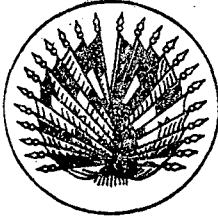


C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO

05.78.07



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION
PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION
DE YACIMIENTOS URANIFEROS**

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
2	1978

CNEA-AC-9/78

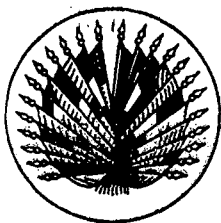
II. YACIMIENTOS URANIFEROS

2. LOS MINERALES DE URANIO

ROBERTO O. TOUBES

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES
OCTUBRE 1978



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION DE YACIMIENTOS URANIFEROS

CONFERENCIA II-2.

- 1 -

LOS MINERALES DE URANIO

por Roberto O. Toubes

Comisión Nacional de Energía Atómica

INTRODUCCION

La energía nuclear es aprovechada por la humanidad desde hace solamente 34 años (La primera reacción atómica controlada se logró en Chicago en diciembre de 1942). Pero esta energía está llamada a ocupar un lugar muy importante en la resolución de problemas de todo orden con aplicaciones crecientes en medicina, agricultura, diversas industrias especialmente en la producción de alimentos y fundamentalmente, en la generación de energía eléctrica cuyo consumo aumenta en forma vertiginosa. Y surge la pregunta: cuál es la proporción de esta necesidad que será cubierta por energía nucleoelectrónica?

Su desarrollo dio comienzo con un primer reactor pequeño en 1955 y se calcula que para 1980 la capacidad nucleoelectrónica instalada será de 300.000 MW eléctricos equivalentes a un 15% de la capacidad total de generación de electricidad. Este aumento reconoce una razón fundamentalmente económica puesto que en centrales nucleares de tamaño adecuado, la electricidad generada es más barata que la de cualquier otro origen. Además, las reservas de combustibles fósiles tienen un límite, son necesarias como materia prima en numerosas industrias y provocan contaminación ambiental. En cambio, la energía nucleoelectrónica es limpia y las reservas de combustibles en forma de minerales radiactivos representan un potencial energético mucho mayor que todas las reservas conocidas de combustibles fósiles en conjunto. Si a esto se suma la posibilidad de utilizar plutonio en reactores rápidos o bien la fusión nuclear del deuterio (hidrógeno pesado) extraído de los océanos, la humanidad tendrá asegurada la provisión de

energía por muchas generaciones. Toda esta proyección se basa en la existencia de minerales radiactivos proveedores del combustible nuclear.

Uranio y Thorio

Después de esta corta introducción nos ocuparemos, entonces, brevemente, de los elementos radiactivos de mayor interés.

Minerales radiactivos son aquellos que contienen, en forma esencial, uranio y/o thorio. Existen otros minerales que pueden tener alguno de estos elementos accidentalmente por lo cual, raramente, constituyen mena radiactiva.

El elemento uranio fue descubierto en 1789 por Klaproth y aislado por Péligot en 1841 dándole el nombre derivado del planeta Urano. Es el elemento químico natural de mayor peso atómico (238,07) y se lo encuentra en minerales bajo dos estados de oxidación posibles: tetra y hexavalente. En el primer caso forma compuestos uranosos y en el segundo constituye, generalmente, el ión uranilo (UO_2^{+2}). Es común que los primeros se oxiden originando sales de uranilo. Además, existe el óxido uranoso-uránico U_3O_8 mediante el cual se representa, normalmente, el contenido de uranio de rocas, minerales y otros compuestos. Geoquímicamente, el uranio es un elemento francamente litófilo y se encuentra bastante difundido en la corteza terrestre. En el ciclo magmático alcanza su mayor concentración en la faz hidrotermal, aunque se halla también presente, en proporción menor, en la cristalización inicial y en la fase pegmatítica. En las rocas ígneas ácidas, en especial granitos calcoalcalinos y pegmatitas sieníticas, su abundancia media ha sido estimada en 4 ppm. (4 g/ton.), mientras que en las rocas básicas disminuye a 1 ppm. promedio. Tomando la corteza terrestre en general la abundancia es de 2-3 ppm.. El uranio tetravalente tiene algunas similitudes físicas con las Tierras Raras, por lo cual es común que aparezca asociado a dichos elementos o reemplazándolos en algunas especies.

El elemento thorio fue descubierto por Berzelius en 1828. En sus compuestos actúa siempre como tetravalente y geoquímicamente tiene semejanzas con el titanio, zirconio, hafnio, T.R. y uranio. En las rocas ígneas es más abundante que el uranio estimándose en 11 a 12 ppm.. Su promedio en la corteza terrestre se toma en aproximadamente 8-10 ppm., mayor que el contenido de Sn, As, Sb y metales preciosos. Se concentra, por diferenciación magmática, en las rocas ácidas de la parte superior de la corteza terrestre. Sus minerales son pocos, pero el Th aparece reemplazando a otros elementos en un gran número de especies de composición química compleja tales como titanatos, niobatos, tantalatos, silicatos, etc.. Por lo general, sus minerales son refractarios pero, la parte que se disuelve durante la meteorización se acumula en óxidos e hidróxidos de los sedimentos hidrolizados en

los cuales la relación Th/U es mayor que en las rocas ígneas.

Radiactividad del uranio y el thorio

Entre los elementos químicos naturales existen los totalmente estables que no sufren modificaciones en su estructura y los inestables que sufren variaciones en la constitución de su núcleo atómico en uno o varios de sus isótopos hasta alcanzar la estabilidad. Esto último ocurre en la desintegración radiactiva y los elementos que tienen tales isótopos se denominan radiactivos. El pasaje de la forma inestable a la estable puede suceder en una sola etapa (caso del Rb^{87} a Sr^{87}) o mediante el tránsito de una serie de transformaciones que se llama serie radiactiva (caso del U y del Th). La radiactividad constituye una emisión de energía en forma de radiaciones corpusculares: partículas α y β y radiaciones electromagnéticas: rayos γ .

La radiactividad del uranio fue descubierta por Becquerel en 1896 al observar que minerales y sales de ese elemento velaban placas fotográficas con propiedades similares a las radiaciones descubiertas poco tiempo antes por Roentgen el cual, desconociendo su origen, denominó rayos X. La radiactividad del Th fue descubierta dos años después en forma independiente por M. Curie y C.G. Schmidt.

El uranio está constituido por 3 isótopos: U^{238} ; U^{235} y U^{234} en la proporción siguiente:

U^{238}	99,274%
U^{235}	0,720%
U^{234}	0,006%

En el uranio enriquecido se aumenta la proporción de U^{235} hasta un 5%[±].

De ellos los dos primeros son cabeza de series radiactivas la del uranio natural (U^{238}) y la del actino-uranio (U^{235}) mientras que el U^{234} es parte de la serie del U^{238} .

El Th tiene un solo isótopo (Th^{232}) que también es origen de una serie radiactiva.

Los tres isótopos: U^{238} , U^{235} y Th^{232} , al desintegrarse producen una serie de elementos radiactivos intermedios que, a su vez, se desintegran hasta llegar a dar un producto final estable que es el plomo. Así, el U^{238} en su transformación total libera energía equivalente a 8 átomos de helio y finaliza en Pb^{206} ; el U^{235} origina 7 átomos de helio y llega a Pb^{207} ; el Th^{232} da 6

átomos de helio para formar Pb^{208} .

Dado que el tiempo necesario para que un átomo de uranio se desintegre en uno de plomo, es conocido por ser una propiedad física del elemento uranio (vida media), si se determinan las cantidades de elementos padre (uranio) e hijo (plomo) presentes en un mineral, se puede calcular el tiempo transcurrido desde la cristalización del mismo. Esta propiedad es la que se aplica en los diversos métodos de cálculo de la edad geológica.

MINERALES DE URANIO Y TORIO

Generalidades

Actualmente se conocen en el mundo unas 120 especies minerales que contienen uranio y/o thorio como constituyente principal; además hay un cierto número de minerales que contiene estos elementos en pequeñas proporciones.

El conocimiento de la mineralogía del uranio y del thorio es relativamente reciente y ello es consecuencia del interés que presentan estos minerales como fuente de materia prima, en la categoría nuclear.

Antes de 1800 solamente se conocían dos especies de minerales de uranio: uraninita y torbernita y en 1850 ese número se había incrementado en 5 especies más. Hasta 1910, solamente un tercio del número total de las especies conocidas actualmente había sido identificado. A partir del descubrimiento de los grandes yacimientos del ex Congo Belga en Africa (1915) y posteriormente, a partir de la década del 40, con la aplicación de la energía atómica, el número de especies aumenta notablemente y comienzan entonces a conocerse mejor sus características y propiedades.

La identificación de los minerales de uranio y thorio presenta dificultades especialmente por la forma de presentarse de los mismos y por ciertas propiedades debidas a la desintegración radiactiva, como son la metamictización, el cambio de estado de hidratación, etc..

Pero, con respecto a otros minerales, su radiactividad facilita enormemente su primera ubicación en el campo y su posterior aislamiento para determinar la especie. Esta radiactividad puede ser evidenciada mediante un detector de diversos tipos o bien por la aplicación de una película con emulsión sensible a la radiactividad general o selectiva para α o γ (autoradiografía). Asimismo, varias de las especies de uranio, entre los llamados "minerales amarillos", presentan el fenómeno físico de emitir luz cuando son irradiados con luz ultravioleta, es decir que acusan fluorescencia. En algunos casos, esta fluorescencia es característica y un auxiliar valioso en la identificación.

Con respecto al estado metamórfico, se origina por un desorden del edificio cristalino producido por la radiactividad. Es decir que constituye una transformación de la sustancia cristalina en amorfa acompañada, generalmente, con un oscurecimiento del color y adopción de aspecto vítreo. Para identificar la especie es necesario calentar el mineral molido a temperaturas de unos 1000°C o más durante períodos que pueden alcanzar hasta varios días. En esta forma se reconstituye la estructura regular cristalina la cual puede estudiarse, entonces, mediante rayos X. También es necesario un análisis químico.

En general, los "minerales negros" son opacos y además de su estructura mediante rayos X, se pueden estudiar sus propiedades ópticas para una identificación de la especie. En cambio, los "minerales amarillos" de uranio presentan, en su gran mayoría, un hábito pulverulento o fibroso muy fino o masivo y sus propiedades ópticas son anómalas, por lo cual su identificación debe hacerse, indefectiblemente, mediante un estudio con rayos X. Cuando existe algún problema de interpretación, debe recurrirse a otras técnicas especiales y/o análisis químico.

SISTEMATICA DE LOS MINERALES DE URANIO Y TORIO

Dado que intentar ver todos los minerales de uranio y torio llevaría un tiempo muy grande y por otra parte haría algo tediosa esta exposición, se ha confeccionado una tabla en la cual se agrupan de acuerdo a su composición química los minerales de estos elementos, conocidos hasta fines del año 1968. La misma quizás no es completa, pero se ha tratado en todos los casos de que los minerales estén agrupados en una forma considerada lógica. Por lo expuesto anteriormente, se hará una breve reseña de los principales grupos y solamente se dirán breves palabras sobre las especies más comunes. Una mayor información sobre los minerales radiactivos podrá hallarse en la bibliografía que se adjunta al final.

Se puede dividir a estos minerales en dos grandes grupos: I- Minerales con U^{4+} y/o Th, II- Minerales con U^{6+} .

I- Minerales con U^{IV} y/o Th

Entran en el término general de "minerales negros", dado que la mayoría de ellos poseen color dentro de la gama del negro aún cuando, generalmente, esta denominación se refiere en el uso diario a los de uranio: uraninita y coffinita. Si bien estos últimos pueden originarse como consecuencia de los procesos primarios de formación de un yacimiento, el hecho de que alguna vez también son consecuencia de procesos secundarios, hace que no se los denomine "minerales primarios", como ocurrió al comienzo de su estudio.

Dentro de este primer grupo se consideran cuatro sub-grupos principales: a- óxidos simples; b- óxidos múltiples; c- silicatos; y d- fosfatos.

a) Oxidos simples: constituyen la combinación de uranio y thorio con oxígeno. Forman una serie isomorfa cuyos extremos son, uraninita (cuando prevalece el U) y thorianita (cuando es mayor el contenido de Th). Estos minerales son frecuentes en los respectivos yacimientos de ambos elementos, tales como depósitos pegmatíticos y vetas hidrotermales.

Existe una variedad de la uraninita, la pechblenda, la cual corresponde al mineral cuyos cristales tienen un tamaño menor de 5 micrones, vale decir que es una uraninita microcristalina. Esta es muy común en yacimientos hidrotermales de baja temperatura y constituye el mineral de mayor interés económico en la mayoría de los yacimientos con control sedimentario. Por lo general, la pechblenda aparece formando masas reniformes o pequeños gránulos o como cemento de sedimentos, generalmente areniscas.

La thorianita no ha sido aún identificada en nuestro país.

La uraninita se presenta, normalmente, algo oxidada constituyendo entonces, una mezcla de UO_2 y UO_3 , tiene color negro con brillo píceo a pardo oscuro y pardo grisáceo con brillo mate, consistencia masiva a terrosa (variedad "sooty"). La uraninita en sentido estricto, es típica de ambiente pegmatítico y ha sido identificada en numerosas localidades de nuestro país, asociada a niobio-tantalatos, berilo, triplita, micas, granates, pirita, allanita, zircón y otros. Las principales pegmatitas corresponden a "Cerro Blanco" (Los Guardias), "C^o Blanco" (Qda. del Tigre), "Angel" y otras, en la sierra de Comechingones, Córdoba; "El Criollo", "C^o Blanco" y "El Gancho", en la zona de Tanti y "Las Tapias", cerca de Villa Dolores, Córdoba. "El Zapallar", "Santa Ana" y otras en la prov. de San Luis. "Cora Viví" y "Buena" en la sierra de Velazco, La Rioja. "San Miguel Abad", "El Quemado" y otras en Salta.

La pechblenda ha sido identificada en vetas con variado tipo de asociaciones: "La Esperanza" y "La Niquelina", Salta. "San Santiago", "San Sebastián", "Santa Brígida", "San Roque" y otros en La Rioja. "El Carrizal", San Juan. "La Estrella" y "Bella Vista", San Luis. "Papagayos", "Soberanía" e "Independencia", Mendoza. En sedimentos y como resultado de procesos de lixiviación-transporte-depositación, asociada algunas veces, con minerales de Cu, Fe, Mn, Pb, Ag, Zn, etc. y generalmente relacionada con ambiente reductor, aparecen en: "Don Otto", Salta; "Sonia", "La Marthita", "El Ingenio", "Urcal" y otros en La Rioja; "Dr. Baulfes", "Los Reyunos" y "Los

Chañares" en la sierra Pintada y en minas "Huemul", "Agua Botada" y otras de la provincia de Mendoza; en "La Primera" y "Rahue-co", Neuquén y en anomalía "Lagartija", sierra de los Pichiñanes, Chubut.

- b) Oxidos múltiples: en este subgrupo aparecen aquellos minerales constituidos por las combinaciones de óxidos principalmente de niobio, tantalio y titanio y, en menor proporción, de zirconio, estaño y wolframio. Por regla general, son minerales de composición química muy compleja y es común que el U y/o el Th estén reemplazando a elementos propios del mineral, que poseen afinidad geoquímica, radios iónicos parecidos y similar índice de coordinación. Los más importantes son: columbitas-tantalitas (se sigue llamando columbita aún cuando el nombre correcto del elemento es niobio), aparecen como cristales en pegmatitas de la sierra de la Estanzuela, San Luis; en "Cº Blanco" (Tanti) y otras de Córdoba, "El Quemado", Salta y algunas pegmatitas de la sierra de Valle Fértil, San Juan. Braunerita, titanato complejo, el cual fue identificado en "Trampolín huisalfel", Mendoza.

En este grupo se incluyen otras especies como samarskita, pyrocloro-microlita, betafita, etc. las cuales aún no han sido identificadas en Argentina.

- c) Silicatos: en este subgrupo se tiene coffinita (silicato hidratado de uranio), thorita, thorogummita, huttonita (todos silicatos de thorio), como especies principales. También se incluyen otros minerales que aún cuando no son por sí mismos radiactivos, pueden llegar a serlo por reemplazos de ciertos elementos por Th y/o U. Tales los casos del zircón (silicato de zirconio) y de allanita (silicato complejo de tierras raras, del grupo de los epidotos).

En nuestro país, la coffinita ha sido identificada en la mina San Santiago, Jagüé, La Rioja y en el yac. Dr. Baulfés, sierra Pintada, Mendoza. Thorita, thorogummita y huttonita, esta última con algunas dudas, han sido identificadas en la "Serranía de Rangel", Salta. El zircón, mineral accesorio común en rocas ígneas ácidas, aparece también en arenas de ríos y playas marinas con la mayor concentración detectada hasta el momento, en Bahía San Blas, Buenos Aires. En cristales de hasta 2 cm, se identificó una variedad metamáctica (cyrtolita) en la pegmatita "Al Fin Hallada", sierra de Comechingones, Córdoba. Allanita radiactiva (parcial o totalmente metamáctica) fue identificada en pegmatitas de la sierra de Valle Fértil, San Juan.

- d) Fosfatos: de las especies que entran en este subgrupo, se destaca la monacita (fosfato de TR) en la cual el cerio es reem-

plazado parcialmente por Th y algo de U. En Argentina es singularmente importante en pegmatitas de la sierra de Valle Fértil, San Juan, donde se encontraron cristales de hasta 15 cm. También fue identificada en la "Serranía de Rangel", Salta; en Qda. Agua de Vieyra y placeres del río Orosmayo y río Cincel, Jujuy y, entre otros, en una pegmatita cercana a Cosquín y en las arenas de los ríos Tercero y Quinto.

II- Minerales con U^{VI}

Este grupo es denominado, comúnmente, como "minerales amarillos" por la predominancia de este color, aún cuando también los hay en distintos tonos de naranja, verde y blancos. Comprende todas las combinaciones del U hexavalente, el cual, normalmente, conforma el ión UO_2^{2+} que se combina con diversos aniones.

a) Oxidos: este es uno de los subgrupos más importantes.

Dada la forma en que se presentan -generalmente mezcla de varias especies en forma de agregados pulverulentos de grano fino- es muy difícil diferenciarlos entre sí, por lo cual hasta hace cierto tiempo se los incluía bajo el término genérico de "gummita". El avance registrado en los métodos de identificación, permitió determinar que la "gummita" no es un solo mineral, sino la mezcla de varios, por lo que constituye un término general comparable al de limonita o wad.

Estos óxidos se forman en el primer estadio de la alteración de la uraninita y se presentan rodeando a núcleos de ella. Sus colores son generalmente rojo claro, rojo-naranja, naranja y más raramente amarillo y, además de uranio, entran en su composición otros cationes como calcio, bario, bismuto, cobre y plomo, siendo este último, en la mayoría de los casos, de origen radiogénico.

Los principales minerales de este subgrupo son: becquerelita, clarkeita, curita, fourmarierita y masuyita.

En Argentina, se los ha identificado: becquerelita: en "Sonia", "La Marthita" y "San Santiago", La Rioja; clarkeita: en la mina "San Sebastián", La Rioja; curita: en "El Pedregal", La Rioja; fourmarierita: en "El Pedregal" y "San Rubén", La Rioja, y en la pegmatita "Cerro Blanco" (Los Guardias), Córdoba; masuyita: en "Sonia" y "El Pedregal", La Rioja y en "Los Chañares", Mendoza.

b) Carbonatos. Los carbonatos de uranilo, generalmente están combinados con calcio, magnesio y sodio con colores dentro de tonos verdes muy intensos, generalmente solubles en agua y algunos de ellos son muy fluorescentes. Los más comunes en los ya-

cimientos son schroeckingerita, bayleyita y andersonita.

En nuestro país fueron identificados: andersonita: en las minas "Huemul" y "Agua Botada", Mendoza; bayleyita: en la mina "Huemul", Mendoza y la schroeckingerita: el más abundante, entre otros en "Don Otto", Salta, "Sonia" y "La Marthita", La Rioja, "Huemul", Mendoza, "Bella Vista", San Luis y "Los Adobes", Chubut.

- c) Sulfatos. Dentro de este grupo se encuentran zippeita, johannita y uranopilita. No son muy comunes, pero pueden encontrarse asociados a otros minerales amarillos, principalmente en la parte inferior de la zona de oxidación.

Se los ha identificado en nuestro país: johannita: en la mina "Huemul", Mendoza; uranopilita: en la mina "Huemul", Mendoza y en "Don Bosco", Salta; zippeita: entre otros en: "El Pedregal" y "La Marthita", La Rioja, "Huemul" y "Agua Botada", Mendoza.

- d) Fosfatos. Generalmente son fosfatos de uranilo, asociados a cationes como calcio, cobre y plomo y menos frecuentemente hierro, magnesio, hidrógeno y amonio. Por lo general presentan hábito micáceo, color verde a verde azulado, siendo muchos de ellos fluorescentes, destacándose principalmente por la fluorescencia color verde intenso que dan los del grupo de la autunita y del grupo de la torbernita. Además, deben citarse los del grupo fosfuranilita-renardita. Tanto la autunita como su forma menos hidratada metaautunita, son minerales muy comunes en las menas de uranio.

En Argentina se los ha encontrado: autunita entre otros en algunos yacimientos del valle del Tonco y en la pegmatita "El Quemado", Salta, en "Tristán" y "San Sebastián", La Rioja, "Huemul" y "Agua Botada", Mendoza, en Carrizal, San Juan, "La Estela", San Luis y muchos más; fosfuranilita: en algunos yacimientos del valle del Tonco, Salta, "San Sebastián", La Rioja, en "Schlagintweit", Córdoba, "Huemul" y otros en Mendoza y "Los Adobes", Chubut; meta-autunita: en muchas de las localidades indicadas para autunita y otras como "El Pelado", Salta, río Los Hornos, La Rioja y "Laguna Sirven", Santa Cruz; meta-torbernita: en "Providencia" y "El Pelado", Salta, "Urcal", La Rioja, "Casa de Piedra", Mendoza, "La Primera", Neuquén y "Cañadón Gato", Chubut; renardita: en "Providencia", Salta; torbernita: en "San Sebastián", La Rioja y en "C^o Blanco" (Tanti), Córdoba.

- e) Arseniafos. De propiedades químicas muy similares a las del subgrupo anterior. Además del ión uranilo, se asocian cationes como calcio, cobre, bario y potasio y menos frecuentemente

hierro, amonio e hidrógeno. Muchas veces forman series isomorfas con los fosfatos, como en el caso torbernita-zeunerita o meta-torbernita-meta-zeunerita siendo, en este caso, muy difíciles de diferenciar entre sí. Los más comunes son meta-zeunerita, novacekita, troeggerita, uranospinita y zeunerita.

La novacekita aún no fue identificada en nuestro país. Las restantes lo han sido en: meta-zeunerita: en "La Primera", Neuquén; troeggerita: en "El Carrizal", San Juan; uranospinita: en "Los Chañares", Mendoza y en "El Carrizal", San Juan; zeunerita: en San Santiago, La Rioja.

- f) Vanadatos. Se encuentran aquí los vanadatos de uranilo, que además llevan otros cationes como calcio, potasio o cobre. En general aparecen como masas pulverulentas de colores amarillo, amarillo verdoso o verde, siendo muy comunes en los yacimientos de uranio en sedimentos, en especial en aquellos donde el uranio está asociado a materia orgánica o a bancos limo-arcillosos. Los minerales más importantes son carnotita, meta-tyuyamunita, sengierita y tyuyamunita.

En Argentina se las ha identificado: carnotita: entre otros en varios yacimientos del valle del Tonco, Salta, en "Don Michel", "El Pedregal" y "San Basilio", La Rioja, en "Qda. Agua Amarga", "La Cienagueta" y otros de Catamarca, en "El Ingenio" y "C° Los Pocitos", San Juan, en "Don Rodolfo" y "C° Blanco" (Tanti) de Córdoba, en "Huemul", "Ranquil-co" y otros de Mendoza, en "La Primera", "Palo Quemado" y "C° Anca Mahuida", Neuquén, en "Sierra Cuadrada", Chubut y en "Laguna Sirven", Santa Cruz; meta-tyuyamunita: en "Don Bosco" y "Don Otto", Salta, en "Urcal" y "C° Urcushún", La Rioja, en "Don Rodolfo", Córdoba, en "Huemul" y "Agua Botada", Mendoza y en "La Salteada", Chubut; sengierita: en la mina "Huemul", Mendoza; tyuyamunita: en las mismas localidades que la meta-tyuyamunita y en "Chacay Cura", Neuquén y en "La Lagartija", Chubut.

- g) Silicatos. Los silicatos hidratados de uranilo constituyen un grupo de minerales que además de uranio poseen otros cationes como calcio, potasio, magnesio, cobre y plomo. Por lo general se encuentran asociados a los óxidos hidratados, formando masas o agregados pulverulentos de grano muy fino o asociaciones de fibras muy delgadas, de colores amarillo, amarillo verdoso o verde en distintos tonos.

Los minerales más comunes de este subgrupo son betauranofano, boltwoodita, cuprosklodowskita, kasolita, ranquilita, sklodowskita, soddyita y uranofano, de los cuales el último es un componente común en la zona de oxidación de la mayoría de los depósitos.

Se han identificado en nuestro país: betauranofano: en "La Porota" (cateo El Horcón), La Rioja, en "Arroyo Médano Rico", San Juan, en "EL Lajoso", "Patricia" y "San Ramón", Córdoba, en "Carhué-Niyeu", Chubut y otras localidades; boltwoodita: en "Sonia", "La Marthita", "El Pedregal", "San Sebastián" y otros de La Rioja, en la pegmatita "Angel", Córdoba y "C^o Chivos Sur", Chubut; cuprosklodowskita: en la mina "Huemul", Mendoza; kasolita: en la pegmatita "Gallo Lizond", Tucumán y en "San Rubén" y "El Pedregal", La Rioja; ranquilita: en la localidad tipo "Ranquil-co", dpto. Malargüe, Mendoza, en "San Sebastián", La Rioja y en "La Lagartija", Chubut; sklodowskita: en "San Sebastián" y "Santa Brígida", La Rioja, "Huemul", Mendoza y "Cañadón Sauzal", Chubut; soddyita: en "Providencia", Salta; uranofano: las localidades más importantes son: "Don Otto" y "Quirusillal", Salta, "Gallo Lizond", Tucumán, "Burruyaco", Catamarca, "San Sebastián", "Don Michel", "La Porota", "El Pedregal" y muchas otras en La Rioja, "Arroyo Médano Rico" y "Agua Hedionda", San Juan, "Soberanía", "Huemul", "Dr. Baulñes", etc. en Mendoza, "La Estela", San Luis, "La Elsa", "Angel", "Don Rodolfo", etc. en Córdoba, "La Primera", Neuquén, "La Salteada", "Los Adobes" y otros en Chubut.

- h) Molibdatos. Este subgrupo es muy escaso y los minerales que lo componen son poco conocidos. Los más abundantes son umohita y moluranita, no reconocidos en Argentina.
- i) Seleniatos. Grupo recientemente descubierto y del cual el más conocido es el mineral denominado guilleminita, el cual aún no fue identificado en nuestro país.

METODOS DE IDENTIFICACIÓN

Dada la forma en que aparecen los minerales radiactivos, como así también algunas de sus propiedades físicas, la identificación de los mismos presenta ciertas dificultades.

Para el caso de los minerales del primer grupo, denominado "minerales negros", si los mismos no se encuentran isotropizados, la identificación es relativamente sencilla por medio de rayos X; no sucede lo mismo cuando estos minerales han sufrido los procesos que llevan a la destrucción de su estructura cristalina y que citaremos más adelante. En general, puede decirse que megascópicamente puede determinarse aproximadamente el grupo al cual estos minerales pertenecen, pues por lo general son de colores negro, alto peso específico, brillo mate a vítreo (este último para los isotropizados) y fractura concoide.

Para el caso de que los minerales se presenten formando asociaciones pulverulentas, las cuales están constituidas, en ge-

neral, por mezclas de minerales de grano muy fino, tal como sucede para los del grupo portador de uranio hexavalente, el primer caso necesario para la identificación de la o las especies presentes, es la separación de las mismas. Para ello puede apelarse a la propiedad de que la mayoría de estos minerales de uranio son de peso específico elevado, por lo cual con líquidos pesados como bromoformo ($d=2,8$) o yoduro de metileno ($d=3,2$), pueden ser aislados del resto de los componentes livianos de las rocas como son: cuarzo, feldespato, etc.. Otras veces, si el mineral es fluorescente, esta propiedad permite una fácil separación del mismo.

La separación de una especie mineral es una operación larga y tediosa pero imprescindible para su posterior identificación. En algunos casos, es posible identificarlas cuando no hay más de dos especies mezcladas.

En general la identificación de los minerales transparentes por microscopía óptica es muy difícil. Salvo en aquellos casos en que éstos minerales presentan hábito micáceo, como por ejemplo autunita, torbernita, etc., la determinación de las propiedades ópticas es virtualmente imposible, pues aparecen como pequeños granos o fibras con propiedades anómalas. Además, el hecho de que el estado de hidratación cambia el valor de los índices de refracción de estos minerales, es otra causa que provoca incertidumbre en la correcta identificación de los mismos.

Por lo tanto, la identificación de los minerales transparentes de uranio por medio del microscopio polarizante no es un método práctico de clasificación en un laboratorio de rutina y sólo sirve, en algunos casos, como una ayuda en la identificación del mineral en estudio.

Para el caso de los minerales opacos, como ser uraninita, torianita, etc., el microscopio puede ser de ayuda principalmente para la determinación del modo de presentarse, tamaño y asociación paragenética de la mena. La ayuda como método de identificación es algo restringido, aunque es de mayor valor que para el caso de los minerales transparentes.

La fluorescencia de algunos minerales de uranio, puede ser útil en algunos casos. Esta propiedad permite en ciertas ocasiones eliminar un gran número de minerales que no son fluorescentes, pero es necesario recordar que ciertas especies pueden o no ser fluorescentes, como en el caso del uranofano.

El método de identificación por medio de la autorradiografía, presenta sus mejores posibilidades en la ubicación dentro de la muestra en estudio del mineral responsable de la radiactividad. El método propuesto por algunos autores, de medir la cantidad de radiación emitida sobre una placa fotográfica, para en base a dicha medición identificar el mineral, no es práctico y requiere una serie de técnicas muy especializadas.

Desde el punto de vista práctico, el método que más rápidamente y con mayor eficiencia permite identificar las especies radiactivas, es el de difracción por rayos X. En este caso la gran mayoría de los minerales de uranio, el 90% o más, son identificados recurriendo al método denominado de polvo o de Debye-Scherrer.

Cada sustancia cristalina reacciona frente a los rayos X en una forma particular; el espectro obtenido de cada una de ellas podemos compararlo con las impresiones digitales. Cada mineral, salvo ciertos casos particulares, dará un diagrama de rayos X propio del mismo, lo que permite su identificación sin lugar a dudas.

En el método mencionado pueden aplicarse dos técnicas las que dependen de la cantidad de mineral separado. Para muy pequeñas cantidades, se recurre al método fotográfico, mientras que para cantidades discretas se utiliza el método gráfico que es mucho más rápido.

Estos métodos solamente se encuentran limitados por el hecho de que los minerales que forman series isomorfas (igual estructura cristalina pero diferente composición química) como por ejemplo hematita-ilmenita, zeunerita-torbernita, etc., dan diagramas iguales o muy semejantes, lo que hace imposible su diferenciación. Lo mismo ocurre con minerales diferentes que tienen el mismo modelo de estructura con distancias interatómicas parecidas, como por ej.: uraninita y fluorita. En estos casos, la ayuda de algunas reacciones químicas sencillas o el análisis químico de alguno de los cationes presentes en el mineral en estudio o una perla de fluoruro de sodio, facilitan su identificación.

Un caso muy especial de estudio es el de los minerales metamícticos. Estos minerales se producen debido a que las radiaciones emitidas por el uranio y/o thorio, provocan daños en la estructura cristalina del mineral. Este daño puede ser parcial o total y cuando el mismo llega a ser total, el mineral pierde sus propiedades cristalinas, o sea se metamictiza, y se comporta como una sustancia amorfa.

En este caso el mineral es isótropo tanto para las propiedades ópticas como para la difracción de rayos X y su identificación por medios físicos es imposible.

Es posible en muchas ocasiones, obtener por calentamiento a temperatura elevadas (alrededor de 1000°C), la reconstitución de su estructura cristalina para luego proceder a su identificación por medio de la difracción de rayos X.

Por suerte la metamictización se presenta en el grupo de minerales radiactivos que posiblemente representa el menor interés económico, dado que la mayoría de los minerales metamícticos corresponden a los del grupo de los óxidos múltiples, como

niobatos-tantalatos, niobio-titanatos, etc., y del grupo de los silicatos con uranio tetravalente y torio.

BIBLIOGRAFIA GENERAL

ANGELELLI, V. (1956)- Distribución y características de los depósitos de uranio y su ocurrencia en la R.Argentina, Conf. Intern. Uso Pac.Energ.Atóm., Ginebra, V. 6, 63-90.

BAIN, G.W. (1950)- Geology of the fissionable materials. Econ. Geol. V. 45, 273-323.

BATEMAN, A.M. (1950)- Economic mineral deposits. John Wiley, New York.

BUTSCHKOWSKYJ, M. (1958)- Minerales radiactivos. Rev.Mus.Arg.Bernardino Rivadavia, Cs.Geol., IV, N° 3.

DANA'S SYSTEM OF MINERALOGY

FAUL, H. (editor)(1954)- Nuclear Geology. John Wiley, New York.

FRONDEL, C. et. al. (1956)- X-ray powder data for uranium and thorium minerals. U.S.Geol.Surv.Bull. 1036-G.

FRONDEL, C. (1958)- Systematic mineralogy of uranium and thorium. U.S.Geol.Surv.Bull. 1064.

FRONDEL, J. et. al. (1967)- Glossary of uranium and thorium-bearing minerals. U.S.Geol.Surv.Bull. 1250.

FERNANDEZ, G.A. (1957)- Características mineralógicas-petrográficas de los principales minerales radiactivos. Univ.Nal. de Cuyo, Acta Cuyana de Ingeniería, V. 1, N° 8.

GEORGE, D. (1949)- Mineralogy of uranium and thorium-bearing minerals. U.S.Atom.Energ.Comm., RMO-563.

HEINRICH, E.W. (1958)- Mineralogy and geology of radioactive raw materials. Mc Graw-Hill, New York.

KLOCKMANN-RAMDOHR- Tratado de mineralogía. Gustavo Gili.

LINARES, E. y TOUBES, R.O. (1960)- Los minerales radiactivos de la República Argentina. Ias.Jorn.Geol.Arg. (San Juan), T. II.

NININGER, R.D. (1954)- Minerals for atomic energy. Van Nostrand, N. York.

PABST, A. (1952)- The metamict state. Amer.Miner., V.37, 137-157.

RANKAMA, K. (1954)- Isotope geology. Mc Graw-Hill, New York.

RANKAMA, K. y SAHAMA, T.G. (1950)- Geoquímica. Aguilar, Madrid.

ROBAULT, M. (editor) (1960) - Les minerais uranifères français et leurs gisements. Inst.Nat.Sc.Nucleaires, Saclay, Francia.

TOUBES, R.O.; CHAAR, E. y SPIKERMANN, J.P. (1973) - Minerales radiactivos de la Rep.Arg. V^o Congr.Geol.Arg.; I, 249-260.

ZEUNER, F.E. (1952) - Dating the past. Methuen, Londres.

INDICE

	<u>Pág.</u>
<u>INTRODUCCION</u>	1
<u>Uranio y Thorio</u>	2
<u>Radiactividad del uranio y el thorio</u>	3
<u>MINERALES DE URANIO Y TORIO</u>	4
<u>Generalidades</u>	4
<u>SISTEMATICA DE LOS MINERALES DE URANIO Y TORIO</u>	5
I- <u>Minerales con U^{IV} y/o Th</u>	5
II- <u>Minerales con U^{VI}</u>	8
<u>METODOS DE IDENTIFICACION</u>	11
<u>BIBLIOGRAFIA GENERAL</u>	15