

# Notas sobre minerales radioactivos

(Continuación) (1)

Por ANTONIO VEGA DE SEOANE

## CRIADEROS DE MINERALES RADIOACTIVOS

Deben distinguirse, los llamados *yacimientos Secundarios*, los *filones polimetálicos*, *yacimientos en las pegmatitas*, *criaderos de carnotita*, *placeres*, *criaderos diversos distintos de éstos y finalmente subproductos de las mismas existentes de otros metales.*

### *Yacimientos secundarios de uranio*

Salvo los de tipo insoluble es muy poco probable el hallazgo de minerales primarios de uranio en afloramientos ni dentro de la zona llamada de aguas circulantes, puesto que tanto la *pechblenda* como la *uraninita*, hemos visto que son muy solubles en las aguas ácidas. Por tanto, los minerales de uranio de probable aparición en un depósito virgen, son los de tipo secundario precipitados de soluciones producidas próximas a la superficie, es decir: la *torbenita*, *autunita* y los *ocres uraníferos*.

Si se tiene presente, que estos minerales secundarios no son en modo alguno comunes, se comprende, que en cada nuevo descubrimiento, merece la pena de efectuar un *calicateo* y un *desmuestre*, ahora bien algunas formas de presentarse permiten abrigar mayor esperanza de continuidad en profundidad que otras. El valor de un afloramiento uranífero, no yace en el tonelaje relativamente pequeño que puede obtenerse del mineral superficial, sino en sus posibilidades de contener mineral primario *hipogénico* en profundidad.

Los *ocres uraníferos* de color amarillo brillante o amarillo anaranjado, se encuentran raramente alejados del mineral primario; lo que sucede es que estos minerales se encuentran con mucha menos frecuencia que las llamadas "*micas uraníferas*" como la *torbernitita* y la *autunita*. En donde haya *pechblenda* acompañada por *pirita* u otros sulfuros —como sucede casi invariablemente— las aguas sulfúricas reaccionan sobre ella, formando a menudo el sulfato de uranio llamado *zippeita*, que luego es arrastrado por las aguas subterráneas, si éstas son abundantes, en forma de solución. Esta solución uranífera puede ser transportada a distancia varia-

(1) Véase MUNIBE, 1955, págs. 208-215.

ble hasta que se deposita como fosfato por la acción del ácido fosfórico derivado de la disolución del apatito.

El control de deposición de estos fosfatos, es muy delicado y puede depender, bien de una disminución de la acidez de las aguas de arrastre, al entrar en rocas básicas o en calizas, bien de la saturación de la disolución como consecuencia de la evaporación. En circunstancias favorables, las aguas uraníferas pueden recorrer kilómetros antes de formar una mineralización de torbernita o autunita. Además como a veces su contenido de uranio no proviene de un filón de pechblenda, sino de la disolución de granitos de uraninita u otro mineral radioactivo, distribuido en una masa granítica, esto quiere decir que la aparición de fosfato de uranio no indica necesariamente la presencia próxima de un yacimiento primario beneficiable.

Cuantas veces un buen afloramiento de minerales secundarios de uranio está asociado a una estructura filoniana bien definida, procede una exploración a fondo, porque cabe esperar una continuación de riqueza en profundidad. Son indicaciones favorables, la presencia de vetas de cuarzo ahumado, jaspe y calcedonia en colores rojo y negro y también carbonato manchado de hematites. Un afloramiento ampliamente hematitizado, con radioactividad elevada y manchas visibles de torbernita, sugiere la presencia de una vena de sulfuros uraníferos polimetálicos en profundidad. Sirve de confirmación la presencia de manchas azules y verdes de cobre, pintas color lila de cobalto, verde de níquel, negro de manganeso y otras indicaciones similares de metales no férricos.

Hay otras localizaciones de minerales secundarios de uranio, con menos probabilidades de corresponder a yacimientos de mayor importancia en profundidad como son por ejemplo: las muestras en zonas fracturadas donde no haya sin embargo una clara estructura filoniana; las pintas de uranio a lo largo de planos de separación en el granito o en vetas de cuarzo blanco; las bolsadas de autunita o de torbernita en el afloramiento de canales de filtración en la parte baja de las laderas de un valle profundo donde la evaporación de soluciones uraníferas ha podido producir la aparición de indicaciones de minerales secundarios; finalmente las señales observadas en los diques de rocas básicas (doleritas o basaltos). No quiero dejar de señalar aquí que la diferencia entre dique y filón estriba en que el filón procede de la solidificación de una disolución mientras que el dique procede de la consolidación—frecuentemente cristalina— de un magma más o menos cargado

de vapores y gases. Esta proporción de gases y vapores produce una variable movilidad del magma y es causa de que a veces el dique subsiguiente se parezca muchísimo a un filón procedente de una solución muy caliente siendo difícil la distinción de ambos en el campo.

Se observa con frecuencia en terrenos uraníferos la presencia de diques meteorizados de tipo básico que contienen autunita y torbernita pero en todos los casos observados se trataba de mineralizaciones secundarias debidas a infiltraciones y nunca derivadas del magma básico. Toda mineralización primaria de uranio esta geoquímicamente ligada con rocas ácidas —granitos o sienitas— y no se conoce ningún caso de derivación de minerales radioactivos de un magma básico. La importancia de este dato en nuestras provincias vascas es evidente, puesto que situaría las zonas de máximo interés en el asomo granítico de Peñas de Aya y en su aureola.

Al contrario que las mineralizaciones de cobre, las de uranio de la zona superficial de meteorización, tienen generalmente el mismo valor a igualdad de calidad, que las de tipo primario, siempre que se presenten en zonas próximas a una instalación industrial de disolución por los ácidos, para poder convertir el mineral en un producto de alta ley. En los lugares alejados de tales instalaciones, los minerales secundarios tienen menos interés, porque no se prestan tan fácilmente como los de tipo primario a los métodos físicos de beneficio y porque raramente se presentan en cubriciones de verdadera importancia. Para ser beneficiable un criadero bien situado de mineral secundario de uranio, debe poder suministrar unas decenas de toneladas de mineral que contenga un mínimo de 0,40 por 100 de  $U_3 O_8$  sobre una potencia arrancada de algo menos de un metro. En el caso de yacimientos situados en lugares menos accesibles se necesitan reservas considerablemente mayores para poder pensar en explotarlas puesto que el yacimiento tiene que soportar la instalación de una costosa planta de disolución por los ácidos.

Los minerales secundarios de torio no existen virtualmente y no es verosímil el encuentro de un afloramiento explotable de torio en la naturaleza. La concentración de los minerales de torio se realiza mecánicamente por selección de los pesados minerales primarios mediante la acción del agua corriente. Al contrario que ocurre con el uranio los compuestos o sales de torio no se depositan a partir de las soluciones secundarias a baja temperatura.

*Yacimientos filonianos polimetálicos  
de uranio*

Las manifestaciones uraníferas mejor estudiadas son los filones de pechblenda asociada con minerales de cobalto, níquel, bismuto y plata, siendo en muchos casos estos minerales el producto básico y el uranio sólo un sub-producto. La mina de uranio más antigua del mundo sita en San Joachimstal en Jachymov (Checoslovaquia) es de este tipo. Existen muchas minas similares en Alemania, particularmente en Johangeorgenstadt, Schneeberg, Annaberg y otros lugares de Sajonia y en Krzyzatka (Schmiedeberg) en Silesia. En Rusia existen ejemplos en las montañas de Kara Mazar en la frontera entre Uzbekistan y Tadzhhikistan mientras en Inglaterra se presentan en South Terras y Wheal Trenwith en la región de Cornwall y en Norteamérica en Gilpin y Boulder Counties, en Colorado. En Portugal existen muchos pequeños yacimientos afines de estos filones polimetálicos asociados a la galena, piritita, calcopiritita, níquel, bismuto y plata con poco o ningún cobalto. La mina de uranio de tipo filoniano polimetálico más importante es la de Eldorado, en las costas del Great Bear Lake en el Canadá Artico.

La formación y mineralización de tales filones está genéticamente relacionada con las intrusiones graníticas y es poco probable encontrar yacimientos de este tipo en zonas alejadas de las masas de granito. Habitualmente los filones uraníferos se presentan en la aureola metamórfica de la intrusión. Así tenemos que en Checoslovaquia, Alemania y Cornwall, de un filón rico en estaño cuando arma en el granito que contiene bornita (cobre abigarrado) y pechblenda tan pronto penetra en la zona de sedimentos afectados por la aureola.

En Portugal y en el Tadzhhikistan los filones uraníferos arman en el mismo granito y no han sido nunca reconocidos en los esquitos que lo rodean. Ciertas rocas de caja son más favorables que otras a la mineralización. Por ejemplo los esquistos de Jachymov con favorables —especialmente los muy micáceos— mientras la caliza es desfavorable; en Great Bear Lake (Canadá) la mayoría de las mineralizaciones se presenta en cuarcitas sedimentarias desapareciendo la mineralización tan pronto la roca de caja es un porfido; los esquistos duros y la roca verde de Cornwall son más favorables que las rocas pizarrosas blandas. Tanto en Canadá, como en Portugal, se han hallado zonas ricas en los contactos de un filón mineralizado con un dique básico pre-existente.

Como antes hemos indicado, salvo en países recientemente afectados por el glaciario, el afloramiento de un filón polimetálico, rara vez presenta señales de minerales primarios de uranio, cobalto, níquel u otros minerales y por tanto el prospector debe ser capaz de reconocer las diferentes "manchas" secundarias, características de estos metales. Los verdes y azules del cobre sobradamente conocidos, así como el color rojo melocotón a lila de la eritrina también llamada "flores de cobalto". Los minerales secundarios de níquel, dan principalmente manchas verde manzana y al amarillo claro o anaranjado de los ocres uraníferos se caracteriza por una intensa fluorescencia bajo la lámpara ultra-violeta. Además de los verdes y amarillos de las micas uraníferas, el afloramiento pudiera presentar productos amarillentos de alteración del bismuto, algo de plata nativa, anglesita y cerusita y casi invariablemente, elevadas proporciones de hematites o limonita.

Cualquier afloramiento donde se aprecien algunos de estos minerales, merece la pena ser sometido a un ensayo de radioactividad con el contador Geiger.

No todos los filones de plata-cobalto-bismuto contienen pechblenda y tenemos, por ejemplo, que los famosos filones de plata de Kongsberg en Noruega y otros similares en Suecia, presentan radioactividad despreciable. Sin embargo, aun en los filones más radioactivos, el uranio se presenta siempre en forma discontinua, formando las concentraciones de pechblenda lentejones dentro de una veta de cuarzo, jaspe o carbonato que presente una mineralización mucho más extensa de sulfuros y arseniuros de cobre, cobalto y níquel. Pudiera presentarse un enriquecimiento secundario de plata nativa, próximo a la superficie, viniendo en tal caso a constituir, como es el caso en Jachymov y Great Bear Lake, la mena principal. Ocasionalmente se tropieza con estaño y wolfram en el filón uranífero, pero en tal caso la pechblenda suele ser una mineralización posterior a lo largo de una fisura preexistente. Suelen presentarse ricas concentraciones de pechblenda en la intersección de dos filones; así ocurre en Jachymov donde hay una serie de filones este-oeste casi estériles, mientras otra serie norte-sur, aparece bien mineralizada, presentándose las concentraciones más elevadas de cobalto y pechblenda en sus intersecciones. En circunstancias favorables, la roca de caja pudiera estar débilmente mineralizada, presentando pechblenda diseminada hasta un metro a dos a ambos lados del filón. Tanto en Portugal como en Great Bear Lake, la formación filoniana principal, presenta localmente dispersiones que llegan a convertirse in-

cluso en "stocworks", es decir, masas penetradas intensamente por pequeños filoncillos, lo que obliga a explotarlas enteras, porque se da el caso de que son especialmente favorables al enriquecimiento en pechblenda. En una zona minera donde también aparezcan estaño y tungsteno, los filones de alta temperatura suelen ser los más antiguos, mientras que el uranio y cobalto aparecerán en vetas transgresivas posteriores.

La ganga de un filón de uranio puede ser cuarzo, calcedonia, jaspe, carbonatos, barita o espato de fluor. En las proximidades de las concentraciones de pechblenda el cuarzo se ahuma y los carbonatos (calita, dolomia o rodocrosita) y baritas, toman una coloración roja muy intensa. La calcedonia y el jaspe de las zonas próximas a las concentraciones son de color rojo o negro muy intenso y el espato de fluor, toma siempre tonalidad purpúrea. En algunos filones, aparecen grandes cantidades de hematites. La potencia del filón, puede variar desde unos centímetros hasta varios metros, si bien suele ser excepcional, que la zona ocupada por la concentración de pechblenda tenga más de 4 a 5 centímetros de espesor. Afortunadamente, el elevado peso específico de la pechblenda, facilita el simple beneficio por gravedad, hasta obtener un concentrado rico. Esto hace que sea comercial la explotación de un filón cuya ley media, para una potencia arrancada de algo menos de un metro, sea de 0,40 por 100 de  $U_3 O_8$  siempre que la cubicación sea suficiente para producir unas decenas de toneladas de óxido de uranio.

Los yacimientos uraníferos del Congo Belga, que son los mayores descubiertos hasta el momento, difieren del tipo filoniano normal y constituyen una clase aparte. A lo largo del cinturón cuprífero del Congo y Rodesia, pero especialmente en el Congo, muchos yacimientos contienen pequeñas vetas de pechblenda y uraninita que corresponden claramente a la misma metalogénesis que los sulfuros de cobre y cobalto. Aún se discute, si estos minerales son de origen magmático o se trata de una serie sedimentaria de pizarras y areniscas urano-cupríferas, altamente metamorfizadas o una derivación de ellas. La concentración uranífera más importante, se encuentra en Shinkolobwe donde vetas y "stockworks" de pechblenda maciza y uraninita cristalizada (cúbica), prácticamente exentas de ganga, impregnan estratos de dolomia siliciosa. A veces, rodeando los conjuntos de vetas y no visiblemente asociada, con el mineral rico, se encuentran diseminaciones de uraninita pobre, dispersa a través de la roca de caja. Acompañando a la uraninita, aparecen intensas mineralizaciones

de sulfuros de cobre, cobalto, níquel y molibdeno. El afloramiento de este yacimiento, ha producido mayor cantidad de minerales secundarios de uranio, que ningún otro conocido, encontrándose los compuestos amarillos y anaranjados del uranio, acompañados por la wulfenita o molibdato de plomo. El descubrimiento del yacimiento de Shinkolobwe en 1915, tuvo lugar, mucho antes de que se utilizaran los contadores Geiger, como ayuda en las prospecciones, lo que pone de relieve la enorme importancia que tiene el conocimiento de los minerales secundarios de uranio.

#### *Yacimientos en las pegmatitas*

Esta roca es simplemente una variedad de textura de las rocas plutónicas ácidas que suele presentarse en diques a través de ellas o bien rodeándolas. Se caracteriza por el gran tamaño de su grano hasta el punto que se han llegado a reconocer cristales mayores de un metro en algunas pegmatitas. También es típica la interpenetración de los granos de feldespato, por los de cuarzo. Las pegmatitas están claramente asociadas en su origen con las rocas plutónicas que las rodean si bien suelen ser más ácidas por lo que se les suele llamar también secreciones ácidas del magma en vías de cristalización.

La textura pegmatítica se cree debida a un exceso de agentes mineralizadores especialmente vapor de agua y suele corresponder a la última zona cristalizada del magma debido al hecho de que las sustancias volátiles por el hecho de quedar excluidas de los compuestos minerales a los que ayudan a cristalizar van quedando en proporciones crecientes en el líquido residual.

La mayor parte de los muchos ejemplares de minerales de uranio que se exhiben en los museos, provienen de diques o mantos de pegmatita. Se conocen más de un millar de lugares donde existen pegmatitas impregnadas de uranio y un noventa por ciento de los descubrimientos que se realizan por los prospectores son de este tipo. Desgraciadamente, aún no se ha encontrado ninguna pegmatita corriente, capaz de ser explotada comercialmente, aunque se han realizado intentos con yacimientos de ese tipo en Tanga-nyka Madagascar, Noruega, U. S. A., Manchuria y otros lugares. Sólo puede llevarse a la práctica una explotación de este tipo, donde el costo no interese, o donde pueda obtenerse el mineral de uranio como un subproducto.

Los minerales de uranio más frecuentes en las pegmatitas son los llamados refractarios, es decir euxenita, samarskita, ferguson-

nita y sus parientes los titanatos, niobatos y tantalatos de las tierras raras. La uraninita, es menos frecuente, pero la monazita no es raro encontrarla. La roca de caja más favorable, es la pegmatita potásica del tipo cuarzo-microclino mientras que las impregnaciones radioactivas son mucho más raras, donde el feldespatito dominante es el plagioclasa. La característica de los yacimientos uraníferos, suele ser una pegmatita con estructura en bandas, donde la intrusión consiste en el borde en una aplita de grano muy fino, que va pasando a microclino de grano más grueso con un núcleo central rico en cuarzo. Los minerales radioactivos suelen hallarse cerca del núcleo del cuarzo.

Existen minerales mucho más corrientes cuya presencia sirve de guía para hallar las especies más raras. Donde se registra la presencia de estos minerales es frecuente pero no segura la presencia de los de uranio. Así pues la presencia en las pegmatitas de ilmenita, magnetita, ortita, monacita, abundante apatito u otros fosfatos, estaño y columbita permite sospechar la presencia de minerales uraníferos. Aquí vale, como siempre, también, la indicación del cuarzo ahumado o de la fluorina purpúrea. También son indicios de interés, las hojas de biotita o vermiculita y las concentraciones de ilmenita. Los cristales de uraninita o euxenita, pueden estar irregularmente dispersos en forma de lentejón dentro de la intrusión o pueden hallarse todos reunidos en una especie de rica bolsada. Probablemente rodeados por el halo rojo ladrillo del feldespatito alterado y roto en fisuras radiales. Los productos color amarillo vivo de descomposición de la uraninita, son fácilmente reconocibles, pero los minerales refractarios rara vez presentan más que una capa superficial de color amarillo oxidado.

Considerada en conjunto, probablemente la pegmatita, no contiene una ley de uranio superior a la de las rocas graníticas o sieníticas, es decir alrededor del 0.0009 por 100. Su diferencia con los granitos, radica en que los minerales radioactivos se presentan distribuidos en concentraciones locales. Tales "lentejones" ricos contienen habitualmente hacia el 0.1 por 100 de minerales de uranio es decir una ley de uranio del orden de 0.01 por 100. Una ley tal, no permite la explotación de una roca tan dura, puesto que habrían de arrancarse cien mil toneladas de pegmatita, para obtener diez toneladas de uranio, pero pueden lograrse pequeñas partidas de minerales radioactivos como subproductos de la explotación del feldespatito, mica, berilo, tantalita o columbita. Donde aparezca una pegmatita debidamente mineralizada y muy meteorizada o kaolinizada, como es el caso p.e. en el importante yacimiento de

estaño-tungsteno de Manono-Kitololo en el Congo Belga, puede ser comercial el estudio de una recuperación de minerales radioactivos mediante un simple lavado en canales.

Existe una forma de presentarse el torio excepcional y poco conocida asociado a las pegmatitas en la India Meridional. Se trata de un esquisto de grano medio, rico en biotita y monazita, que bordea una zona de inyección pegmatítica y que es lo bastante rico en monazita, para ser comercialmente explotable. Este yacimiento indica, que debe prestarse atención a posibles manifestaciones radioactivas, dondequiera que aparezcan esquistos biotíticos, íntimamente relacionados con intrusiones de pegmatita.

Hay que señalar finalmente la conveniencia de investigar cuidadosamente las vetas o zonas alargadas de color más claro que puedan presentarse dentro del conjunto de una masa granítica pues frecuentemente corresponden a estructuras de tipo pegmatítico.

*(Continuará)*

