, sobre grandes extensiones, salvo en el caso de Villar de Peralonso, en Salamanca, y Monesterio, en Badajoz. Aquí, las acciones tectónicas han sido un tanto complejas y de difícil interpretación, ya que los esfuerzos mecánicos que actuaron sobre los granitos durante o inmediatamente después de su emplazamiento, produciendo gneisificaciones, fueron seguidos por una intensa tectónica de fractura representada por fallas de dirección y magnitud muy diversa.

Por el contrario, en Andalucía y Extremadura, los granitos sufrieron acciones tectónicas de tipo cortante, muy definidas, que dieron lugar a un sistema de fracturas puesto de manifiesto por la red hidrográfica y los sistemas de diaclasas. Estas fracturas facilitaron primero, el emplazamiento de las rocas filonianas, y posteriormente el acceso de las soluciones hidrotermales que dieron lugar a la formación de los yacimientos. Estas fracturas han coincidido frecuentemente con estructuras anteriores que constituían soluciones de continuidad mecánica muy importantes en el basamento, por ejemplo, las bandas de deformación tardihercénicas, las alineaciones pegmoaplíticas, y los diques de diferente clase que atraviesan a las rocas encajantes. En todos estos casos, la dirección dominante varía entre 40 y 60° al NE.

En cualquier caso, aunque las deformaciones tectónicas no hayan sido

extensas, su importancia, al crear las estructuras que han permitido el emplazamiento de las mineralizaciones filonianas, es evidente.

Transformaciones de las rocas encajantes endógenas

Las modificaciones sufridas por las rocas encajantes de los filones uraníferos son análogas en los distintos yacimientos, pero difieren en sus detalles. Unas han sido consecuencia inmediata de las acciones hidrotermales, y están estrechamente relacionadas con el emplazamiento de las mineralizaciones. Otras, anteriores a la llegada de los aportes uraníferos, tienen carácter regional, y afectan a los materiales adyacentes sobre grandes extensiones. Las más importantes han sido las siguientes:

Cloritización: Este proceso de alteración, que se produjo como consecuencia del ambiente geológico al que quedaron sometidos los granitos después de su formación, es generalmente anterior a la mineralización uranífera, y alcanza a veces gran intensidad, apareciendo las biotitas completamente cloritizadas y con formación de abundante pennina.

Hay que destacar aquí, como un aspecto inédito del proceso de cloritización del granito, el desarrollo de anillos de Liesegang, alternantes, de clorita y epidota, que según ARRIBAS y SAAVEDRA (1974) parece estar relacionado con las últimas fases de cristalización y las acciones tectónicas de distensión que acompañaron a las etapas finales del emplazamiento de los granitos uraníferos extremeños.

Cuando se trata de rocas que contienen otros minerales ferromagnesianos, piroxenos o anfíboles —p. ej., en el caso de las rocas metamórficas— son éstos los que aparecen transformados en productos clorítico-serpentinicos.

En el caso de Monesterio, y también en el de algunos granitos, la cloritización de las rocas encajantes por efecto de la meteorización ha venido a reforzar la producida por las acciones hidrotermales.

Moscovitización: Es simultánea de la cloritización y muchas veces consecuencia de ella, pues el potasio que dejaron libre las biotitas se fijó sobre las plagioclasas para producir moscovita.

Aparte la sericita formada por meteorización, cuando la moscovitización es de tipo regional y anterior a la mineralización uranífera, tiene interés desde el punto de vista metalogénico, ya que es probablemente una de las causas que han contribuido a la liberación del uranio contenido en los minerales del granito. Esto es evidente cuando se comprueba el amplio desarrollo de moscovita, por sustitución de los feldespatos, durante los fenómenos deutéricos.

La biotita, por su parte, puede estar baueritizada y transformada en una mica blanca, llena de inclusiones aciculares de rutilo, donde los halos pleocroicos que rodeaban a las inclusiones de circón y apatito aparecen ahora más o menos reabsorbidos.

Albitización: Al mismo tiempo que la moscovitización, se inició el proceso de albitización de los feldespatos (ARRIBAS, 1962; CORRETGE, 1971 y PENHA, 1973). Este proceso, al igual que el de la moscovitización, tuvo lugar a escala batolítica; además, según NICOLLI (1966), parece ser que la albitización va acompañada por una desilicificación de las granodioritas, estén o no mineralizadas, en la proximidad de las estructuras tectónicas.

Turmalinización: Es muy importante en algunos yacimientos —Valderrascón, Los Ratones—, y precisamente en aquellos casos donde los procesos de sericitización alcanzan mayor intensidad. Se ve entonces como la turmalina da lugar a digitaciones, cristales intergranulares, o filoncillos, que atraviesan a los otros minerales de la roca. También, coincidiendo con este proceso, comienza en los granitos extremeños el desarrollo de topacio y dumortierita al que antes se ha hecho referencia.

En los yacimientos de Burguillos y en las pizarras de Salamanca se puede producir una turmalinización de pequeña amplitud debida al metamorfismo de contacto. La más extensa es quizá la que tuvo lugar en los gneises encajantes de los indicios con davidita de Oliva de la Frontera.

Apatización: El apatito es más abundante en los granitos metasomatizados que en los normales. En el caso de “Valderrascón” y “Los Ratones”, en los que tan frecuente es la turmalina, el apatito se presenta bajo dos aspectos:

- en cristales pequeños, dispersos por toda la roca como minerales accesorios.
- en filoncillos de fosforita, constituidos por cristales de apatito y nódulos fibrosoradiados de colofona.

En Burguillos el proceso de apatización alcanza su mayor intensidad en la zona de contacto, donde se encuentra precisamente el área mineralizada. Su aparición guarda estrecha relación con los procesos metasomáticos.

Escapolitización: Como es lógico, existe únicamente en los yacimientos pirometasomáticos —Burguillos—, donde la escapolita se desarrolla como consecuencia de los procesos neumatolíticos que dieron lugar, simultáneamente, a la turmalinización y al desarrollo de vonsenita y axinita en los materiales pizarrosos.

Silicificación: En general, alcanza gran intensidad y extensión, y suele marcar el comienzo de la etapa propiamente mineralizadora en los yacimientos filonianos.

Existen en realidad dos procesos de silicificación. El primero es anterior a la llegada de la pechblenda, y tiene carácter regional; por él se forman diques de cuarzo blanco, generalmente de grano fino, estériles, que atraviesan tanto a las rocas ígneas como a las metamórficas. Estos diques, que pueden alcanzar tamaños considerables y se deben a la gran movilidad de la sílice en condiciones tectónicas de alta presión, se disponen muchas veces según fracturas paralelas, más o menos concordantes con los diques de pórfidos, microgranitos y porfiritas, producidas por reaperturas del zócalo herciniano según antiguas estructuras que, como se ha dicho ya, representaban factores de discontinuidad mecánica muy importante. Frecuentemente es en este tipo de estructuras donde se suelen encontrar las mineralizaciones uraníferas de mayor importancia, especialmente las constituidas por minerales secundarios.

El segundo proceso de silicificación, que coincide con el depósito de la pechblenda, consta de varias fases. Aunque menos importante que el primero, tiene gran interés, porque el cuarzo es normalmente la única ganga no metálica que acompaña a los minerales de uranio; en general, actúa como cemento de las brechas que rellenan las zonas de fractura mineralizadas dando lugar a una extensa impregnación de los hastiales.

El cuarzo correspondiente a esta segunda silicificación es siempre de grano fino, con variedades jasperoideas o calcedoniosas que, alguna vez, por ejemplo, en Villar de Peralonso, pueden llegar a formar diques de jaspe hematítico de cierta potencia. En esta última localidad, así como en Cardaña y las pizarras de Salamanca, la fluorita puede acompañar a la sílice, siendo aquélla normalmente de la variedad antozonita.

En “Los Ratones” y “Valderrascón”, el apatito va con el cuarzo de la primera silicificación, mientras que en las pizarras de Salamanca existen algunos filoncillos de baritina anteriores a la venida uranífera.

Carbonatación: En algunos yacimientos filonianos, el cuarzo puede llevar además cantidades subordinadas de otras gangas. Así, en Cardaña, “La Virgen”, Escalona y Albalá, es frecuente encontrar carbonatos —calcita, dolomita, o siderita— que han sido generalmente disueltos o silicificados, y de los que sólo quedan los moldes. En realidad, los carbonatos primarios sólo se encuentran por debajo de la zona de oxidación.

En cualquier caso, la impregnación por los carbonatos de las rocas encajantes no tiene importancia, salvo en el filón de “La Virgen”, ya que los carbonatos siempre aparecen en cantidades muy subordinadas. En Monesterio y Burguillos, por el contrario, la única ganga que acompaña a los minerales

de uranio es la calcita, mientras que la sílice aparece sólo como consecuencia de los procesos tardíos de alteración de las rocas encajantes.

Arcillización: Bajo esta denominación se incluyen los procesos de alteración de los feldespatos debidos a acciones hidrotermales y supergénicas. En ambos casos, el resultado es el mismo: transformación de los feldespatos en un conjunto de productos arcillosos que sólo se diferencian entre sí por sus proporciones relativas y las pequeñas diferencias de composición entre los minerales constituyentes.

Las transformaciones producidas durante el depósito de la pechblenda han dado lugar a la formación de tres minerales principalmente: montmorillonita, illita y caolín, si bien éste último es menos frecuente porque los feldespatos potásicos han resistido mejor los procesos de alteración.

En general, puede decirse que, en los yacimientos filonianos, la arcillización consecuente a la venida uranífera es de gran intensidad, principalmente en “La Virgen”, Cardaña, Albalá y Monesterio, y que el mineral más abundante es, con mucho, la montmorillonita, especialmente en la inmediata vecindad de los filones. En Lumbrales, Salamanca, aparecen también con frecuencia nódulos formados por sepiolita alfa y nontronita.

Las alteraciones debidas a la meteorización son, por el contrario, muy variables en intensidad y extensión, influyendo en ello notablemente la sequedad del clima. Así, por ejemplo, los yacimientos situados en el extremo meridional de la penillanura hercínica —Andújar y Cardaña— que están además muy próximos al borde septentrional de la depresión del Guadalquivir, han sufrido una fuerte meteorización, por lo que los efectos de la alteración supergénica son patentes incluso a profundidades superiores a los 300 m. En los demás yacimientos, la meteorización ha dado lugar a una disgregación de las rocas en superficie, si bien, coincidiendo con las estructuras filonianas, los efectos de la alteración pueden alcanzar profundidades próximas a los 100 m.

Las acciones supergénicas han conducido principalmente a la formación de caolín, especialmente en los yacimientos situados en las regiones más húmedas, mientras que en otros, por ejemplo, en Burguillos, apenas si deja sentir sus efectos. En esta localidad, la formación de filoncillos con sepiolita y atapulgita es consecuencia además de las acciones tectónicas.

En las pizarras de Salamanca, la atapulgita rellena las fisuras de la roca o los planos de esquistosidad, y parece haber actuado como elemento fijador del uranio contenido en las aguas de superficie después de la alteración de los minerales primarios.

Hematización: Al igual que ocurre en muchos yacimientos filonianos con pechblenda, es notable la hematización que acompaña a las mineralizaciones

españolas, la cual afecta no sólo a las rocas de caja, sino también a los propios materiales filonianos.

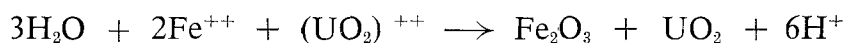
Dos procesos de hematización se pueden distinguir en el tiempo: uno, el que se opera sobre los granitos encajantes teñidos ya por los óxidos de hierro antes de la venida uranífera, y otro, el que afecta a los materiales sílico-arcillosos que acompañan a la deposición de los minerales radiactivos.

El primero es el más interesante, porque al tratar de explicar el origen de los fenómenos de oxidación y reducción que han tenido lugar en las rocas de caja, se plantea el problema de cómo se puede haber transportado y depositado el uranio.

En efecto, en casi todos los yacimientos españoles se observa que cuando la pechblenda está en contacto con fragmentos de las rocas encajantes —granitos y rocas filonianas y metamórficas—, previamente hematizadas, aquellos aparecen rodeados por una franja decolorada. Lo mismo ocurre con el jaspe y con los materiales sílico-arcillosos que se depositan durante la venida uranífera, fenómeno que se ha observado muy claramente en los yacimientos en pizarras de la provincia de Salamanca.

La presencia de estas franjas decoloradas demuestra que ha existido un proceso de reducción en el contacto con la pechblenda, e incluso se podría suponer que parte de los sulfuros de hierro inalterados que se ven dentro de esas franjas, situadas además en zonas completamente limonitizadas, se han formado como consecuencia del proceso de reducción.

Todo ello está en contradicción con las ideas generalmente admitidas sobre el modo de deposición del uranio, que se supone es transportado en forma de ión uranilo, es decir, hexavalente, y precipitado como consecuencia de la oxidación del hierro que le acompaña según la ecuación siguiente (MAC KELVEY y otros, 1955):



por lo que el ión tetravalente, estable en condiciones reductoras, es la forma de uranio más abundante en la naturaleza.

Sin embargo, el hecho de que el hierro limonítico aparezca reducido junto a la pechblenda, hace pensar que el óxido de uranio puede ser transportado también como ión tetravalente, creándose entonces un ambiente reductor que actúa sobre el hierro férrico contenido en las rocas encajantes.

Esta es la teoría inicial de GEFROY y SARCIA (1955), admitida también por RAFALSKY (1958), los cuales demostraron que el ión uranilo y el ión sulfúrico no pueden coexistir en solución. Por ello, aún aceptando que el uranio hexavalente es transportado más fácilmente, el autor ruso supone que el uranio ha debido emigrar en forma tetravalente durante la formación de algunos filones hidrotermales. Este sería, precisamente, el caso de muchos

yacimientos filonianos españoles, donde tan abundantes son los sulfuros, especialmente los de hierro.

La hematización es muy extensa en algunos yacimientos —Andújar, Cardena— y de menor importancia en todos los demás. En Villar de Peralonso tiene interés la que acompaña a la venida uranífera pues el jaspe es entonces fuertemente hematítico.

ROCAS EXÓGENAS

Las rocas encajantes de las mineralizaciones españolas de uranio asociadas a las formaciones sedimentarias se pueden dividir en dos grandes grupos: los lignitos y las formaciones cuarzo-feldespáticas, si bien, entre las dos, se pueden encontrar todos los términos de paso. Por el momento, no se han encontrado en España mineralizaciones importantes asociadas a fosforitas, pizarras alumíferas, placeres, o pizarras carbonosas.

Rocas organógenas

Los indicios radiactivos asociados con los lignitos corresponden a las cuencas oligocenas de Calaf y Santa Coloma de Queralt (Barcelona), Fraga (Huesca), Mequinenza (Zaragoza) y Berga (Lérida). En casi todos los casos, las rocas encajantes están integradas por una alternancia de calizas, areniscas, y margas de diferentes tipos. Las primeras suelen ser sublitográficas, grises, dispuestas en paquetes finamente bandeados; las margas tienen aspecto abigarrado y tonos claros, alcanzando a veces gran desarrollo superficial; y las areniscas, duras y compactas, son predominantemente calcáreas. Las rocas directamente encajantes de los lignitos son principalmente calizas y margas carbonosas.

Rocas areniscosas

Las mineralizaciones radiactivas asociadas a sedimentos detríticos cuarzo-feldespáticos se pueden clasificar, a su vez, en dos grupos: deltaicas y aluviales, si bien hay siempre términos de tránsito entre las dos.

Las rocas deltaicas son normalmente areniscas poligénicas de estructura compacta o pizarrosa y textura homo a heterogranular, con frecuentes paleocauces y estratificación cruzada. Están compuestas por granos detríticos subredondeados a subangulares de cuarzo, micas, feldespatos muy alterados, circón y turmalina, así como fragmentos de cuarcitas, arcillitas y chert. El cemento es generalmente arcilloso, aunque hay casos en los que es exclusivamente silíceo, con diferente proporción de carbonatos y óxidos de hierro.

Este tipo de yacimientos contiene cantidades variables de cobre, y va asociado casi siempre con areniscas rojas, triásicas o permotriásicas, que parecen normalmente decoloradas en el contacto con los minerales uraníferos primarios, los cuales son normalmente carburanos, pechblenda o complejos urano-orgánicos. En España, pertenecen a este grupo los indicios de La Plana de Monrós y Seo de Urgel (Lérida), Monteanuy (Huesca), Cuenca del Viar (Sevilla), Valdemeca (Cuenca), Mazarete (Guadalajara), Leiza (Navarra) y Epila (Zaragoza).

Por lo que se refiere a las formaciones aluviales, las rocas encajantes de los indicios radiactivos son generalmente areniscas, margas y arcillas arenosas, del Albense y Mioceno. Se trata de areniscas arcósicas, blancas o rojizas, poco compactas, de composición mineralógica muy parecida a la del granito, con grandes variaciones del tamaño de grano, muy porosos, con frecuente estratificación cruzada y abundantes restos orgánicos, huesos y materia carbonosa, que pueden llegar a formar capas de lignito. Con ellos están asociados los minerales radiactivos —pechblenda, carburanos y compuestos urano-orgánicos— los que, a diferencia de lo que ocurre en el caso anterior, muestran una fuerte movilización postsedimentaria, que da lugar a la formación de rolls y aureolas de fosfatos y vanadatos.

Pertenecen a este grupo las mineralizaciones del Cretácico inferior de Cabrejos del Pinar y Abéjar (Soria), Peñalén (Guadalajara), y Utrillas, Esteruel, Ariño y Andorra (Teruel), así como las del Mioceno de Loranca (Cuenca), Córcoles (Guadalajara), Paracuellos (Madrid), Borox (Toledo), Dos Aguas (Valencia), y Briviesca (Burgos).

Transformaciones de las rocas encajantes exógenas

En las mineralizaciones de origen sedimentario, las transformaciones sufridas por las rocas encajantes están relacionadas —a excepción de las producidas por la meteorización y circulación de aguas subterráneas, que a veces pueden ser importantes— con la diagénesis, y se refieren principalmente a las decoloraciones producidas por los fenómenos de oxidación-reducción que tienen lugar durante la formación y litificación de los sedimentos.

LA MINERALIZACIÓN Y LAS GANGAS

Se hace aquí un resumen de los minerales que forman los yacimientos españoles de uranio, tanto de los radiactivos como de sus acompañantes, describiendo en primer lugar los de origen hipogénico y a continuación los que se han formado por alteración.

Es interesante destacar que, como consecuencia de los estudios efectuados en estos últimos años, se han podido descubrir diecisiete especies, nue-

vas para España, de minerales radiactivos: coffinita, davidita, iantinita, bequerelita, meta-autunita, sabugalita, seleíta, fosfuranilita, francevillita, kasolita, renardita, parsonsita, uranotilo, tyuyamunita, uranopilita, zippeita y johannita, algunas realmente excepcionales, como la saleíta de la mina Caridad, en Villavieja de Yeltes (Salamanca), que, junto con los extraordinarios cristales de brannerita de la Sierra Albarrana, en Córdoba, han venido a incrementar el ya extraordinario patrimonio mineralógico de nuestro país.

MINERALES HIPOGÉNICOS

Oxidos anhidros de uranio

Uraninita-pechblenda: De acuerdo con la nomenclatura adoptada por la mayor parte de los mineralogistas, se denomina pechblenda a la variedad colofórmica y criptocristalina de la uraninita, aunque, como es sabido, los diagramas de rayos X muestran una identidad absoluta de las dos redes cristalinas.

La uraninita se ha encontrado formando cubos microscópicos en Burguillos del Cerro y Cala, en la provincia de Badajoz; transformada en gummita, en los indicios de Cangas del Narcea y Besullo, en Asturias; y en cristales mayores, de hasta 10 cm. de lado, en las pegmatitas de Sierra Albarrana (Córdoba).

La pechblenda aparece en todos los demás indicios y yacimientos españoles, salvo, por ahora, en Paracuellos, el Viar, Córcoles, Ariño y Soria —donde la mineralización es toda supergénica o no está expresada por minerales de uranio—, y en Oliva, Serrezuela, Porriño y Santa Elena, donde el uranio está contenido en minerales —davidita, circón, allanita— que no son específicamente uraníferos.

La pechblenda se presenta siempre bajo dos aspectos diferentes:

— masiva, formando placas en las que es difícil reconocer las fisuras de contracción radiales, pero no así las concéntricas, que son abundantes y revelan su estructura colofórmica.

— esferulítica, en esferas aisladas o dispuestas en guirnalda alrededor de los fragmentos de la ganga y las rocas encajantes.

No se han observado más reemplazamientos activos que los de la calcita en las pizarras de Salamanca, y los de algunos feldespatos en el yacimiento de “Los Ratones” y en el “Toril del Centeno”, en Cáceres y Badajoz, respectivamente.

Los reemplazamientos pasivos son, por el contrario, muy abundantes, y la pechblenda aparece substituida por sulfuros de hierro, principalmente mel-

nicovita, en Albalá y las pizarras de Salamanca; arseniuros de níquel y cobalto, y niquelina, en Monesterio; carburanos, en Cazorla; y cuarzo, normalmente en forma criptocristalina, que es lo más frecuente.

La uraninita, por el contrario, es muy difícil de reemplazar. En Burguillos, por ejemplo, se ve como la löllingita, que substituyó por completo a muchos piroxenos y anfíboles, no pudo hacer lo mismo con las inclusiones de uraninita que ellos contenían, y los cubos de este mineral, rodeados por los halos pleocroicos, aparecen ahora diseminados en la roca encajante.

Es muy frecuente que la pechblenda de los yacimientos españoles, especialmente en Albalá y Alburquerque, esté transformada en lo que GEFROY (1955) llama "parapectblenda", y que él compara con la "pectblenda reciente" de ZUCKERT (1925), la "pectblenda II" de KIDD y HAYCOCK (1935), y la "pectblenda B" de SRIGHT y SOULHOF (1957).

En cuanto a los "óxidos negros", aparecen éstos en casi todos los filones uraníferos españoles y, al igual que ocurre en otras partes, se forman localmente, en condiciones reductoras, dentro de la zona de oxidación. Corresponden a la "neo-pectblende" de los franceses, "minerio preto" de los portugueses, y "sooty pitchblende" de los anglosajones, y están constituidos por una mezcla de pechblenda y coffinita (ARRIBAS, 1963b).

En realidad, se podría decir que, exceptuando Monesterio y "Los Ratos", es muy raro en España el yacimiento en el que la pechblenda no ha sido removilizada y se encuentra aún en su forma original. Prueba de esto es que casi siempre es la última en depositarse, por lo que moldea a los otros minerales que la acompañan en la paragénesis.

Brannerita: Se ha encontrado únicamente en las pegmatitas de Sierra Albarrana, junto a uraninita, monacita, ilmeno-rutilo, e ilmenita. Sus cristales, de hasta 15 cm. de arista, son los mayores del mundo, y constituyen un caso verdaderamente excepcional (ARRIBAS, 1967a). Están cubiertos de una costra pulverulenta de schoepita. Otros cristales sueltos, rodados, se han encontrado en las proximidades de los indicios uraníferos con davidita de Oliva de la Frontera, en Badajoz.

Davidita: Se ha encontrado este mineral, por vez primera en España (ARRIBAS, 1963e), en unas aplitas albíticas que atraviesan las pizarras metamórficas cámbricas al oeste de Oliva de la Frontera, en Badajoz, pero sus cristales mayores no sobrepasan 0'2 mm.

Fosfatos anhidros de uranio

Monacita: Los cristales mayores, de algunos centímetros de sección y varios Kg. de peso, se han encontrado en las pegmatitas de Sierra Albarrana.

Detríticos —los únicos que podrían tener interés económico—, en las playas de Galicia y en los aluviones que cubren ciertas áreas del batolito de los Pedroches.

Xenotima: Sólo se ha encontrado, como mineral accesorio, acompañando al circón y la allanita en los gneises alcalinos de la Sierra de Galiñeiro, al norte de Porriño, en Pontevedra. El contenido en ytrio de la roca, a veces en cantidades próximas al 1 %, confiere un cierto interés económico a esta formación como fuente potencial de elementos de las tierras raras (ARRIBAS, 1963f).

Silicatos anhidros de uranio

Coffinita: Se ha encontrado hasta ahora en seis yacimientos: Albalá, Alburquerque, pizarras de Salamanca, Andújar y Villar de Peralonso. Aunque en general es supergénica y el principal constituyente de los óxidos negros, en los dos últimos casos es indudablemente primaria (ARRIBAS, 1966b) y análoga a la pechblenda en lo que se refiere a su modo de formación y posición en la paragénesis. Aparece, entonces, en forma concrecionada y con estructura fibroso-radiada constituyendo el principal mineral uranífero de aquellos yacimientos.

Es interesante destacar que, hasta 1958, la coffinita sólo había sido citada, en cantidades significativas, en los grandes yacimientos estratiformes de la Meseta del Colorado, junto con la pechblenda y los vanadatos. Por esta razón, se creyó que se trataba de un mineral de origen sedimentario, y cuando se le encontró en yacimientos filonianos se la consideró como un mineral supergénico.

Las primeras dudas surgieron en la Conferencia de Ginebra, en 1958, cuando FILIPENKO (POLIKARPOVA y AMBARTSUMIAN, 1958) y MURAKOSHI y KOSEKI (1958) citaron la presencia de coffinita, junto a otros minerales filonianos que parecían ser de origen hipogénico, en algunos yacimientos de la Unión Soviética y el Japón.

Posteriormente, GEFFROY y SARCIA (1960) y MAUCHER (1962) citaron la existencia de dicho mineral, en condiciones parecidas, en otros yacimientos franceses y alemanes. El problema dejó entonces de ser una curiosidad mineralógica para convertirse en una cuestión de interés económico ya que si la coffinita podía ser hipogénica, no había razón ninguna para que los yacimientos de este mineral no pudieran continuar en profundidad. Y ésto es lo que se pudo demostrar al encontrarse en España la gran estructura tectónica mineralizada de Villar de Peralonso, donde la coffinita, que puede llegar incluso a alterarse en pechblenda por oxidación, constituye la mayor con-

centración filoniana de dicho mineral conocida hasta el momento (ARRIBAS, 1964c).

Circón: Es el más importante de los minerales radiactivos en el gneis de Porriño y la aplita de Fuenteovejuna, y el único de esta clase en las cuarcitas de Santa Elena. En los dos primeros casos corresponde a la variedad uranífera cyrtolita y va siempre acompañado de allanita (ARRIBAS, 1963f y g). En el último caso se trata de un circón detrítico que, junto con el rutilo y la ilmenita, puede alcanzar concentraciones superiores al 20 % en un sedimento arenoso de edad ordoviciense; siendo de destacar la continuidad de esta formación a lo largo de casi 400 Km., ya que desde Santa Elena, en la provincia de Jaén, pasando por puntos próximos a Almuradiel, Almagro, Almadén y Puertollano, en la provincia de C. Real, y Albuquerque en la de Badajoz, llega a cruzar por València de Alcántara la frontera portuguesa constituyendo un nivel guía realmente notable (ARRIBAS, 1962e).

Allanita: Acompaña a la uraninita en las piroxenitas de Burguillos del Cerro, y al circón y la xenotima en la alaskita de Fuenteovejuna y en los gneises alcalinos de Porriño, respectivamente.

Hidrocarburos radiactivos

Carburanos y complejos urano-orgánicos: A excepción de la mina “Collada Verde”, en la cabecera del Valle del Guadalquivir, cerca de Cazorla, en la provincia de Jaén (ARRIBAS, 1962d), sólo se han encontrado carburanos en los yacimientos de origen sedimentario, especialmente en la mina “Eureka”, al norte de Pobla de Segur, en la provincia de Lérida, y en Epila (Zaragoza). En todos estos casos, los hidrocarburos radiactivos aparecen en areniscas permotriásicas, y están frecuentemente alterados en vanadatos.

Los complejos urano-orgánicos, no definibles cristalográficamente, tienen sin embargo una importancia extraordinaria porque ellos constituyen las mineralizaciones uraníferas de los lignitos y de muchas rocas sedimentarias con alto contenido en materia carbonosa —p. ej., las areniscas arcósicas del Cretácico— en las cuales se encuentra la fracción más importante de las reservas mundiales de uranio. En España, estos complejos dan lugar a las mineralizaciones de los lignitos de Fraga-Mequinenza, Calaf, Santa Coloma de Queralt y Berga, a las que corresponden la mitad de las reservas conocidas en nuestro país (MARTÍN, 1973).

Minerales metálicos acompañantes

Niquelina: Aparece sólo en dos yacimientos: posterior a la pechblenda, en Monesterio, y anterior a ella, en Valdemascaño, cerca de Lumbrerales (Salamanca).

Arseniuros de níquel y cobalto: Unicamente en Monesterio, donde existen tanto las variedades cúbicas, esmaltina-cloantita, como las rómbicas, saf-florita-ramnellsbergita. En este yacimiento están acompañados también por millerita.

Cobaltina: En muy pequeña cantidad, aparecen algunos cristales junto a la löllingita de Burguillos.

Magnetita: Esporádicamente, junto a la ilmenita, en las pegmatitas de Sierra Albarrana. Es, por el contrario, el mineral más importante en el yacimiento de Burguillos, donde va unido a la calcopirita y pirrotina.

Löllingita: Constituye la fase final de la mineralización en Burguillos, donde, junto con la cobaltina, reemplaza a los piroxenos de la roca encajante, pero no a la uraninita.

Calcopirita: Es frecuente en casi todos los yacimientos, exceptuados los de Albalá y Alburquerque, pero especialmente en los de la zona de Andújar y Venta de Cardena, donde constituye el principal satélite de los minerales de uranio. En el último yacimiento va acompañada, además, de cobres grises (ARRIBAS, 1963d y 1964a).

En los yacimientos sedimentarios está transformada generalmente en minerales secundarios de cobre, pero en Epila y "Eureka" aparece cerca de la superficie (ARRIBAS, 1962f y 1966a).

Esfalerita: Sólo se ha encontrado en cantidades significativas en la mina "Valdemascaño", cerca de Lumbrerales, donde es el principal mineral de la ganga, y en Escalona, en la provincia de Toledo (ARRIBAS, 1963a y 1964b). Como indicios, ha aparecido también en "Los Ratones".

Galena: Acompaña a la blenda en los dos yacimientos que se acaban de indicar. En las pizarras de Salamanca, concretamente en la mina Esperanza, junto a Villar de la Yegua, es anterior a la llegada del uranio.

Sulfuros de hierro: Son los minerales metálicos más abundantes entre los satélites de la pechblenda, y a veces los únicos que la acompañan, p. ej., en Albalá y Alburquerque. El más frecuente es la pirita, siguiéndole en importancia la marcasita. La melnicovita sólo se observa junto a la pechblenda y la coffinita, siendo por lo general posterior a la primera y simultánea con la segunda. La pirita es además el único sulfuro que acompaña a la davidita en Oliva de la Frontera.

La pirrotina sólo se ha encontrado asociada a la calcopirita y a la magnetita en Burguillos del Cerro.

Sulfuros y óxidos de cobre: Bornita, calcosina y covelina —uno, dos o

las tres a la vez— se encuentran casi siempre en los yacimientos donde la calcopirita es abundante. Esto ocurre principalmente en los yacimientos filonianos de la zona de Andújar-Venta de Cardaña —“La Virgen”, “Navalascano”, “Cano” y “Trapero”— y en los de origen sedimentario de las areniscas y calizas del Trías —La Plana de Monrós, Epila y Cazorla—, donde los sulfuros de cobre pueden ser hipogénicos o supergénicos.

Por lo que se refiere a los óxidos —cuprita y tenorita—, muy frecuentes en la zona de Andújar-Venta de Cardaña —donde aparece además la rara variedad calcotrichita—, se encuentran exclusivamente en la zona de oxidación.

MINERALES SUPERGÉNICOS

Oxidos hidratados e hidróxidos de uranio

Gummitas: Entre los minerales de uranio originados por la acción supergénica, los más inmediatos a la pechblenda son las gummitas. De ellas, la más abundante es la gummita amarilla, mientras que las variedades naranjas son realmente raras en los yacimientos españoles (ARRIBAS y CATALINA, 1960).

Las gummitas negras son muy frecuentes en los niveles superiores de nuestros yacimientos con pechblenda, donde este mineral está generalmente oxidado. Corresponden a las antiguas denominaciones de coracita y pittinita, a la clarkeita de Henderson, a la “pechblenda parcialmente oxidada” de Frondell, y quizá al hidronasturano de los rusos, aunque éstos parecen aplicar dicho término a la parapechblenda.

Las gummitas naranjas se han encontrado solamente junto a la coracita de la mina Valdemascaño, en Salamanca, y siempre en muy pequeña cantidad.

Las gummitas amarillas, que son las más frecuentes en los yacimientos españoles, han aparecido prácticamente en casi todos los que contienen uraninita —Sierra Albarrana y Santa Olalla de Cala— o pechblenda, especialmente en los yacimientos del área de Albalá, —Trujillo y Albuquerque— y en las pizarras de Saelices, especialmente en la mina “Fe”, al norte de Ciudad Rodrigo.

Ianthinita y epi-ianthinita: Minerales muy raros, se han encontrado, en los yacimientos de las pizarras de Salamanca, concretamente en las minas “Fe” y “Esperanza”. Ello es debido a que la ianthinita se puede formar únicamente en ambiente reductor, cuando no existe circulación de aguas oxidantes, y estas condiciones sólo se reúnen en los niveles supergénicos de dichos yacimientos, en los que la abundancia de pirita crea medios reductores sulfurados que permiten la formación de uranio tetravalente. A ello se

une la compacidad de las pizarras, pues aún las más fracturadas tienen las fisuras ocupadas por productos arcillosos que dificultan la circulación de las aguas superficiales.

Becquerelita: Se ha encontrado únicamente en Sierra Albarrana, siempre en muy pequeña cantidad y junto a la uraninita, en costras de color amarillo ámbar formadas por cristales inferiores a 0'1 mm.

En cualquier caso, es lógico que aparezca únicamente en estos yacimientos, pues, al igual que ocurre con los restantes uranatos, sólo se forman cuando las mineralizaciones son lo suficientemente ricas en uraninita o pechblenda como para impedir que las gangas puedan introducir impurezas.

Silicatos hidratados de uranio

Uranotilo alfa: Muy frecuente, existe en casi todos los yacimientos filonianos con pechblenda, salvo en los de "La Virgen", Escalona, "Los Ratones" y "Valderrascón", siendo especialmente abundante en las pizarras uraníferas de Salamanca donde constituye la mayor parte de la mineralización (ARRIBAS, 1970). En la llamada "Zona D", al norte de Ciudad Rodrigo, junto al río Agueda, los ejemplares fibroso-radiados son excepcionalmente buenos.

Hasta ahora sólo se ha encontrado en España la variedad alfa, lo que podría tener la siguiente explicación: la sílice es el más poderoso fijador del uranio hexavalente en un yacimiento secundario, fijación que se realiza en forma de silicatos de uranio y calcio, tipo uranotilo. Ahora bien, según CHERVET y COULOMB (1958), la especie beta sólo aparece cuando hay un exceso de calcio, caracterizado por la presencia de calcita. Como este mineral no existe o es muy raro en los yacimientos españoles, tanto en los filonianos como en los de las pizarras, la variedad dominante es el uranotilo alfa.

En este sentido, la escasez de gangas calizas podría explicar la ausencia de carbonatos de uranio en los yacimientos españoles (Fot. 5 y 8).

Kasolita: Este raro silicato de uranio y plomo se ha encontrado únicamente tapizando las fisuras que atraviesan las pizarras de la mina Esperanza, cerca de Villar de la Yegua, en Salamanca (ARRIBAS, 1967). Como el uranotilo alfa, es también un producto inmediato de oxidación de la pechblenda.

Fosfatos hidratados de uranio

Los fosfatos de uranilo están bien representados, en los yacimientos españoles, lo que no tiene nada de extraño debido a la abundancia de apatito en las rocas encajantes, y a la afinidad del fósforo por el uranio. Por ello, las diferentes especies se deben a combinaciones del fósforo y el uranio con los iones Ca, Al, Ba, Mg, Cu y Pb.

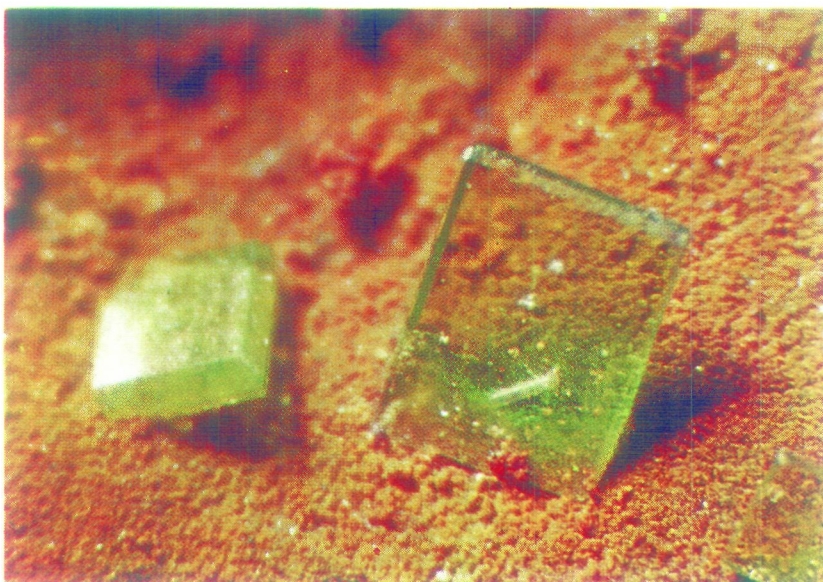
Antes de describir los fosfatos encontrados en España, conviene destacar dos hechos notables que caracterizan a nuestros yacimientos filonianos. Uno es la escasez de uranocircita, encontrada hasta ahora en un solo yacimiento —Escalona—, y otro, la frecuencia de la saleíta, mineral relativamente raro. Lo primero se puede explicar por la falta de baritina entre las gangas de las mineralizaciones filonianas de uranio; lo segundo, porque durante el proceso de baueritización de la biotita, muy importante en algunos yacimientos —especialmente en los del área de Albalá y Albuquerque—, o por la existencia de magnesio fácilmente movilizable en las rocas encajantes —caso de los yacimientos en pizarras de la provincia de Salamanca—, se puede liberar cierta cantidad de aquel elemento que pasa a formar parte de los minerales secundarios de uranio —saleíta—, o de los minerales arcillosos, —montmorillonita y atapulgita—, tan frecuentes en los filones y en las rocas encajantes. Y es precisamente en los tres yacimientos que se acaban de citar donde la saleíta y los minerales de la arcilla que llevan magnesio son más abundantes.

Esto mismo ocurre en los yacimientos filonianos portugueses, donde la saleíta es bastante frecuente, no sólo en los graníticos de la región de Guarda, sino también en los yacimientos en pizarras, tipo N.^a S.^a das Fontes, semejantes en todo a los españoles de la provincia de Salamanca. Por el contrario, la uranocircita, al igual que sucede en España, es relativamente rara; sólo se ha encontrado en Rosmaneira.

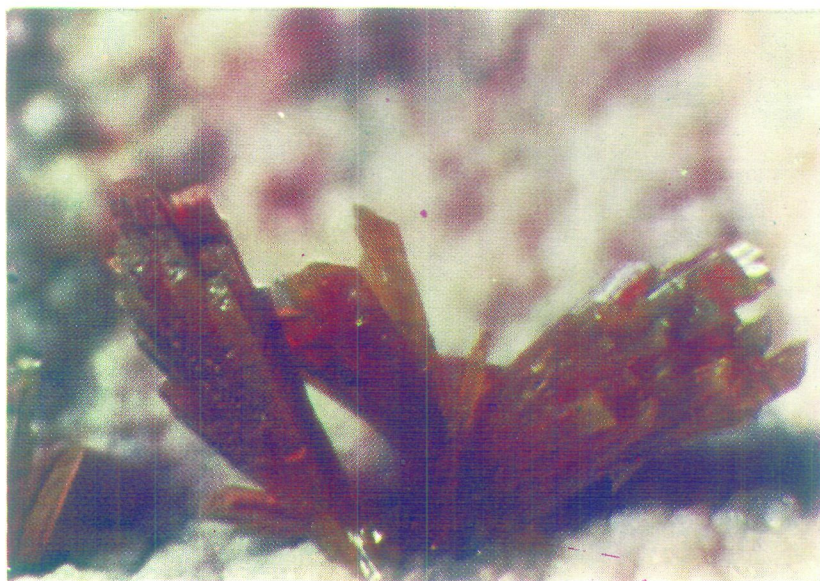
En Francia, que posee yacimientos filonianos análogos a los de la Península Ibérica, las cosas ocurren de manera diferente. La uranocircita es relativamente frecuente, lo que se debe a que la baritina, aunque escasa, existe entre las gangas que acompañan a la pechblenda. La saleíta, sin embargo, es muy rara, lo que quizá se puede explicar por el hecho de que los procesos de baueritización de la biotita, durante los cuales se puede haber liberado algo de magnesio, han alcanzado allí menor intensidad que en los granitos de la península.

En este sentido, no deja de ser curioso que sea precisamente en los granitos uraníferos extremeños, en los que la saleíta es tan frecuente, donde se forman las estructuras anulares con clorita a las que se ha aludido anteriormente, lo que demuestra cuán fácilmente se puede movilizar en ellos el magnesio (ARRIBAS y SAAVEDRA, 1974a).

Autunita y meta-autunita: Junto con la torbernita, son los minerales secundarios más abundantes en los niveles supergénicos, pudiendo depositarse muy lejos de los minerales primarios. A ello se debe el que sean tan frecuentes y aparezcan indefectiblemente en todos los yacimientos con uraninita y pechblenda, exceptuando Monesterio, Burguillos, Epila y Cazorla, en los que no se han encontrado minerales secundarios de uranio.



1. TORBERNITA
Andújar
(Jaén)
× 60



2. PARSONSITA
Alcántara
(Cáceres)
× 60



3. TORBERNITA
Navarredonda
(Avila)
× 18

Forma la autunita masas pulverulentas —Peralonso, Paredes— o cristales que pueden tener hasta 1 cm. de arista, p. ej., en “La Carretona”, junto a Albalá. Algunos cristales de autunita, que han estado sometidos a la temperatura ambiente y a una atmósfera seca en los niveles superiores de ciertas minas, han pasado a la fase meta-autunita I. Sólo se ha encontrado esta especie en algunos yacimientos del área de Albalá —“Las Perdices” y “La Carretona”— donde los cristales son de gran belleza (Fot. 4, 7 y 12).

Sabugalita: Aparece siempre en los yacimientos en pizarras, concretamente en Alameda de Gardón, en Salamanca, y en las de Don Benito, en Badajoz, donde junto con la autunita, constituye la mayor parte de la mineralización; siendo probable que existan cristales mixtos de ambos minerales, lo que no tendría nada de extraño dado su carácter isoestructural. También se ha encontrado en Montederramo y Sas de Monte, en Lugo; en este caso, en el granito.

Saleíta: Existen dos variedades. Una de ellas, el fosfato normal, con sólo uranio y magnesio, es bastante rara, y sólo se ha encontrado en la mina “Fe”, en las pizarras de Salamanca. La otra variedad, correspondiente a una saleíta con pequeño contenido en hierro, es la más frecuente en los yacimientos españoles, no sólo en los graníticos —Albalá, Alburquerque, Andújar—, sino también en los de las pizarras. En uno de estos últimos, en la mina “Caridad”, junto a Alameda de Gardón, en Salamanca, constituye la mayor parte de la mineralización, y da lugar a cristales de hasta cinco milímetros de arista notables por su belleza y porque forman concentraciones excepcionales dada la rareza de este mineral (Fot. 9).

La variedad ferrífera, que carece de fluorescencia, se tomó en principio por basetita, el fosfato de uranio y hierro que tampoco es fluorescente.

Uranocircita: Es el mineral secundario de uranio más abundante en la mina “El Berrocal”, en Escalona (Toledo), único yacimiento donde se ha encontrado hasta ahora en España, a excepción de unos pequeños indicios en las pizarras de Aljucén, en Badajoz (Fot. 6).

Torbernita y metatorbernita: Aparecen, como la autunita, en todos los yacimientos españoles, excepto, como ya se ha indicado antes, en Monesterio, Burguillos, Cazorla y Epila, donde no se han encontrado hasta ahora minerales secundarios de uranio.

La torbernita es especialmente abundante cuando, junto a la pechblenda, carburanos o coffinita, existen minerales de cobre. Este es el caso de los yacimientos filonianos de Cardena y Andújar, donde se han encontrado magníficos ejemplares hasta 10 mm. de arista, y en las pizarras de Encinasola, en la provincia de Badajoz (Fot. 1, 3, 5 y 12).

Algunas torbernitas españolas pertenecen a una variedad fuertemente arsenical, especialmente las que se encuentran en los yacimientos estratiformes —Epila, La Plana de Monrós—, de las areniscas del Trías.

Otros puntos con torbernita son los indicios de Andorra, Ariño, Alcorisa, Alloza, Esteruel y Gargallo, en Teruel; Darnius, en Gerona; Montederramo, Sas do Monte, Bacurín y La Cruz, en Lugo; y en las minas de Lumbrales, en Salamanca, y Escalona, Toledo.

Fosfuranilita: Es muy frecuente en las pizarras de Alameda de Gardón y en dos yacimientos del área de Albalá: masiva, en “Los Ratones”, y cristalizada, en el filón de “El Orejudo”. Hay una variedad con bario que acompaña a la uranocircita de “El Berrocal”, en la provincia de Toledo (Fot. 10).

Renardita: Aparece únicamente cuando las mineralizaciones uraníferas coexisten con otras que contienen galena, la cual puede ser anterior, como ocurre en la mina “Esperanza”, o más o menos contemporánea con la llegada de la pechblenda, caso de “Valdemascaño”, ambos yacimientos en la provincia de Salamanca. En el primer caso, la renardita forma cristales pequeños, pero de gran belleza, que ocupan el lugar de antiguos cristales de galena disueltos o reemplazados por cuarzo jaseroideo; en el segundo caso da lugar únicamente a costras pulverulentas.

Existe también renardita en Villar de Peralonso, Alameda de Gardón —aquí junto a la fosfuranilita— y pizarras de Encinasola, en Badajoz, lo que es fácil de explicar ya que en todos estos yacimientos hay indicios de galena.

Parsonsita: Este raro mineral, que se cita generalmente como una curiosidad mineralógica, se ha encontrado en España en el yacimiento de “Valdemascaño”, en Salamanca, y en unos indicios, aún mal conocidos, que existen cerca de Alcántara, en la provincia de Cáceres. En ambos casos, como era de esperar, junto a la galena (Fot. 2).

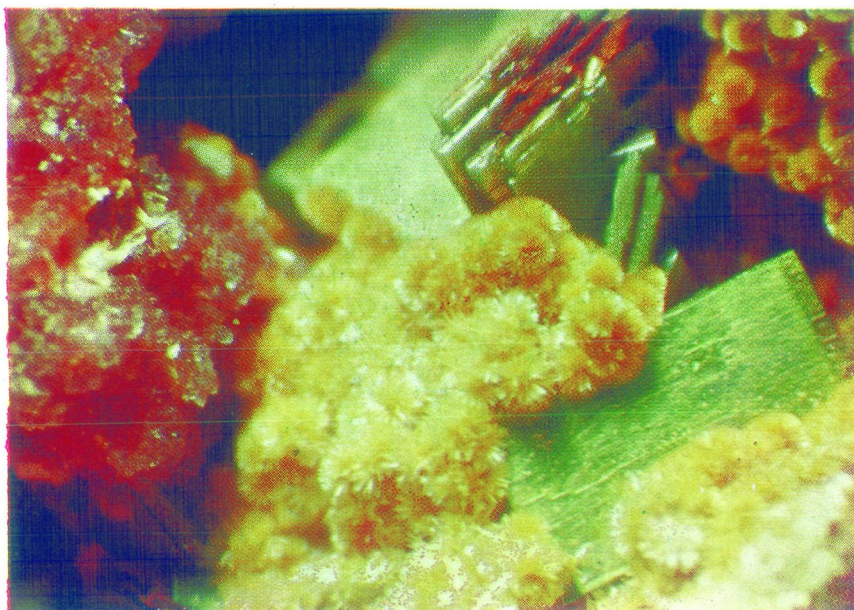
Vanadatos de uranio

Carnotita: Se citó por primera vez en España, en 1908, en las areniscas cupríferas con vanadio y uranio de Monteanny (Huesca). Posteriormente no ha podido ser localizado en dicha localidad, pero sí se ha encontrado, más al este y sobre la misma formación, en el yacimiento Eureka, al norte de Poble de Segur (Lérida). También hay algo de carnotita acompañando a la tyuyamunita y los fosfatos de uranio en las pizarras de Encinasola, en Badajoz.

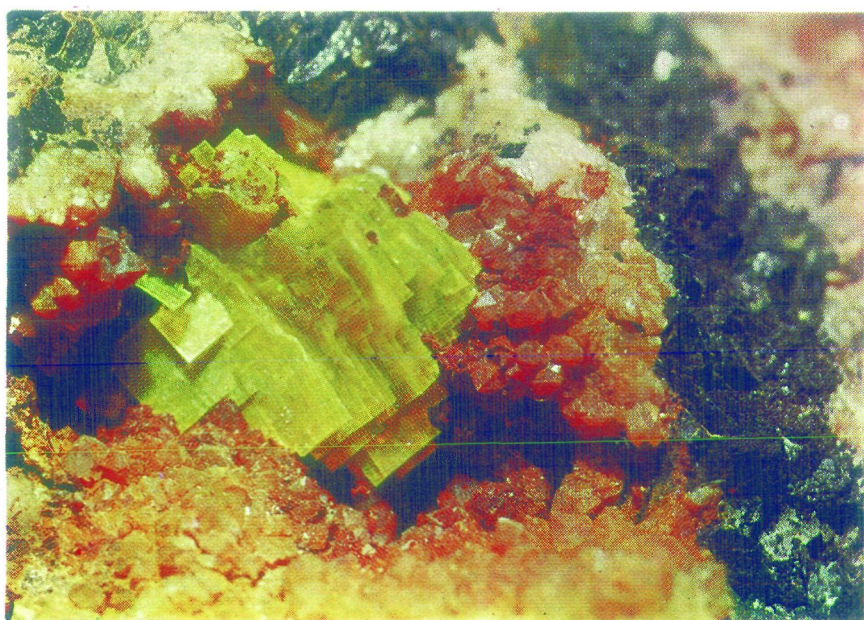
Tyuyamunita: Más frecuente que la carnotita, el vanadato de calcio y uranio aparece formando nódulos fibroso-radiados, además de en el yacimiento Eureka, en Paracuellos (Madrid), Borox (Toledo), pizarras de Encina-



4. META-AUTUNITA
Albalá
(Cáceres)
× 18



5. TORBERNITA y
URANOTILO
Alburquerque
(Badajoz)
× 18



6. URANOCIRCITA
Escalona
(Toledo)
× 6

sola (Badajoz), Sagarillo (Huesca), Mazarete (Guadalajara), Valdemeca (Cuenca), y en Córcoles y Loranca del Campo, en el límite de las dos provincias últimamente citadas. Los diagramas de rayos X demuestran que siempre va con algo de carnotita.

Sengierita: Indicios de este raro vanadato de uranio y cobre se han encontrado únicamente en el yacimiento “Eureka”, junto a la tyuyamunita y carnotita, en la provincia de Lérida.

Francevillita: Este mineral, relativamente raro en los yacimientos filonianos, sólo se ha encontrado en España en las pizarras de Villanueva del Fresno y Encinasola. No se ha visto en cambio en los yacimientos estratiformes. Forma generalmente costras pulverulentas de color amarillo.

Sulfatos de uranio

Se forman en todos los yacimientos españoles cuando, junto a los minerales primarios de uranio, existen sulfuros de hierro abundantes. Es difícil, sin embargo, encontrar buenos ejemplares, ya que sus cristales desaparecen poco después de formados debido a su alta solubilidad en las aguas ácidas.

En España se han encontrado tres especies, unas veces en el interior de las minas, sobre los entibados, y otras en las escombreras.

Uranopilita: El más frecuente de los tres sulfatos, es abundante en los yacimientos filonianos de Cardeña y Albalá —“Trapero” y “Los Ratones”—, así como en las pizarras de Salamanca, especialmente en la mina “Fe”.

Zippeita: Solamente ha aparecido en “Trapero”, en asociación íntima con la uranopilita y sin formar cristales separados. Los diagramas de rayos X no dejan, sin embargo, lugar a dudas en cuanto a la identidad de esta especie.

Johannita: Acompaña a la zippeita en los filones de Venta de Cardeña, donde tan abundantes son los sulfuros de cobre. Allí aparece en cristales transparentes o en agregados esferulíticos (Fot. 11).

Minerales supergénicos acompañantes

Minerales secundarios de cobre: Aparte la calcosina, covelina, cuprita y tenorita, citadas ya entre los minerales hipogénicos, los más frecuentes son la *crisocola*, especialmente en la mina “La Virgen”, la *malaquita*, y algo de *azurita* y *sulfatos de cobre* en “La Virgen” y “Trapero”. La malaquita es también el principal mineral secundario de cobre en los yacimientos estratiformes del Trías de los Pirineos y de la cordillera Ibérica.

Minerales secundarios de hierro: Como es lógico, el más abundante es la *limonita*, especialmente en los yacimientos de Andújar y Cardaña, donde las acciones supergénicas han actuado intensamente sobre los sulfuros de hierro y cobre que constituyen la parte más importante de la mineralización.

Hay que citar también la *melanterita* de Burguillos del Cerro, donde además se han encontrado concreciones de azufre nativo en la zona de oxidación de las masas de magnetita.

LAS GANGAS

Las únicas gangas que se han encontrado hasta ahora asociadas directamente con los minerales de uranio han sido cuarzo, fluorita y carbonatos. La baritina existe en la mina "Fe" y en Escalona, pero es anterior a la vena uranífera.

Cuarzo: Se trata normalmente de variedades micro o criptocristalinas, y frecuentemente de jaspe hematítico. En ocasiones se ven también cuarzos ahumados, zonados, pero sin que ello parezca tener relación directa con la radiactividad.

Fluorita: Se ha encontrado únicamente en tres yacimientos: en Villar de Peralonso, donde corresponde frecuentemente a la variedad antozonita, y en algunos yacimientos de Cardaña y la mina "Fe", donde es sólo una curiosidad mineralógica. También existe en Paredes (Toledo), pero su formación no tiene nada que ver con la llegada de la pechblenda.

Carbonatos: Como ya se ha indicado, es la sílice la ganga más abundante en los yacimientos filonianos, siendo los carbonatos muy raros. Sólo existe calcita en "La Virgen", Monesterio, y Albalá, donde va acompañada por pequeñas cantidades de dolomita y siderita. En Escalona y algunos yacimientos de Cardaña se depositaron también, junto con el cuarzo, algunos carbonatos, probablemente calcita o dolomita. Pero estos han sido disueltos y de sus cristales sólo quedan los moldes.

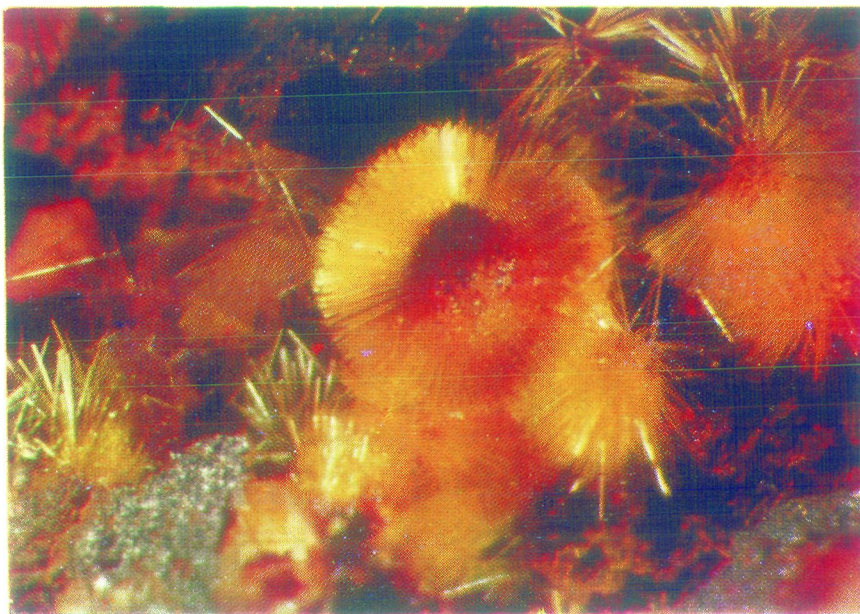
En los yacimientos sedimentarios, por el contrario, son abundantes la calcita, dolomita y ankerita relacionadas directamente con la deposición de los minerales de uranio, tanto si se trata de rocas arenosas, como carbonatadas, del Trías, Cretácico o Mioceno.

METALOGENIA DEL URANIO EN ESPAÑA

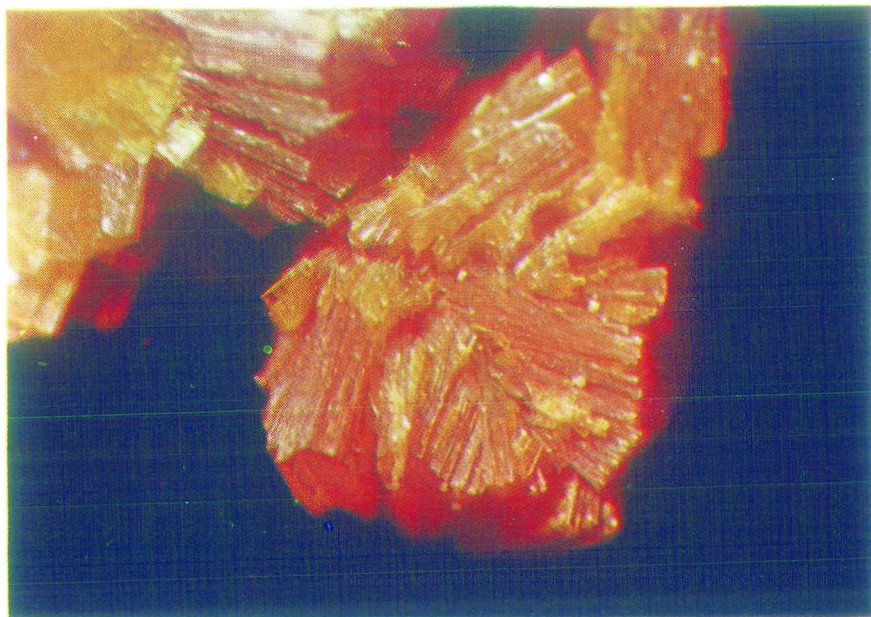
Con objeto de poder establecer una clasificación de los yacimientos e indicios españoles de uranio, y para comparar y fijar su posición con respec-



7. AUTUNITA
Villar de la Yegua
(Salamanca)
× 6



8. URANOTILO
Ciudad Rodrigo
(Salamanca)
× 20



9. SALEITA
Villavieja de Yeltes
(Salamanca)
× 18

to a otros análogos de la provincia uranífera europea, es preciso definir sus caracteres metalogénicos más importantes, es decir, la paragénesis y sucesión mineral, los factores de concentración y la microtectónica.

En el caso de los yacimientos de origen endógeno, esta revisión de los factores metalogénicos tiene un gran interés, ya que las teorías que tratan de explicar su génesis son todavía numerosas y muy discutidas. Por el contrario, para los de origen exógeno, el problema es totalmente diferente; pues si bien son muchas las cuestiones de detalle que aún quedan por resolver, lo cierto es que para la mayor parte de ellas es indiscutible su origen sedimentario.

Por esta razón, y análogamente a como se ha hecho con las rocas encajantes, conviene separar las mineralizaciones de origen endógeno de las que se deben a procesos sedimentarios.

YACIMIENTOS DE ORIGEN ENDÓGENO

Dejando a un lado las mineralizaciones radiactivas de Porriño, Fuenteovejuna, Besullo y Santa Elena —en las que la radiactividad se debe a la uraninita, circón, allanita y otros minerales accesorios constituyentes de la roca— y las correspondientes a diseminaciones supergénicas producidas por la meteorización de minerales primarios, se consideran aquí únicamente los yacimientos españoles que tienen uraninita, pechblenda y coffinita hipogénicas, de las cuales, las dos últimas, aún sin estar relacionadas con una paragénesis determinada, presentan asociaciones muy constantes con otros minerales.

Paragénesis y sucesión mineral

Tal y como se ha indicado ya, la uraninita es rara en España. Sólo se ha encontrado en las pegmatitas de Sierra Albarrana —donde el uranio va unido además al titanio, en la brannerita, y a las tierras raras, en la monacita— y en los yacimientos pirometasomáticos tipo Burguillos, donde su aparición está estrechamente relacionada con una fase pegmatítico-neumatolítica durante la cual se formó también allanita.

La *pechblenda*, por el contrario, es relativamente frecuente en nuestro país, donde constituye un elemento importante de aquellas mineralizaciones radiactivas —Albalá, Alburquerque, Cardaña y pizarras uraníferas de Salamanca— cuyas paragénesis son pobres en minerales metálicos. De éstos, los más importantes son los sulfuros de hierro —pirita y marcasita—, los cuales están estrechamente relacionados entre sí. La melnicovita aparece

también, especialmente en los yacimientos tectonizados, junto a la parapechblenda, los óxidos negros y la coffinita supergénica.

Sin embargo, cuando los sulfuros metálicos son abundantes, la pechblenda aparece en mucha menor cantidad. Así, es escasa en los yacimientos que contienen sulfuros de cobre, como en la mina "La Virgen", en Andújar, o sulfuros BGPC, como ocurre en Lumbrales y Escalona.

La asociación mesothermal clásica, con los arseniuros de níquel y cobalto, sólo parece existir en Monesterio, ya que no ha sido citada hasta ahora en ninguna otra localidad española.

La *coffinita*, cuando es primaria, puede ser epigénica de la pechblenda —Albalá, Cardena, pizarras de Salamanca—, o constituir el principal portador de uranio —Villar de Peralonso, Alburquerque, Andújar—, en cuyo caso puede estar, a su vez, transformada en pechblenda.

Por lo que se refiere a la sucesión mineral, la pechblenda y la coffinita son en España minerales tardíos, ya que son posteriores a los sulfuros BGPC y a la venida principal de calcopirita en las paragénesis cupríferas. Únicamente son precoces la pechblenda de Monesterio, que se deposita antes que los otros minerales de la paragénesis, y la coffinita de Villar de Peralonso, que puede ser anterior a la fluorita y los sulfuros de hierro.

En general, puede decirse que la pechblenda se deposita de una sola vez, y que los procesos de removilización sólo han dado lugar a la formación de óxidos negros o a minerales secundarios de uranio.

La *pirita* que acompaña a la pechblenda suele depositarse también antes que ella, si bien es muy frecuente la deposición simultánea de un gel complejo sílico-urano-sulfurado.

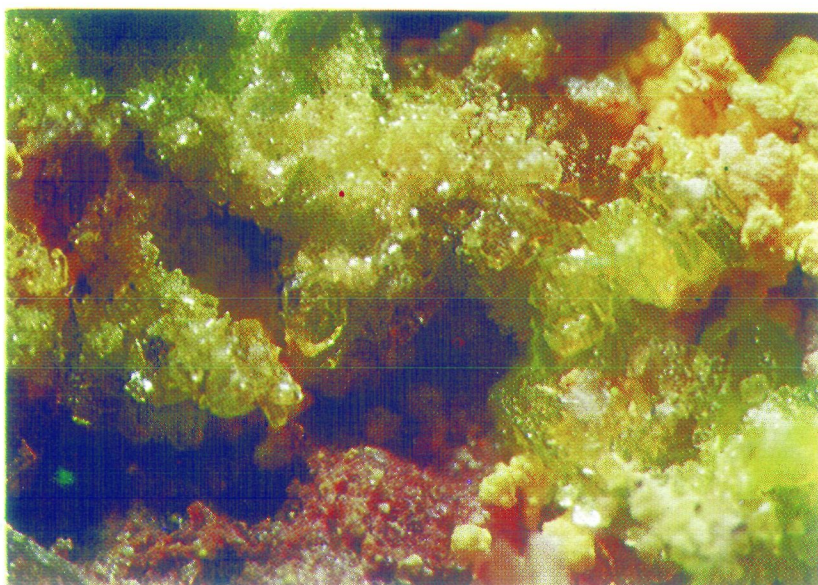
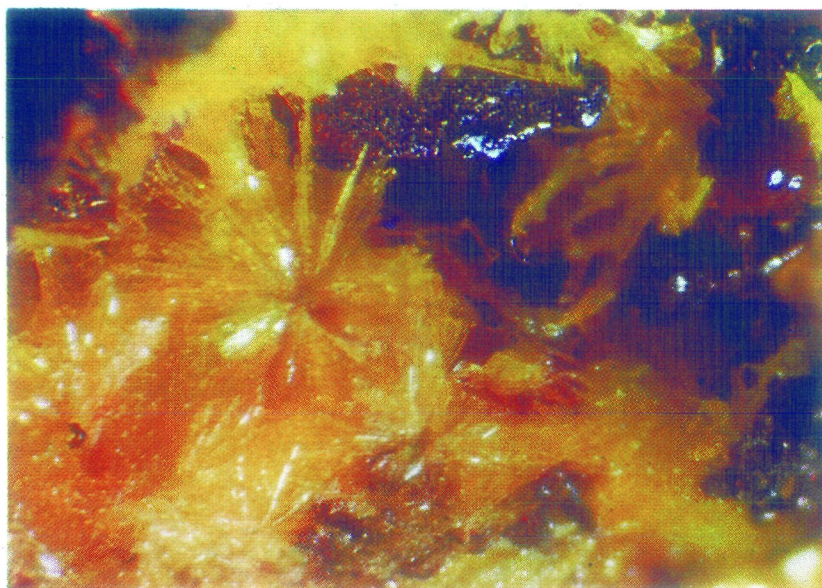
Por lo que respecta a las gangas, la *calcita* es posterior a la pechblenda, en Monesterio, y anterior a ella en Cardena, Andújar y Escalona, pero en estos tres yacimientos no se puede decir que su aparición esté directamente relacionada con la llegada del uranio.

La *fluorita* es casi siempre posterior, aunque en Villar de Peralonso puede ser también anterior a la coffinita. En este yacimiento pertenece generalmente a la variedad antozonita.

El *cuarzo*, en fin, puede aparecer igualmente antes o después que la pechblenda, ya que se deposita en varias etapas, pero es muchas veces simultáneo con ella.

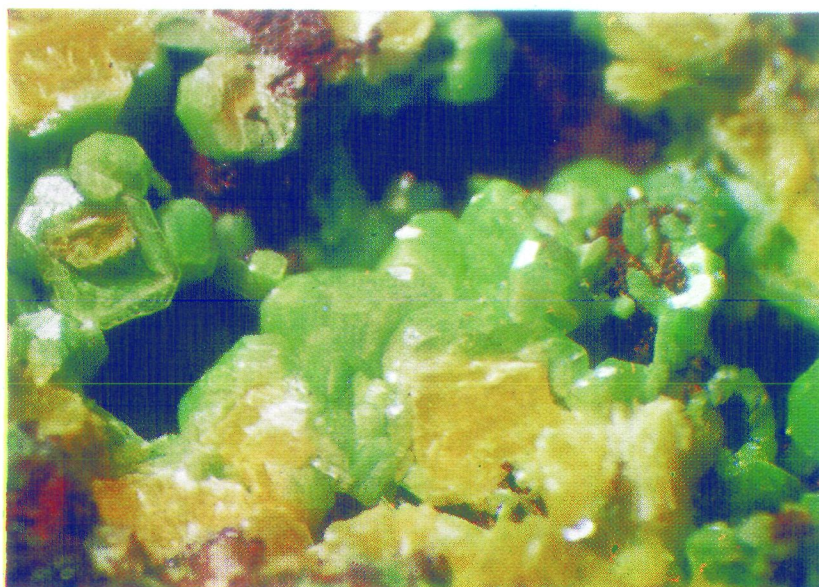
En la Lámina I se resumen, simplificadas, las principales paragénesis uraníferas de los yacimientos filonianos españoles. El cuadro se ha hecho de acuerdo con las siguientes normas:

10. FOSFURANILITA
Albalá
(Cáceres)
× 60

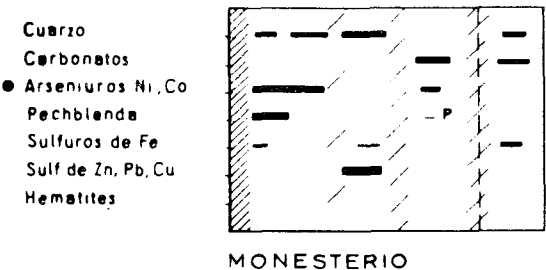
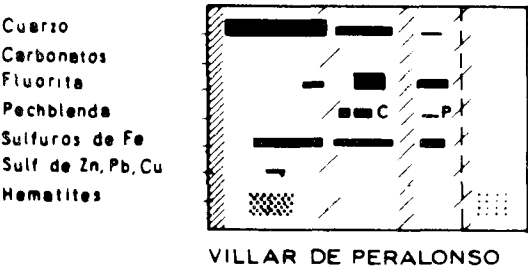


11. JOHANNITA y
ZIPPEITA
Venta de Cardaña
(Córdoba)
× 50

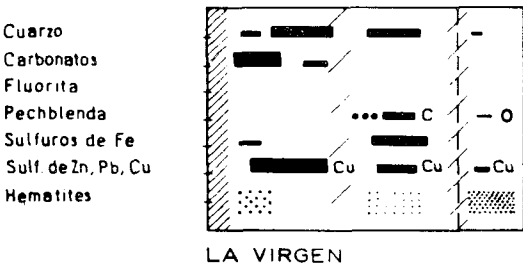
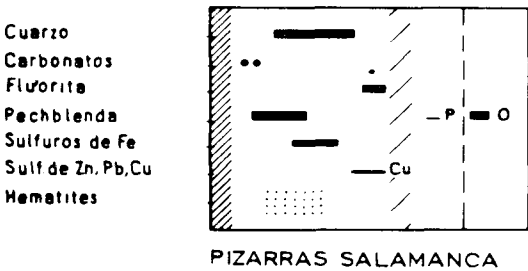
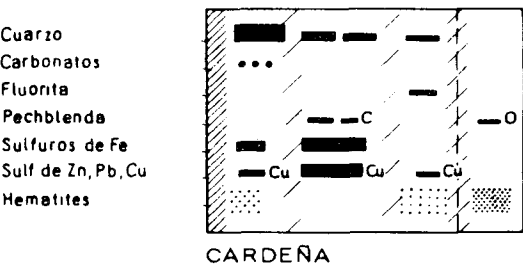
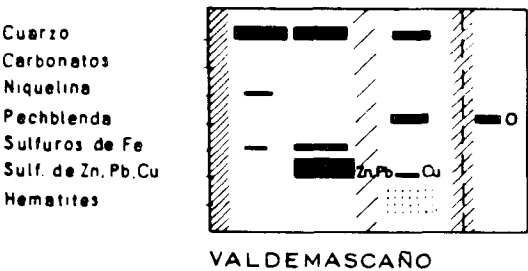
12. AUTUNITA y
TORBERNITA
Lumbrales
(Salamanca)
× 18



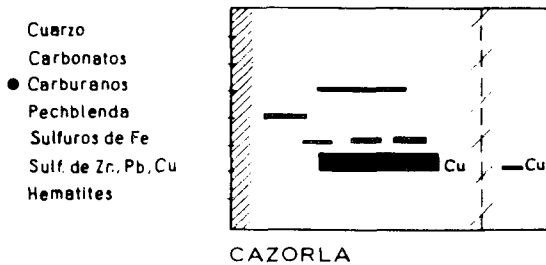
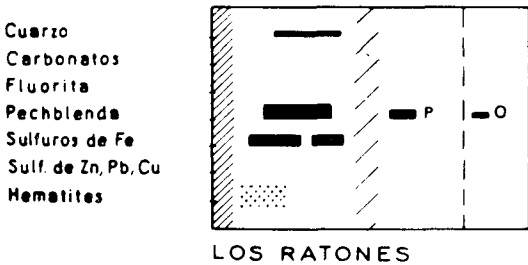
SECTOR ZAMORA - SALAMANCA



SECTOR CORDOBA - JAEN



SECTOR CACERES - BADAJOZ



SECTOR TOLEDO

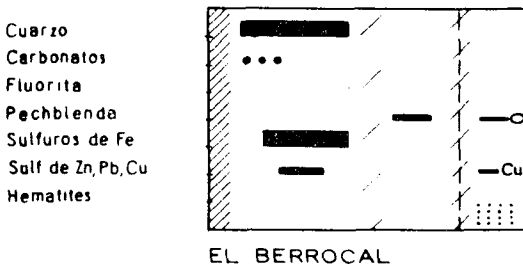
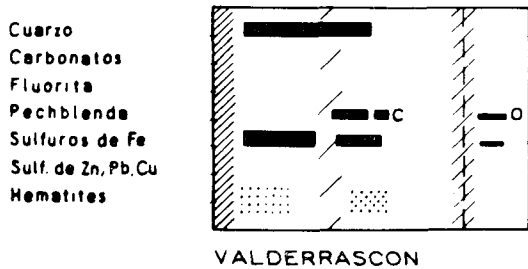


LÁMINA 1

Paragénesis y sucesión mineral de los principales yacimientos filonianos de uranio existentes en los granitos hercínicos españoles

- Los componentes de la paragénesis se indican a la izquierda de cada diagrama. Los minerales menos corrientes se señalan por el signo colocado a la izquierda del nombre.
- El espesor del trazo es aproximadamente proporcional a la abundancia de cada mineral en el yacimiento. Cuando se trata de constituyentes hipotéticos, éstos se marcan por solo una línea de puntos.
- Los movimientos tectónicos se indican por un rayado oblicuo, tanto más apretado cuanto el movimiento ha sido más intenso.
- En la línea correspondiente a los sulfuros de cinc, plomo y cobre, se señalan, con el símbolo correspondiente, los minerales dominantes en el yacimiento.
- A la derecha del diagrama, y separados por un rayado vertical, se indican los “minerales negros”, formados en último lugar, para los que es a veces difícil establecer su relación con las acciones hipogénicas o supergénicas. P designa la parapechblenda, C la coffinita, y O los óxidos negros, constituidos fundamentalmente por neopechblenda y coffinita.

Factores de concentración

Salvo en el caso de las mineralizaciones singenéticas —Porriño, Fuenteovejuna y Santa Elena— y en el de las pegmatitas —Albarrana— y skarns —Burguillos—, en los que la uraninita es un mineral petrogenético, el depósito de la pechblenda está siempre condicionado o favorecido por la existencia de ciertos factores tectónicos y físico-químicos.

Por lo que se refiere a los primeros, la pechblenda rellena siempre la red de fracturas o fisuras abiertas, simples o complejas, que afectan a las rocas encajantes. Estas discontinuidades mecánicas se producen generalmente a favor de la reapertura de filones y diques más antiguos —pórpidos, microgranitos, cuarzo—, o en el contacto de éstos y las rocas adyacentes.

En cuanto a los factores físico-químicos, las concentraciones de pechblenda, como las de otros muchos minerales metálicos, se producen preferentemente en el contacto con ciertos tipos de rocas, especialmente las ferromagnesianas. Esto es lo que ocurre con las porfiritas andesíticas de Cardaña y Andújar, y con las diabasas de Monesterio.

Microtectónica

De las observaciones efectuadas al microscopio, se deduce que en general existen tres etapas tectónicas más o menos relacionadas con la mineralización uranífera.

La primera es la más importante y precede al depósito de los minerales de uranio. Las otras dos son de variable intensidad y posteriores a la llegada

de la pechblenda. La primera señala generalmente el comienzo de las fases de oxidación y reemplazamiento de los minerales de uranio, mientras que la última, que parece ser consecuencia de los movimientos de reajuste actuales, ha favorecido la distribución de los minerales secundarios en los niveles supergénicos.

Origen y edad de los yacimientos filonianos

Descontados los indicios uraníferos en aplitas y pegmatitas, y los de los filones mesotermales, cuya formación y tipo de mineralización resultan de la evolución del granito en el que están enraizados y se pueden explicar por las teorías petrogenéticas y metalogénicas clásicas, son muchas las dificultades que surgen cuando se quiere conocer el origen de los filones epitermales que existen dentro de los granitos, o en su inmediata vecindad, y a los que pertenecen precisamente las reservas de uranio más importantes encontradas hasta ahora en España y, en general, en Europa occidental.

Desde 1949, en que se empezaron a describir en Francia los primeros filones intragraníticos con pechblenda, surgieron fuertes dudas sobre la validez de las teorías metalogénicas clásicas, tales como las de Lindgren, Emons, Niggli y Schneiderhöhm, para explicar la presencia de paragénesis de baja temperatura, características no sólo de los filones de uranio sino también de otros muchos de plomo, cinc, bario y fluor, dentro de los granitos. Por ello, a partir de ese momento, se multiplicaron las hipótesis que intentaban explicar el origen y la falta de zonalidad peribatolítica de estas mineralizaciones.

En el caso de los yacimientos de uranio, el problema era aún más evidente, pues la edad de la pechblenda demostraba que las mineralizaciones eran hercinianas tardías (DEMAY, 1953) o alpinas precoces (HORNE, 1960), lo que significaba que este mineral se había depositado cuando el granito, —que es a lo más de edad estefaniense— estaba ya consolidado e incluso erosionado; por todo lo cual se hacía muy difícil interpretar la formación de este tipo de filones hidrotermales por alguna de las teorías entonces existentes, a saber:

- la *diferenciación* por cristalización magmática fraccionada, que supone la existencia de una fase volátil.
- la *granitización*, que atribuye la concentración de determinados elementos a su incapacidad para formar parte de las redes de los silicatos que forman las rocas plutónicas.
- la *regeneración*, basada sobre una supuesta movilización de los minerales contenidos en un yacimiento preexistente.

La primera teoría no era admisible por las razones antes expuestas: no existe zonalidad, ni horizontal ni vertical, en esta clase de yacimientos. La segunda tampoco, porque las mineralizaciones resultan ser bastante más jóvenes que el granito encajante. Y la tercera, porque no hay razones que permitan suponer la existencia de yacimientos uraníferos profundos, primarios, capaces de ser movilizados por procesos hidrotermales secundarios.

En 1955, ROUBAULT y COPPENS pensaron que estas mineralizaciones podían atribuirse a inclusiones o segregaciones de uraninita cuyo uranio se habría movilizado por difusión a través de la roca, y concentrado, por una especie de secreción lateral, para dar lugar a los filones con pechblenda, pero sin que para ello fuera necesaria la presencia de fracturas preexistentes.

GEFFROY y SARCIA (1957 y 1958) advirtieron que las mineralizaciones radiactivas se encuentran siempre en rocas que, como los leucogranitos —en los que la mayor parte del uranio está en forma lábil— han sufrido procesos de albitización, moscovitización y tectonización de variable intensidad y extensión. Además, por consideraciones geoquímicas, y éste es el fundamento de su teoría, llegaron a la conclusión de que, durante aquellos procesos, los elementos litófilos —O, Si, Ca, Mn, F, Ba y U— se podían movilizar fácilmente por soluciones hidrotermales, incluso de baja temperatura, probablemente carbonatadas o silíceas, en forma de compuestos oxidados relativamente poco solubles. Y eran precisamente estos elementos, los que al quedar en libertad cuando las redes de sus minerales eran destruidas bajo la acción combinada de los procesos de alteración y los esfuerzos tectónicos que tienen lugar en zonas próximas a la superficie terrestre, podrían dar lugar a los yacimientos epitermales tardíos.

De acuerdo con esta idea, el uranio de las rocas graníticas, contenido principalmente, como ahora se sabe, en la biotita, cuarzo y feldespato potásico, podría moverse durante los procesos de cloritización, moscovitización y albitización de estos minerales, que son precisamente los más sensibles a la hidrólisis. Si, además, existiera una acción mecánica capaz de iniciar y contribuir al desarrollo del proceso hidrolítico, los elementos fácilmente transportables podrían ser extraídos y depositados de nuevo en cualquier clase de fisuras siempre que las condiciones físico-químicas fueran favorables.

En resumen, según aquellos autores, los “filones uraníferos epitermales podían ser considerados como concentraciones filonianas de elementos litófilos en granitos alterados, producidas como consecuencia de una lixiviación ascendente a través de zonas fracturadas subyacentes”.

Una hipótesis similar fue aceptada por nosotros (ARRIBAS, 1961 y 1962) para los yacimientos intragraníticos españoles de uranio, y por PILAR (1969) para los portugueses, mientras que VINOGRADOV (1959), en la U.R.S.S., y LO-

VERING (1963), en los EE. UU., adoptaban puntos de vista semejantes para la mayor parte de los yacimientos epigenéticos encajados en los granitos.

Posteriormente, tras las efímeras teorías de ROUTHIER y GAUTSCH (1958), y DAVIDSON (1960), que creían en la probable existencia de focos magmáticos tardíos y en la regeneración, durante la orogenia alpina, de mineralizaciones hercinianas, surgieron las ideas más revolucionarias de MOREAU, POUGHON, PUIBAREAUD y SANSELME (1966), aceptados por algunos geólogos españoles y por MATOS DÍAS y SOARES ANDRADE (1970) en Portugal, que abogan por una concentración descendente del uranio durante las épocas de actividad tectónica y como consecuencia de la alteración biostática, superficial, de los granitos llamados “fértiles”.

Ultimamente, sin embargo, los trabajos de CARRAT y RANCHIN (1967), y RENARD (1970) han venido a demostrar la validez de la teoría ascendente, hidrotermal y litogénica —en el sentido que dio a esta palabra Lovering— expuesta originalmente por Geffroy y Sarcia, y de la que sin duda se puede afirmar que es, hoy por hoy, la menos inverosímil.

En efecto, los trabajos de aquellos autores, confirmados plenamente en España por los resultados obtenidos recientemente en el Departamento de Mineralogía (PENHA, 1973), han demostrado, primero, que el contenido en uranio de los granitos llamados fértiles, caracterizados por un fondo alto y constante, a escala regional, de 5 a 7 ppm., puede llegar a ser en los leucogranitos asociados —es decir, en los granitos alcalino-potásicos con moscovita, caracterizados por una tendencia sílico-sódica final y una albitización tardía— de 15 a 22 ppm.; segundo, la presencia en estos granitos, como mineral accesorio, de cristales de uraninita, con tamaños comprendidos entre 10 y 30 micras, incluidos en los minerales tardíos, concretamente el cuarzo y los feldespatos, originados en la fase deutérica; y, tercero, que en los granitos fértiles, entre el 50 y 70 % del uranio se encuentra en esta forma, que es precisamente la más móvil, mientras que en los granitos biotíticos, los menos favorables, el 70 % del uranio está sustituido diadóticamente en la red de los minerales refractarios, principalmente circón, apatito y monacita.

De todas formas, según JURAIN y RENARD (1970), el proceso de albitización no puede ser muy fuerte, porque en este caso se producen las greisenizaciones que acompañan a las fases hiperácidas, con mineralizaciones de wolframio y estaño, tan características de los distritos uraníferos hercinianos de Europa central y occidental (GEFFROY, 1973; PLUSKAL, 1970; SAAVEDRA, ARRIBAS y otros, 1974).

En España, los estudios realizados hasta ahora muestran un notable paralelismo entre el origen de las mineralizaciones uraníferas intrabatolíticas españolas y francesas. Quizá la única diferencia importante sea que las de-

formaciones tectónicas sufridas por los granitos encajantes de los yacimientos españoles y, en este caso, también de los portugueses, no alcanzan, por lo general, la intensidad que caracteriza a las grandes áreas cataclásticas francesas (ARRIBAS, 1961). Lo que viene a demostrar que los procesos de transformación deutérica sufridos por las rocas encajantes de los yacimientos franceses, al igual que ocurre en los granitos de la Península Ibérica, tienen mayor importancia que los tectónicos para la preconcentración del uranio de los leucogranitos; si bien, para la deposición de la pechblenda, son necesarias las estructuras abiertas que pueden crear los procesos orogénicos. Conclusión ésta de gran importancia práctica para la prospección de yacimientos filonianos de uranio en los granitos.

En cuanto a la edad absoluta de las rocas encajantes y de las mineralizaciones con pechblenda y coffinita de los yacimientos intrabatólítos europeos, los resultados obtenidos son análogos para los granitos franceses, españoles, alemanes, polacos y checoslovacos.

En el área mejor estudiada, el Macizo Central francés (RANCHIN, 1968; COPPENS y otros, 1969), los leucogranitos son en su mayor parte westfalienses, y sus edades, comprendidas entre 286 y 320 M.A., corresponden a las fases Erzgebirge y Sudética. La edad de las inclusiones microscópicas de uraninita, relacionadas con la alteración deutérica, varía entre 280 y 330 M.A., es decir, se extiende igualmente entre el Namuriense y el Westfaliense.

Por lo que se refiere al emplazamiento de la pechblenda, las edades obtenidas, 240 a 265 M.A., coinciden en líneas generales para todos los yacimientos franceses, y corresponden a la fase Saeliense. La mayor diferencia de edad entre la mineralización uranífera y el emplazamiento del granito se ha encontrado en el Erzgebirge, donde la separación llega a ser de 150 m.A. (VINOGRADOV, 1959).

Otras edades más jóvenes —70 M. A.—, semejantes a las obtenidas en Portugal —80 a 90 M.A. (HORNE y otros, 1960)— indican que también en el caso del uranio, al igual que ocurre con otros metales, las removilizaciones secundarias son muy frecuentes; hasta el punto de que, en España, donde la pechblenda y la coffinita son siempre los últimos metales primarios en depositarse, se podría pensar que todos los minerales hipogénicos de uranio han sido removilizados más de una vez, y que las edades que se obtengan serán casi siempre más jóvenes que la de la mineralización original*.

Las dataciones efectuadas en nuestro Departamento, en colaboración con los Institutos de Geocronología de las Universidades de Buenos Aires y Sao

* Esta removilización repetida del uranio, que ya fue objeto de discusiones durante el Symposium de la A. I. E. A. en Viena, en 1970, podría ser la responsable, en cierto modo, de la teoría genética de MOREAU y otros (1965) que atribuye a todos los yacimientos filonianos intrabatólítos de uranio un origen descendente.

Paulo (PENHA y ARRIBAS, 1974), demuestran que la edad absoluta de los granitos uraníferos españoles —310 M.A., Albalá; 313, Villar de Peralonso; 305, Don Benito; 291, los Pedroches*; y 284, Alburquerque— es análoga a la de los granitos uraníferos franceses y portugueses, ya que la de estos últimos, según los trabajos de MENDES (1968), es de 290 M.A. para el granito de Nisa, y de 280 M.A. para los granitos de Urgeirica, Guarda y Viseu.

En cualquier caso, es interesante destacar que las edades obtenidas para los granitos uraníferos de la Península Ibérica han venido a confirmar la existencia de una migración orogénica dirigida, en el tiempo, de SE a NW, tal y como había sido sugerida por CORRETGÉ en 1971.

Únicamente queda por explicar el caso singular, ya que parece ser exclusivo de la Península Ibérica, del uranio existente en los metasedimentos que rodean a algunos granitos hercinianos, ellos mismos uraníferos, de España y Portugal.

Aunque, como ya se ha dicho, estas mineralizaciones están constituidas esencialmente por productos secundarios de uranio, sin continuación en profundidad, los sondeos efectuados por debajo de la zona de oxidación han demostrado la existencia de una red de filoncillos con ganga de carbonatos y pechblenda, siendo frecuentes los boxworks de este mineral en las zonas supergénicas.

A falta de dataciones geocronológicas absolutas, FERNÁNDEZ POLO (1970) ha atribuido estas mineralizaciones a una concentración descendente, durante el Terciario, del uranio contenido en los granitos circundantes, puesto primero en libertad por los procesos de meteorización que acompañaron al desarrollo de las penillanuras, y depositado más tarde en las cuencas de hundimiento a favor de las diaclasas y zonas brechificadas próximas a los granitos.

Sin embargo, teniendo en cuenta los caracteres metalogénicos —paragénesis de baja temperatura y estructura filoniana de los minerales primarios— y, sobre todo, la aparición de mineralizaciones análogas con pechblenda en los metasedimentos del borde norte del batolito de los Pedroches, estos yacimientos fueron considerados por nosotros (ARRIBAS, 1962), con independencia de la interpretación genética —ascendente o descendente—, que se les quiera dar, como filonianos epitermales.

En Europa, lo único parecido serían las impregnaciones con autunita de Le Bleymard, en los esquistos que rodean a los granitos de Cévennes, concretamente al de Mont - Lozère (GEFFROY, 1971), donde los sondeos han atravesado filoncillos con coffinita y ganga de siderita —yacimiento de Bondons— por debajo de la zona de oxidación.

* Edad que corresponde bastante bien con la hallada por LEUTWEIN y otros (1970) para el stock granítico de Fontenosa, en Sierra Morena.

Es evidente, pues, que desde el punto de vista genético, el carácter más significativo de este tipo de yacimientos es el ambiente débilmente metamórfico que rodea a los plutones graníticos. Por ello, a falta de datos más precisos y teniendo en cuenta que en los yacimientos españoles y portugueses las estructuras en las que se encuentran los minerales primarios, y las edades de éstos, pueden ser tanto alpinas como hercínicas, cabe pensar si los yacimientos en pizarras no representarán un aspecto extrabatolítico de los mismos procesos metalogénicos que condujeron a la concentración del uranio dentro de los granitos.

Yacimientos de origen exógeno

Los yacimientos estratiformes de origen sedimentario tienen en España un origen bien definido. Sus asociaciones minerales y las transformaciones sufridas por las rocas encajantes son, descontadas las meteóricas, las que normalmente tienen lugar durante la diagénesis para cada tipo de roca.

Así, las cuarcitas circoníferas de Santa Elena corresponden a un antiguo placer metamorfozado, probablemente una playa.

Los lignitos oligocenos de Cataluña y Aragón deben su radiactividad al uranio fijado por la materia orgánica cuando ésta se encontraba en un estado inicial de la carbonificación. Es decir, se trata de una deposición singénica del uranio, simultánea o inmediatamente posterior al depósito de los materiales que iban a constituir las rocas encajantes (MARTÍN, 1973). A este mismo origen se puede atribuir la radiactividad de los materiales carbonosos de Dos Aguas, en Valencia.

Las areniscas y margas del Trías y Permotrías de Cataluña, Aragón, Andalucía, Cuenca y Guadalajara, con minerales de cobre y materiales asfálticos, son radiactivas gracias a la pechblenda depositada sobre los tejidos vegetales, o al uranio de los carburanos —en los que también hay cantidades apreciables de V, Cu, Ni, Co y Pb— y al absorbido en los restos orgánicos húmicos individualizados en partículas microscópicas o submicroscópicas.

Los niveles radiactivos de los sedimentos aluviales del Cretácico inferior de Soria, Aragón y Guadalajara deben su radiactividad al uranio asociado con la materia orgánica dispersa en las areniscas arcósicas albenses. A diferencia de lo que ocurre en los lignitos, los componentes biogénicos son aquí húmicos o asfálticos; a partir de ellos, el uranio se ha podido movilizar fácilmente gracias a la porosidad de las areniscas, y ha dado lugar a redeposiciones epigenéticas que frecuentemente enmascaran el verdadero origen de la mineralización.

Por último, las mineralizaciones uraníferas de las areniscas y margas miocenas de Cuenca, Guadalajara, Madrid y Toledo, se deben al uranio

asociado con los restos fósiles, tanto animales como vegetales, que contienen aquéllas. Se trata de huesos de mamíferos y materiales carbonosos que han fijado, en forma de vanadatos, el uranio contenido en el propio sedimento, y que ha sido movilizado posteriormente por acciones meteóricas o por la circulación de aguas durante la diagénesis.

ESPAÑA Y LA PROVINCIA URANÍFERA EUROPEA

La existencia de una provincia metalogénica europea, sugerida por algunos geólogos, es difícil de demostrar cuándo se trata de aplicar este concepto al caso del uranio.

LENOBLE y GEFFROY (1957), que se ocuparon de este tema, distinguieron claramente el significado de los términos provincia, zona orogénica y distrito, para concluir que “las mineralizaciones uraníferas en Europa son tan complejas, que es difícil encontrar en ellas caracteres comunes que justifiquen el término de provincia uranífera europea, aunque sí es posible establecer analogías entre los yacimientos pertenecientes a un área tectónica determinada”.

En efecto, a pesar de la diversidad de las mineralizaciones uraníferas, existen muchas semejanzas entre los yacimientos europeos y españoles, especialmente cuando pertenecen a una misma área orogénica. Por ello tiene interés comparar unos con otros y ver si hay datos suficientes que permitan establecer con certeza la existencia de una provincia uranífera, al menos en la parte occidental del continente.

Desde el punto de vista tectónico (Fig. 1), España es un territorio afectado principalmente por la orogenia herciniana en el que no existen restos indudables, al menos en su forma original, de escudos precámbricos, o de estructuras caledonianas bien definidas.

Fuera del Hercínico, sólo se pueden reconocer en los bordes de la Meseta los efectos de la orogenia alpina, la cual puede haber dado lugar a un metamorfismo ligero, caso del Trías bético, pero no a procesos de granitización post-carboníferos al estilo de los Alpes, o a fenómenos volcánicos sinorogénicos de tipo balcánico.

Dominio hercínico

Por lo que se ha visto hasta ahora, no se conoce ninguna concentración importante de uranio en los sedimentos paleozoicos. Únicamente hay que citar dos ejemplos: algunas cuarcitas carbonosas cámbricas que se extienden por la provincia de Badajoz, y en las que el uranio parece estar asociado con la materia orgánica, y las cuarcitas de Santa Elena, en las que la radiactividad se debe a los circones existentes en la arenisca original.

Las mayores reservas y posibilidades uraníferas se encuentran en las formaciones filonianas. Estas pueden tener carácter intragranítico, y afectar poco o nada a las metamorfitas encajantes —Albalá, Alburquerque, Villar de Peralonso, Andújar, Cardaña, Escalona—, o peribatolítico, y estar entonces localizadas en la vecindad de batolitos bastante erosionados —pizarras de Salamanca, Cáceres, Badajoz—, o en zonas alejadas de ellos y de los ejes máximos de la granitización hercínica —Monesterio—, en cuyo caso las paragénesis son más complicadas y de carácter polimetálico.

Las mineralizaciones pegmatíticas de Sierra Albarrana; aplíticas de Fuenteovejuna, Villanueva del Fresno y Besullo; y metamórficas de Porriño y Burguillos del Cerro, no ofrecen actualmente interés por su contenido en uranio.

Por lo que se refiere a las series de cobertera, las mineralizaciones más importantes se encuentran en las formaciones mesozoicas y cenozoicas que cubren las áreas estables del zócalo herciniano. Corresponden a ellas los lignitos oligocenos de Cataluña y Aragón, las areniscas radiactivas del Infracretácico de Soria y Teruel, los indicios del Trías y Permotrías de Lérida, Sevilla, Zaragoza y Guadalajara, y las areniscas miocenas con vanadatos de Madrid, Cuenca y Guadalajara.

Dominio alpino

Hasta ahora no se han encontrado indicios importantes de uranio en los sedimentos pertenecientes a las áreas móviles del dominio alpino, y lo mismo se puede decir de sus rocas endógenas, aunque existan unas anomalías radiométricas, sin interés económico, asociadas a las rocas volcánicas básicas de Jumilla y Cancarix, en las provincias de Murcia y Albacete (I.G.M.E., 1972).

Por lo que se refiere a las series de cobertera, deberían incluirse aquí las mineralizaciones epitermales, tipo Cazorla, ya que éstas podrían ser debidas, al menos en parte, a una “removilización ascendente”, por la tectónica alpina, de otras existentes en el zócalo herciniano (ARRIBAS, 1959 y 1960b).

La provincia uranífera europea

De acuerdo con estas ideas, y considerando que las únicas analogías ciertas que se pueden establecer por ahora corresponden a las rocas plutónicas hercínicas —en las cuales se encuentran como en el resto de Europa occidental, las mejores y más importantes reservas conocidas de uranio*—, se

* Hasta el punto de que, como dice GEFROY (1973), aplicando datos de la OCDE (1970), el área hercínica europea, esencialmente filoniana y con un potencial de 200.000 tns. de uranio como mínimo, puede compararse con cualquiera de las tres grandes formaciones estratiformes mundiales de uranio: las areniscas del Oeste norteamericano y los conglomerados de Blind River y Witwatersrand, en Canadá y África del Sur, respectivamente.

indican a continuación las relaciones existentes entre las mineralizaciones europeas y españolas de esta clase.

Yacimientos en aplitas y pegmatitas: No existen en Europa formaciones pegmatíticas hercinianas con uraninita y brannerita análogas a las de Sierra Albarrana. La uraninita de los filones de Château-Lambert, en los Vosgos (Francia), no se encuentra en pegmatitas "sensu stricto". Allí, la uraninita, acompañada por sulfuros de cobre y ganga sericítica, aparece en un yacimiento de molibdenita con la que está directamente asociada la brannerita que también existe en el yacimiento.

Yacimientos de contacto: Tampoco existen en Europa yacimientos de contacto análogos a los de Burguillos del Cerro, pues las mineralizaciones parecidas que hay en Suecia, por ejemplo, en Bastnäs, son precámbricas.

Yacimientos intragraníticos: Las analogías son muy grandes cuando se trata de las formaciones filonianas encajadas en los granitos hercinianos, especialmente con los yacimientos de Francia y Portugal. En todos estos casos, los filones tienen de común:

- estar en el interior de granitos alcalino-potásicos con tendencia sílico-sódica, caracterizados por una albitización tardía, no muy desarrollada, e importantes fenómenos de moscovitización.
- la pechblenda va asociada a paragénesis de baja temperatura y es, por lo general, posterior a los sulfuros acompañantes.

Las diferencias más importantes consisten en la falta de formaciones fluoradas masivas —análogas a las francesas de Vendée (l'Ecarpiere) y Grury (La Faye)— en España y Portugal, y en la existencia en la Península Ibérica de un tipo de "impregnaciones en pizarras" que no parece tener correspondencia al otro lado de los Pirineos.

Las aureolas estanno-wolframíferas que rodean frecuentemente los batolitos uraníferos españoles y portugueses existen también en Francia, en el Macizo Central, pero no en Forez y Vendée, aunque en la primera de ellas se han encontrado también algunos indicios estanníferos (GEFFROY, 1973).

Por lo que se refiere a las mineralizaciones españolas, consideradas en conjunto, se pueden establecer las siguientes analogías teniendo en cuenta los caracteres metalogénicos de cada yacimiento.

Las formaciones con pechblenda masiva, tipo "Los Ratones" son análogas a las francesas de Margnac II o Henriette, en el distrito de La Crouzille (Haute-Vienne), y a las portuguesas de Cunha Baixa y Tolosa.

El yacimiento de “Valderrascón”, acompañado por abundante cuarzo y sulfuros de hierro, es semejante a las formaciones silíceas francesas tipo La Chapelle-Largeau (Vendée), o a las portuguesas del distrito de Guarda.

Las mineralizaciones de Lumbrales y Escalona, silíceas y con sulfuros BGPC, son equivalentes a las francesas de Bois-Noirs y el Limouzat, y a las portuguesas de Urgeiriça, Reboleiro y Da Vica.

El yacimiento fluorado de Villar de Peralonso tiene caracteres semejantes con los franceses de Vigneaud y Montagaud (Creuse), o con los alemanes tipo Wölsendorf (Baviera), donde, como en España, la coffinita juega el papel más importante en la mineralización.

El caso de las formaciones silíceas con pechblenda y sulfuros de cobre, tipo Andújar y Cardaña, es también interesante, ya que sólo hay paragénesis análogas en la U.R.S.S. En efecto, de este tipo de yacimiento uranífero, asociado exclusivamente a sulfuros de hierro y cobre, no existe en Europa occidental más representante que las mineralizaciones francesas de Entraygues, en el Aveyron, pues las portuguesas del distrito de Bendada contienen, junto a la calcopirita, pequeñas cantidades de blenda y galena.

Yacimientos peribatolíticos: La mineralización de Monesterio es parecida a las de Europa Central —Schneeberg, Jachymov, Przibram— y a las de la Selva Negra —Wittichen—, pero es interesante destacar que por ahora no se han encontrado en ella minerales de plata o bismuto.

Las pizarras de Salamanca constituyen un tipo especial de mineralización que por ahora parece ser exclusivo de la Península Ibérica, ya que los yacimientos portugueses de N.^a S.^a das Fontes y Nisa son análogos a los de las pizarras de Salamanca, Cáceres y Badajoz. Por lo que se refiere a las pizarras de Córdoba, los indicios de “San Valentín”, en Cardaña, podrían tener más analogías con los franceses del Sector de Herbiers (Vendée), los cuales están encajados en las micacitas del Brioveriense que rodean al macizo granulítico de Mortagne.

De todas formas, cualquiera que sea la interpretación genética que se dé a este tipo de yacimientos, lo que sí se puede decir es que las “impregnaciones uraníferas en pizarras”, prácticamente desconocidas en el Macizo Central francés, están condicionadas por el ambiente débilmente metamórfico que rodea a los plutones graníticos del Centro-Oeste de la Península.

CLASIFICACIÓN METALOGÉNICO-ESTRUCTURAL DE LAS MINERALIZACIONES ESPAÑOLAS DE URANIO

Como consecuencia de todo lo dicho, y para tratar de resolver las dificultades que surgen cuando se trata de clasificar los yacimientos de uranio

LÁMINA II

MINERALIZACIONES
NO ESTRATIFORMES

I. MINERALIZACIONES DE TIPO FILONIANO

A) *Aplíticos y pegmatíticos*

En rocas ígneas: Sierra Albarrana.

En rocas metamórficas: Villanueva del Fresno, Fuenteovejuna, Besullo y Cangas del Narcea.

B) *Mesotermales*

En rocas metamórficas: Monesterio ("Cabra Alta").

C) *Epitermales*

En rocas ígneas:

a) *Con cuarzo poco abundante*

1. *pechblenda masiva:* Albalá ("Los Ratones", "La Carretona"), Alburquerque ("Pedro Negro", "Toril del Centeno") y Trujillo ("Belén", "Torremocha").

b) *Con cuarzo abundante*

1. *pechblenda y sulfuros de hierro:* Alburquerque ("Valderrascón").
2. *pechblenda y sulfuros BGPC:* Escalona ("El Berrocal") y Lumbráies ("Valdemascaño").
3. *pechblenda y sulfuros de cobre:* Andújar ("La Virgen") y Cardeña ("Trapero", "Cano").
4. *coffinita y fluorita:* Villar de Peralonso ("María Teresa").
5. *minerales exclusivamente secundarios:* Yacimientos e indicios intragraníticos de Cáceres, Avila, Salamanca, Lugo y Orense.

En rocas metamórficas: Andújar ("Raso de los Machos"), Cardeña ("San Valentín") y Villanueva del Fresno ("Cabra Baja").

En rocas sedimentarias: Cazorla ("Collado Verde").

II. MINERALIZACIONES DE TIPO MASIVO

A) *Singenéticos*

En rocas metamórficas: Porriño.

B) *Epigenéticos*

En rocas ígneas: Skarns de Burguillos del Cerro ("Monchi") y Cala ("Tauler").

En rocas metamórficas: Pizarras uraníferas de Salamanca (Saelices, Alameda de Gardón, Villavieja de Yeltes, Villar de la Yegua), Cáceres (Ceclavín, Albalá, La Cargüera), Badajoz (Don Benito, Encinasola) y Barcelona (Malgrat).

MINERALIZACIONES
ESTRATIFORMESA) *Singenéticos*

En rocas metamórficas: Jaén (Santa Elena).

En rocas sedimentarias:

a) *Sedimentos organógenos:*

1. *Lignitos:* Oligoceno de Barcelona (Calaf, Sta. Coloma de Queralt), Zaragoza (Mequinenza), Huesca (Fraga) y Lérida (Berga).

b) *Sedimentos areniscosos:*

1. *Deltaicos:* Trías y Permo-trías de Lérida ("Eureka"), Sevilla (El Viar), Zaragoza (Epila), Guadalajara (Mazarete), Cuenca (Valdemeca) y Huesca (Monteanuy).
2. *Aluviales:* Albense de Soria (Abéjar y Cabrejas del Pinar), Teruel (Ariño, Andorra, Utrillas, Esteruel), Guadalajara (Peñalén).

B) *Epigenéticos*

En rocas sedimentarias: Mioceno de Cuenca (Loranca), Guadalajara (Córcoles) y Madrid (Paracuellos).

basándose exclusivamente en consideraciones genéticas, se propone aquí una clasificación mixta que tiene en cuenta simultáneamente los caracteres metalogénicos, morfológicos y estructurales (Lám. II). A ella se pueden referir no sólo los yacimientos conocidos, sino todos los indicios españoles, incluidos los que están en fase de investigación, comparables con alguno de los tipos que han sido estudiados con detalle.

Únicamente se debe señalar que al tipo filoniano se han atribuido todas las mineralizaciones cuyos afloramientos muestran una geometría lineal bien definida. Por ello, se han incluido aquí los yacimientos de los granitos, constituidos fundamentalmente por minerales secundarios, pues independientemente de su morfología —ya que se trata casi siempre de concentraciones supergénicas a lo largo de zonas fracturadas y brechificadas—, son evidentes sus relaciones genéticas con los yacimientos típicamente filonianos. Este fue el caso de muchos indicios, tales como Valdemascaño, La Virgen, El Berrocal, Trujillo y tantos otros, que sólo parecían contener minerales secundarios y que terminaron dando minerales primarios en profundidad.

Por el contrario, los yacimientos de las pizarras —debidos, cualquiera que sea su primitivo origen, a una diseminación de minerales secundarios en los esquistos encajantes de los filoncillos con pechblenda encontrados por debajo de la zona de oxidación— se consideran, por la irregularidad del afloramiento, como masivos epigenéticos en rocas metamórficas; aunque para alguno de ellos, por ejemplo, “Fe” o “Esperanza”, un origen filoniano, análogo al de los yacimientos peribatolíticos epitermales de Andújar y Cardena, parece evidente.

Por lo que se refiere a los sulfuros que definen algunas paragénesis, concretamente las epitermales, se han escogido en cada caso los dominantes en el yacimiento.

IMPORTANCIA ECONOMICA DE LOS YACIMIENTOS ESPAÑOLES

RESERVAS MUNDIALES Y NACIONALES DE URANIO

Según el informe de la Comisión de Energía Atómica Americana, “Nuclear Fuel Resources and Requirements”, de abril de 1973, las reservas mundiales de uranio razonablemente seguras, explotables a menos de 10, y entre 10 y 15 \$/libra de U_3O_8 , ascendían a 1.150.000 y 750.000 toneladas, respectivamente (Tabla I); cifras, éstas, algo superiores a las que se recogían en el informe publicado el mismo año por la Agencia de Energía Nuclear de la O.C.D.E. (Tabla II), y en las que están excluidas las reservas de la República Popular de China, Unión Soviética y países de Europa oriental.

Posteriormente, según datos expuestos en el Symposium sobre la Génesis de Yacimientos de Uranio organizado en mayo de 1974 por la I.A.E.A. (Tabla III), en los que se incluyen las reservas del yacimiento de baja ley, pero bajo coste de extracción, de Africa del Suroeste, aquellas cifras han ascendido a 1.240.000 y 920.000 toneladas, respectivamente (NININGER, 1974). Es decir, que las reservas totales, explotables a menos de 15 \$/libra U_3O_8 , son actualmente unos 2.160.000 toneladas.

Por lo que se refiere a los precios de extracción, es interesante destacar que el mismo NININGER, durante la reunión en Viena de la Agencia Internacional de Energía Atómica (1970) hacía una distinción entre las reservas seguras y probables, explotables a menos de 10, entre 10 y 15, y 15 \$/libra de U_3O_8 , y añadía textualmente, refiriéndose a los costes de extracción: "it now seems unlikely, in view of the recent successes in exploration, that the price of uranium will exceed \$ 10 per pound, in terms of today's dollar value, before the end of 1980's and possibly not until the latter part of that decade. Thus, for some time to come, there will not be much incentive to identify and develop additional resources in the \$ 10 - \$ 15 category".

Es evidente, pues, que nadie podía pensar lo que iba a ocurrir en 1974 con el aumento del precio del petróleo. En estos momentos es imposible encontrar una libra de U_3O_8 a menos de 12,5 \$; y ello contando con que alguien quiera venderla, pues todo el mundo está esperando a ver lo que ocurre en las próximas semanas, ya que ni siquiera se habla de meses. Esto quiere decir que los conceptos que han venido presidiendo hasta ahora la definición de las reservas de uranio, en función de sus leyes y precios de extracción, van a sufrir importantes cambios; lo que contribuirá sin duda a revalorizar la importancia de los lignitos radiactivos españoles, ya que el problema de su explotación es, en definitiva, un problema metalúrgico, y este tipo de dificultades siempre tiene solución cuando los minerales escasean y aumenta su precio en la forma que lo están haciendo actualmente.

TABLA I

Reservas mundiales de uranio (10 \$ / libra U_3O_8)	Tons. de $U_3O_8 \times 10^3$	% del total
EE.UU.	330	29
Unión Sudafricana	300	26
Canadá	236	20
Francia, Niger y Gabón	124	11
Australia	92	8
Otros países	68	6
TOTAL.....	1.150	100

TABLA II *

Países	RESERVAS (tons. $U_3O_8 \times 10^3$)		RECURSOS (tons. $U_3O_8 \times 10^3$)	
	10 \$ / libra	10-15 \$ /libra	10 \$ / libra	10-15 \$ /libra
Estados Unidos	305.7	166.0	635.0	272.2
Canadá	218.6	143.3	224.1	257.6
República Sudafricana	238.6	73.1	9.4	30.7
URANEX (Francia, Niger y Gabón)	113.9	35.4	58.1	47.2
Australia	83.5	34.7	92.5	34.5
España	10.0	9.1	—	—
Portugal	8.4	1.2	7.0	11.8
Yugoslavia	7.1	—	11.8	—
Suecia	—	318.4	—	47.2
Resto de Europa	1.5	1.5	—	—
Groenlandia	6.4	—	11.8	—
Argentina, Brasil, Méjico	12.1	11.0	19.3	27.2
Turquía, India, Japón	5.8	8.1	—	0.9
Angola, República Centraafricana y Zaire	11.6	—	11.5	15.4
TOTAL.....	1023.2	801.8	1080.5	744.7

* Se consideran como recursos las concentraciones minerales susceptibles de ser explotadas en un momento determinado, mientras que las reservas corresponden a aquella parte de los recursos que puede ser extraída económicamente en las condiciones actuales.

Observando la distribución geográfica de las reservas de uranio, resulta evidente que cuatro países —EE. UU., Sudáfrica, Canadá y Australia—, poseen el 84 % de las conocidas en el mundo occidental, explotables a menos de 15 \$/libra U_3O_8 . Al URANEX corresponde otro 10 %, y sólo el 6 % restante está en manos de 14 países. Además conviene señalar que un tercio de aquellas reservas depende de la producción de oro de Sudáfrica, y de la de fosfatos y cobre de los Estados Unidos, en donde el uranio será obtenido como subproducto.

Desde el punto de vista geológico, esta forma de presentar la distribución mundial de las reservas de uranio es quizá poco científica, puesto que se apoya más sobre conceptos políticos que geológicos, pero sirve para demostrar que un gran número de países, muchos de los cuales están en vías de

desarrollo, carecen o tienen una cantidad muy limitada de las reservas de uranio que podríamos llamar baratas, es decir, extraíbles a bajo costo.

Más interesante resulta observar el porcentaje con el que los diferentes tipos de yacimientos contribuyen al total de las reservas de uranio en el llamado mundo libre (Tabla IV). Se ve entonces la enorme importancia de los yacimientos estratiformes, ya que ellos constituyen por sí solos más del 80 % de las reservas totales explotables a menos de 15 \$/Ton. U_3O_8 (NININGER, 1974).

Por lo que se refiere a España, las reservas conocidas, explotables a menos de 10 \$/libra U_3O_8 , son unas 8.500 Ton. de uranio metal, de las cuales,

TABLA III
RESERVAS MUNDIALES DE URANIO RAZONABLEMENTE SEGURAS
(excluidas China, Unión Soviética y Europa oriental)

Países	10 \$ / libra U_3O_8		10-15 \$ / libra U_3O_8	
	$U_3O_8 \times 10^3$ tons.	%	$U_3O_8 \times 10^3$ tons.	%
Estados Unidos	340	27	180	20
Sudáfrica y S. O. Africano	260	21	80	9
Canadá	240	19	160	17
Australia	210	17	80	9
URANEX	130	10	—	—
Suecia	—	—	350	38
Otros países	60	6	70	7
TOTAL	1240	100	920	100

TABLA IV

Morfología del yacimiento	10 \$ / libra U_3O_8		10-15 \$ / libra U_3O_8	
	$U_3O_8 \times 10^3$ tons.	%	$U_3O_8 \times 10^3$ tons.	%
Estratiformes	870	70	830	91
Filonianos	260	21	60	6
Otros	110	9	30	3
TOTAL	1240	100	920	100

la mayor parte, unas 5.000 Ton., aproximadamente, pertenecen a los yacimientos en pizarras de la provincia de Salamanca *. Las explotables entre 10 y 15 \$ suponen otras 7.700 Ton., las cuales corresponden principalmente a los lignitos de Calaf, ya que los de la cuenca de Fraga-Mequinenza tendrían un coste de extracción superior a los 15 \$/libra U_3O_8 .

Esto significa que, teniendo en cuenta la relatividad de los precios, España posee actualmente más de 16.000 Ton. de U_3O_8 extraíbles a precios acordes con los existentes en el mercado internacional; pero siendo necesario aclarar que, si bien esta cifra es evidentemente conservadora y puede ser elevada sin temor a equivocaciones a las 10 y 9,1 toneladas que figuran en el informe de la OECD (Tabla II), casi la mitad de nuestras reservas depende, para poder ser utilizada, de la resolución de los problemas que plantea la extracción del uranio contenido en los lignitos.

LOS PROGRAMAS NUCLEARES Y LA DEMANDA DE CONCENTRACIONES DE URANIO

Todos los países industrializados del Mundo Occidental tienen prevista para un futuro inmediato una importante producción de energía eléctrica de origen nuclear, hasta el punto de que ésta representará, en 1990, el 50 % de la energía total generada en los EE. UU. y la C.E.E. En España, donde existen actualmente tres centrales nucleares en explotación —Zorita, Santa María de Garoña y Vendellós— y siete en construcción, con una potencia total instalada de 1.100 y 6.550 Mw, respectivamente, se alcanzará aquel porcentaje en 1985. Las siete centrales en construcción entrarán en servicio antes de 1979, existiendo planes para la construcción de nuevas plantas nucleares, con un ritmo de 2.000 a 3.000 Mw por año, a partir de 1980.

En la Tabla V se indican, en Mw, las previsiones de potencia nuclear instalada para los próximos 15 años según datos de la Agencia de Energía Nuclear de la O.C.D.E.

TABLA V

Países	1975	1980	1985	1990
C. E. E.	20.7	55.2	129	271
Suecia	3.2	8.3	16	24
Suiza	1	2.6	8	16
España	1.1	8	21.7	35
Japón	8.6	32	60	100
Canadá	2.5	6.5	15	31
EE.UU.	54.2	132	280	508
Mundo Occidental	94	272	574	1088

* En este sentido, no deja de ser curioso que la provincia de Salamanca, que es ya hoy la primera productora de energía eléctrica de nuestro país, sea también la primera en lo que se refiere a la reserva potencial de materias primas radiactivas.

Las cifras indicadas se consideran como muy probables, estimándose que en 1990 las diferencias con la realidad podrían ser de un 20 % como máximo.

En la Tabla anterior se han señalado las provisiones de los países que tienen los programas más importantes de construcción de centrales nucleares. Tal y como se puede observar en ella, para 1990, los EE. UU. dispondrán de una potencia nuclear instalada próxima al 50 % de la correspondiente al Mundo Occidental, mientras que España ocupará el quinto lugar de Europa y el séptimo de los países no socialistas.

Por lo que se refiere a la demanda de concentrados de uranio en el Mundo Occidental, como consecuencia de los planes nucleares a los que se acaba de hacer referencia, ésta ha sido calculada en la Tabla VI y expresada en Ton. a partir de los valores que se estimaron como más probables, en 1972, por la Comisión de Energía Atómica americana.

TABLA VI

Año	EE. UU.	Resto	Total	Acumulado
1975	16.511	17.872	34.383	82.735
1980	34.836	38.918	73.754	367.410
1985	64.864	71.305	136.169	910.814
1990	106.957	118.388	225.345	1.845.487
2000	139.344	182.526	321.870	4.535.926 *

* Las cantidades acumuladas corresponden a la suma de las demandas anuales desde 1973. El total acumulado para el año 2000 se ha calculado promediando las estimaciones anuales a partir de 1990.

De aquí resulta que las reservas mundiales de uranio extraíbles a menos de 10 \$/libra U_3O_8 —1.150.000 Ton., a las que antes se ha hecho referencia— sólo podrán satisfacer la demanda del mundo occidental hasta 1986, y que considerando las explotables entre 10 y 15 \$/libra, se llegaría hasta 1990.

En el caso concreto de nuestro país, la evaluación de las necesidades de uranio a corto plazo se puede calcular tomando como base, las previsiones del Plan Eléctrico Nacional, aprobado por el Ministerio de Industria el 20 de agosto de 1969, ya que la producción de energía eléctrica será el motivo principal de nuestra demanda de concentrados de uranio. Estas previsiones están recogidas en la Tabla VII, en lo que se refiere a la potencia eléctrica en servicio.

TABLA VII

Potencia previsible	1975		1980		1985		1990		2000	
	10 ⁶ KW	%	10 ⁶ KW	%	10 ⁶ KW	%	10 ⁶ KW	%	10 ⁶ KW	%
Hidráulica	12.5	50.0	16.8	43.1	17.8	34.9	18.8	27.4	22.0	18.8
Térmica de carbón	4.5	18.0	5.2	13.3	6.0	11.8	6.0	8.8	6.0	5.1
Térmica de fuel	5.5	22.0	8.5	21.8	10.2	20.0	14.2	20.7	18.0	15.4
Nuclear	2.5	10.0	8.5	21.8	17.0	33.3	29.5	43.1	71.0	60.7
TOTALES...	25.0	100.0	39.0	100.0	51.0	100.0	68.5	100.0	117.0	100.0

En ella se ve que la distribución porcentual de la potencia eléctrica producida por las diferentes fuentes de energía será sucesivamente, por lo que se refiere a la de origen nuclear, 2,5 %, en 1975, 17 %, en 1985 —fecha en que se igualará la producción de origen nuclear con la hidráulica, 34,9 %, y térmica convencional (carbón y fuel), 31,8 %—, 29,5 en 1990, y 71 %, en el año 2000. Lo que no quiere decir que la energía de origen nuclear vaya a sustituir en nuestro país a las otras formas de energía; sólo tratará de completar lo que no puedan producir las otras, ya que en un país de tan rápido desarrollo como el nuestro se necesita duplicar la potencia instalada cada seis o siete años.

Partiendo de estos datos, se puede calcular la demanda de uranio en España para los próximos 25 años, pensando que a los reactores de agua ligera instalados o en vías de instalación se unirán, a partir de 1978, las centrales térmicas nucleares de agua pesada y los reactores rápidos que las disponibilidades de plutonio permitan.

De acuerdo con ello, y considerando que los concentrados de uranio requieren por lo menos dos años para poder ser utilizados en las centrales como combustibles nucleares, en la Tabla VIII se han calculado las necesidades españolas para los próximos años, en toneladas métricas de U_3O_8 .

TABLA VIII

Año	Tm de U_3O_8	Total acumulado
1975	1.352	1.545
1980	3.494	13.256
1985	5.900	36.996
1990	8.514	74.320
2000	—	180.000 *

* Los totales acumulados corresponden a la suma de las demandas anuales desde 1794. El total para el año 2000 se ha calculado teniendo en cuenta que la tasa de crecimiento decrecerá al alcanzarse en nuestro país un consumo "per capita" más razonable que el actual.

TABLA IX

Países	1969	1970	1971	1972
Estados Unidos	10.573	11.703	11.158	11.703
Canadá	4.037	4.155	4.518	4.717
República Sudafricana	3.629	3.753	3.797	3.629
Australia	299	299	—	—
URANEX (Francia, Niger, Gabón)	1.978	1.950	2.622	1.903
España	65	60	71	71
Portugal	111	—	95	95
Suecia	34	16	9	8
Japón	—	—	—	18
Argentina	50	54	54	30

De estas cifras se deduce que, aún en el caso de que España lograra extraer todas las reservas razonablemente seguras que tiene reconocidas a menos de 10 \$/libra U_3O_8 —las que, según se ha dicho anteriormente, ascienden a 16.200 toneladas—, solamente tendría asegurado su autoabastecimiento de uranio hasta 1980, es decir, durante sólo 15 años. Si bien es preciso destacar que los Estados Unidos, con sus enormes reservas, sólo podrán autoabastecerse hasta 1983.

De cualquier forma, cuando se echa una ojeada a la Tabla IX, en la que se indica la producción de uranio, entre 1969 y 1972, en los países occidentales, es fácil darse cuenta del enorme esfuerzo que tendrá que realizar España para conseguir su abastecimiento en materias nucleares. Las cifras correspondientes a nuestro país son bien elocuentes.

BIBLIOGRAFIA

- ARRIBAS, A. (1959): *Mineralizations uranifères alpines en Espagne*. C.E.A. Colloque de la Soc. Eur. à l'Energie Atomique. Paris, 40.
- (1960a): *Mineralogy of the Spanish uraniferous deposits*. Sec. XV, XXII Int. Geol. Congress, pp. 98-108.
- (1960b): *Yacimientos alpinos de uranio en España*. Est. Geol., XVI, 163.
- y CATALINA, F. (1960): *Empleo de microscopio electrónico en el reconocimiento de los minerales de las gummitas*. An. de la R. Soc. Esp. de Fís. y Quím., LVI, 237.
- (1961): *Estudio petrográfico, mineralógico y metalogénico de los yacimientos españoles de minerales radiactivos*. Tesis doctoral. Univ. de Madrid.
- (1962a): *Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca*. Est. Geol., XVIII, 155.
- (1962b): *Min. y Metal. de los Yacimientos Españoles de Uranio: Los Ratones, Albalá (Cáceres)*. Est. Geol., XVIII, 117.
- (1962c): *Min. y Metal. de los Yacimientos Españoles de Uranio: Burguillos del Cerro*. Est. Geol., XVIII, 173.
- (1962d): *Min. y Metal. de los Yacimientos Españoles de Uranio: Cazorla (Jaén)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 60, 237.
- (1962e): *Min. y Metal. de los Yacimientos Españoles de Uranio: Santa Elena (Jaén)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 60, 243.
- (1962f): *Min. y Metal. de los Yacimientos Españoles de Uranio: Epila (Zaragoza)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 60, 229.
- (1963a): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: Valdemascaño (Salamanca)*. Bol. Inst. Geol. y Minero de España, 70, 5.
- (1963b): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: Valderrascón (Badajoz)*. Bol. Inst. Geol. y Minero de España, 70, 24.
- (1963c): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: Monesterio (Badajoz)*. Bol. Inst. Geol. y Minero de España, 70, 47.
- (1963d): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: La Virgen, Andújar (Jaén)*. Est. Geol., XIX, 15.
- (1963e): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: Los indicios con davidita de Villanueva del Fresno (Badajoz)*. Est. Geol., XIX, 33.
- (1963f): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: Porriño (Pontevedra)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 61, 43.
- (1963g): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: Fuenteovejuna (Córdoba)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 61, 55.
- (1963h): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: Paracuellos del Jarama (Madrid)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 61, 59.
- (1964a): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: Cardena (Córdoba)*. Bol. Inst. Geol. y Minero de España, 76, 47.

- (1964b): *Min. y Metal. de los Yac. Españoles de Uranio: Escalona (Toledo)*. Bol. Inst. Geol. y Min. de España, 77, 647.
 - (1964c): *Min. y Metal. de los Yac. de Uranio de España: Villar de Peralonso (Salamanca)*. Est. Geol., XX, 149.
 - (1966a): *Min. Met. Yac. Esp. Uranio: Los indicios cuprouraníferos del Trías de los Pirineos centrales*. Est. Geol., 22, 31.
 - (1966b): *Nuevos datos sobre la coffinita*. Est. Geol., 22, 47.
 - (1967a): *Min. Met. Yac. Esp. Uranio: Sierra Albarrana (Córdoba)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 65, 157.
 - (1967b): *Nuevos minerales españoles de uranio: la Kasolita*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 65, 263.
 - (1970): *Los yacimientos de uranio en las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca*. Stvd. Geol., 4, 69.
 - y SAAVEDRA, J. (1974a): *Características e hipótesis genética de una estructura típica en granitos mineralizados de la provincia de Cáceres (España)*. Stvd. Geol., 8.
- BARBIER, J.; CARRAT, H. G. y RANCHIN, G. (1967): *Présence d'uraninite en tant que minéral accessoire usuel dans les granites uraníferes du Limousin et de la Vendée*. C. R. Ac. Sc. Paris, 264, 2436.
- BURRI, C. y NIGGLI, P. (1945): *Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogen*. Herausgeg. Vulkanist. Imm. Friedl. Zürich.
- COPPENS, R.; KOSZTOLANYI, C. y DOTTIN, H. (1969): *Etude géochronologique de la mine des Brugauds*. CEA, R-3684.
- CORRETGÉ, G. (1971): *Estudio petrológico del batolito de Cabeza de Araya (Cáceres)*. Tesis doctoral. Univ. de Salamanca.
- CHAYES, F. (1955): *Potash feldspars as a by-product of biotite-chlorite transformation*. J. Geol., 63, 1, 75.
- CHERVET, J. y COULOMB, R. (1958): *Comportement géochimique de l'uranium dans le cycle d'altération*. GEM. P/1250.
- DAVIDSON, C. F. (1960): *Regeneration of pitchblende in Hercynian ore deposits*. Econ. Geol., 55, 2.
- DEMAY, A. (1953): *Détermination de l'âge absolu d'une pechblende du gisement filonien de la Crouzille*. C. R. Ac. Sc. Paris, 237, 48.
- FERNÁNDEZ POLO, J. A. (1970): *Génesis de los yacimientos uraníferos en metasedimentos de Salamanca (España)*. Uran. Exp. Geol. IAEA, Viena, 242.
- GANGLOFF, A. (1970): *Notes sommaires sur la géologie des principaux districts uraníferes étudiés par le CEA*. Uran. Expl. Geol. IAEA, Viena, 77.
- GARCÍA DE FIGUEROLA, L. y PARGA, R. (1968): *Sobre los ortoneis de Traguntia-Juzbado (Salamanca) y su significación tectónica*. Acta Geol. Hisp., 3, 69.
- GEFFROY, J. y SARCIA, J. (1955): *Contribution à l'étude des pechblendes françaises*. CEA R-380.
- y — (1957): *La notion de gîte épithermal uranífère*. Coll. Soc. Eur. Ener. Atom., Madrid.
 - y — (1958): *Quelques remarques relatives à la géochimie des filons épithermaux à pechblende*. Bull. Soc. Geol. France, VIII, 6.
 - y — (1960): *Les minerais noirs*, en *Les minerais uraníferes français*. Ed. M. Roubault. Pres. Univ. France., 1, 51.

- (1971): *Les gîtes uranifères dans le Massif Central*, en *Géologie, géomorphologie et structure profonde du Massif Central français*. Symp. J. Jung, Clermont-Ferrand, 541.
- (1973): *Repartition des gîtes métallifères dans le Massif Central français. Les Roches Plutoniques*. Homm. Raguin. Masson, 102.
- HORNE, J. E. (1960): *Age of pitchblende from Lenteiros, Reboleiro-Portugal*. JEN, Lisboa, 27.
- I.G.M.E. (1972): *Programa sectorial de investigación de minerales radiactivos*. P.N.I.M. 12. Min. Industria. Madrid, 28.
- JURAIN, G. y RENARD, J. (1970): *Remarques générales sur les caractères géochimiques des granites encaissant les principaux districts uranifères français*. Sci. de la Terre, XV, 2.
- KIDD, D. F. y HAYCOCK, M. H. (1935): *Minerography of the ores of Great Bear Lake*. Boull. GSA, 46.
- LENOBLE, A. y GEFFROY, J. (1957): *Province uranifère en Europe: place occupée pour la France*. Coll. Soc. Eur. Ener. Atom. Madrid.
- LEUTWEIN, F.; SAUPE, F.; SONET, J. y BOUYX, E. (1970): *Premier mesure géochronologique en Sierra Morena*. Geol. Mijnbow, 49, 4.
- LOTZE, F. (1945): *Stratigraphie und Tektonik des Keltiberischen Grundgebirges (Spanien)*. Abb. Ges. Wiss. Gött., 14, 2.
- LOVERING, T. S. (1963): *Epigenetic, diplogenic, syngenetic and lithogene deposits*. Econ. Geol., 58.
- MAC KELVEY, V. E.; EVERHART, D. L. y GARRELS, R. M. (1955): *Origin of uranium deposits*. Econ. Geol., 50th Ann. Vol., 1.
- MARTÍN, M. (1973): *Sobre la petrogenesis de algunas litofacies españolas con fases urano-orgánicas*. Tesis doctoral. Univ. de Madrid.
- MATOS DIAS, J. M. y SOARES DE ANDRADE, A. A. (1970): *Uranium deposits in Portugal*. Uran. Exp. Geol. Viena, 129.
- MAUCHER, A. (1962): *Die lagerstätten des Urans*. Frie. Vieweg, Braunschweig.
- MENDES, F. (1968): *Contribution à l'étude géochronologique pour la méthode au strontium des formations cristallines du Portugal*. Bol. Mus. Lab. Min. Fac. Cien. Lisboa, II, 3.
- MOREAU, M.; POUGHON, A.; PUIBAREAUD, Y. y SANSELME, H. (1966): *L'uranium et les granites*. Chr. Min. Rech. Min., 350.
- MURAKOSHI, T. y KOSEKI, K. (1958): *Summary of geology and mineralogy of the uranium and thorium deposits in Japan*. GEN. P/1360.
- NICOLLI, H. (1966): *Estudio de la geoquímica del uranio en rocas graníticas españolas*. Tesis doctoral. Univ. Salamanca.
- NININGER, R. D. (1970): *Uranium reserves, future demand and the extent of the exploration problem*. Uran. Expl. Geol. IAEA, Viena, 3.
- (1974): *The world uranium supply challenge - an overview*. Symp. Form. Uran. Ore Dep. IAEA, Atenas, 1.
- PENHA, H. M. (1973): *Caracteres metalogénicos de los yacimientos intragraníticos españoles de uranio*. Tesis doctoral. Univ. de Salamanca.
- y ARRIBAS, A. (1974): *Datación geocronológica de algunos granitos uraníferos españoles*. Bol. IGME, 85, 3.

- PILAR, L. (1969): *Contribuição para o conhecimento dos minerais de uranio de Portugal metropolitano*. JEN. Lisboa.
- PLUSKALL, O. (1970): *Uranium mineralization in the Bohemian Massif*. Uran. Exp. Geol., Viena, 107.
- POLIKARPOVA, V. A. y AMBARTSUMIAN, Z. L. (1958): *New data on uranium minerals in the USSR*. GEN. P/2050.
- RAFALSKY, R. P. (1958): *The experimental investigation of the conditions of uranium transport and deposition by hydrothermal solutions*. GEN. P/2067.
- RAMDOHR, P. (1961): *Das Vorkommen von Coffinit in hydrothermalen Uranerzgängen besonders von Co-Ni-Bi typ*. N. Jahr. f. Min. Abb., 95, 313.
- RANCHIN, G. (1968): *Contribution à l'étude de la répartition de l'uranium à l'état de traces dans les roches granitiques saines*. Sci. de la Terre, XIII, 2.
- RENARD, J. (1970): *Géochimie de l'uranium de surface dans les massifs granitiques vendéens*. Sci. de la Terre, XV, 2.
- ROUBAULT, M. (1955): *Essai de classification des gisements d'uranium et de thorium*. C. R. Ac. Sc. Paris, 240, 214.
- y COPPENS, R. (1955): *Sur les relations entre certains gîtes filoniens d'uranium et la présence d'inclusions radio-actives dans les roches encaissantes*. C. R. Ac. Sc. Paris, 240, 1248.
- ROUTHIER, P. y GAUTSCH, J. P. (1958): *Proposition d'une règle de répartition zonale des concentrations d'uranium par rapport aux plutons*. C. R. Ac. Sc. Paris, 246.
- SAAVEDRA, J. y GARCÍA SÁNCHEZ, A. (1974): *Estudio geoquímico de algunos granitos de la provincia de Salamanca*. Bol. IGME, 85, 182.
- ; ARRIBAS, A.; GARCÍA SÁNCHEZ, A.; MORO, C.; PELLITERO, P. y RODRÍGUEZ, S. (1974): *Relación entre las propiedades físicas y químicas de algunos granitoides del Centro-Oeste de España y las mineralizaciones estanno-wolframíferas con ellos asociadas*. Tecniterrae, 2.
- ; GARCÍA SÁNCHEZ, A.; BERZAS, J.; HERRERO, J. y RODRÍGUEZ, S. (1974): *Caracterización geoquímica de los granitos de Montánchez (Cáceres) y del extremo oriental del batolito de los Pedroches (Córdoba)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (en prensa).
- VINOGRADOV (1959). Citado por GEOFFROY (1971) en *Géologie, géomorphologie et structure profonde du Massif Central français*. Symp. J. Jung. Clermont-Ferrand, 569.
- WRIGHT, R. J. y SOULHOF, W. P. (1957): *Mineralogy of the Eagle uranium bearing mine in the Boulder batholit (Montana)*. Econ. Geol., 52, 2.
- ZUCKERT, F. (1925): *Die paragenesen von gediegen Silber und Wismuth mit Kobalt-Nickel Kiesen und der Uranpechblende von Joachimstahl*. Mitt. Abt. Gest. Preuz. Geol., 1.

(Recibido el 3 - X - 74. Discurso inaugural del Curso Académico 1974-75, en la Universidad de Salamanca).