



Vista de un nódulo rico en minerales de uranio, procedente de la pegmatita de la mina "Angel" (Prov. de Córdoba). Las partes negras corresponden a uraninita algo alterada, rodeada por una banda anaranjada de gummita. Las fracciones amarillentas claras representan en su mayor parte uranofano.

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINERIA

LOS MINERALES DE URANIO

SUS YACIMIENTOS Y PROSPECCION

POR

VICTORIO ANGELELLI

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL	
ENTRADA:	13/2/50
N. INVENTARIO	27028
FECHADO:	
COSTO:	

1958

Al amigo Dr. Agustín E. Riggs,
con la estima de siempre.

Angelillo

10/VIII/58

INTRODUCCION

La COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, creada por Decreto Ley N° 22.498, del 19 de diciembre de 1956, ha dispuesto la publicación del presente opúsculo con la finalidad de divulgar, entre los mineros y aquellas personas que de una u otra manera se interesan en esta nueva rama de la industria extractiva nacional, los conocimientos básicos acerca de los minerales radiactivos y sus yacimientos, así como los métodos utilizados en su prospección.

El trabajo de referencia resume, en líneas generales, las observaciones y experiencias recogidas al respecto por países tales como los Estados Unidos de América y el Canadá, que en un período que puede considerarse corto han influido tan decididamente en el importante desarrollo que caracteriza a la minería del uranio. Lo expuesto lo atestiguan las numerosas publicaciones relacionadas con la investigación mineralógica y geológica de los depósitos uraníferos y, en especial, con el instrumental y los métodos empleados en la búsqueda de los mismos.

Esta obra, similar a otras aparecidas en lengua inglesa y que sirvieron de modelo, comprende nueve capítulos que abarcan temas que van desde algunas consideraciones sobre el elemento uranio en sí, hasta las recomendaciones acerca de las labores de exploración de los yacimientos y el correspondiente muestreo y ubicación. Con la extensión adecuada al carácter de

divulgación que tiene, se ha procurado presentar un cuadro completo de la geología y minería del uranio, sin incluir en esta última la explotación propiamente dicha.

Además de la mención de yacimientos extranjeros se hace referencia, con fines de orientación, de las principales manifestaciones y acumulaciones uraníferas reconocidas hasta el presente en el país y, en el Anexo, se transcriben el Decreto-Ley N° 22.477/56 que rige la política impuesta con respecto a los minerales nucleares, la Reglamentación correspondiente y el método analítico utilizado por la Comisión Nacional.

Desde hace aproximadamente una década, el uranio ha pasado a ocupar un lugar muy destacado entre los elementos cuya aplicación, tanto para los fines de la defensa como para los industriales de la paz, es objeto de intensa investigación por parte de los países rectores del mundo.

Las tareas que tiene a su cargo la Comisión Nacional de Energía Atómica están orientadas hacia la aplicación pacífica de la energía nuclear, destacándose entre ellas la construcción de reactores nucleares con fines de experimentación, primero, y luego la de reactores para la provisión de energía.

El uranio constituye en ambos casos el "combustible atómico", y en el segundo, su energía es utilizada con fines industriales.

Tal objetivo implica, entre otros, el problema del abastecimiento de la materia prima mineral, a cuya solución se ha abocado de lleno esta institución creando los correspondientes servicios para la atención de las tareas geológico-mineras y otras que interesan igualmente a los fines perseguidos.

En dichos servicios actúan numerosos profesionales y técnicos, tales como geólogos, ingenieros de minas y peritos mineros, que integran las actuales dependencias del interior, a saber: Divisional Cuyo, cuyo radio de acción abarca las provincias de Mendoza, San Juan y San Luis; Divisional Noroeste (La Rioja y Catamarca); Seccional Norte (Salta, Jujuy y Tucumán); Seccional Centro (Córdoba y Santiago del Estero); Seccional Centro-Sur (Neuquén, Río Negro y La Pampa) y Seccional Austral (Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego). Estas dependencias tienen como misión cooperar en la prospección sistemática de las áreas más favorables de nuestro dilatado territorio en procura de minerales radiactivos, realizar su reconocimiento previo e incluso su exploración y explotación en determinados casos, ello independientemente de la atención que deben prestar para el cumplimiento de las distintas tareas que emergen de la aplicación del Decreto-Ley N° 22.477/56 y de su reglamentación.

Si bien se conoce la existencia de minerales de uranio en el país desde el año 1935, como consecuencia del estudio de algunas pegmatitas uraníferas de la sierra de Comechingones (Córdoba), recién en 1945 se iniciaron trabajos que por espacio de cuatro años estuvieron a cargo de la Dirección General de Fabricaciones Militares, y tuvieron por finalidad el establecer, en una primera aproximación, las perspectivas que ofrecían los depósitos hasta entonces individualizados. A partir de 1951 comenzó la investigación más acabada de las posibilidades que alberga nuestro subsuelo en lo referente a uranio y torio, prosiguiéndose en la actualidad esta labor en forma sostenida y con ritmo creciente, para lo cual se cuenta no sólo con el personal

necesario, sino también con el instrumental y los elementos de trabajo indispensables.

Para el logro inmediato de los fines que se persiguen no se escatima esfuerzo de ninguna naturaleza. Así, se recurre a la aplicación de los modernos métodos de prospección aérea; al perfilaje radiométrico de los sondeos; a la prospección sistemática terrestre, basada en relaciones geológico-genéticas, etc., y a la contratación de los trabajos de exploración, preparación y explotación de los yacimientos, conforme con lo que estipula el mencionado decreto.

En la esperanza de que esta publicación pueda ser aprovechada como fuente de información de carácter general por los mineros, por los geólogos e ingenieros de minas que no están en contacto directo con estas materias, o por personas ligadas o interesadas en este novel renglón de la minería argentina, deseo hacer llegar mi agradecimiento a los doctores Pedro N. Stipanovic y Enrique Linares, Jefe del Servicio Geológico y geólogo de la División Laboratorio de Investigaciones Geológicas de la Comisión de Energía Atómica, respectivamente, por la colaboración prestada en la preparación de esta obra.

EL AUTOR.

EL URANIO, SUS PROPIEDADES

En 1789, Klaproth descubrió el trióxido de uranio al tratar pechblenda de los yacimientos de Joachimsthal, pero recién en 1841 Peligot obtuvo el metal en polvo, al que se bautizó derivando su nombre del planeta Urano.

Es el de mayor peso atómico (238,07) de todos los elementos conocidos, excluyendo los transuránicos (neptunio, plutonio, americio, curio, etc.), con un peso específico 18,7 y un punto de fusión de aproximadamente 1100°.

Se trata de un metal de color blanco níquel, menos duro que el acero, ligeramente maleable y dúctil y poco estable al aire. Calentándolo en contacto con el aire arde con incandescencia y producción de chispas. Es soluble en los ácidos clorhídrico, nítrico y sulfúrico y descompone al agua a los 100° y aun a menor temperatura.

Si bien se le conocen combinaciones tri y octavalentes, en sus compuestos naturales actúa solamente como tetra y hexavalente.

Sus óxidos principales son: el *uranoso* (UO_2) y el *uránico* (UO_3); en el primer caso el elemento en cuestión es tetravalente, y en el segundo, hexavalente. Forma dos tipos de sales principales, a saber: compuestos uranosos correspondientes al óxido básico UO_2 y com-

puestos de uranilo en los cuales el uranio se encuentra formando parte del ion UO_2^{++}

Los primeros son altamente inestables, siendo rápidamente oxidados a la forma de uranilo; el óxido uranoso ha sido el constituyente original de todos los minerales hipógenos y mientras más jóvenes sean los minerales primarios inalterables, mayor es su proporción en el mismo.

Aparte de los óxidos mencionados se conoce el *uranoso-uránico*: U_3O_8 (UO_2-2UO_3) o *intermedio*, que se presenta en la pechblenda, en mayor o menor grado.

El UO_3 es anfótero, lo que significa que reacciona como una base frente a los ácidos para formar compuestos de uranilo y como un ácido frente a las bases para constituir uranatos, diuranatos, etc.

Las sales de uranilo son generalmente amarillas o verdes y por lo común fluorescentes. Son del tipo $(\text{UO}_2)_m \text{R}_n$ donde R representa CO_3 , SO_4 , SiO_3 , AsO_4 , VO_4 , PO_4 . En la naturaleza se conocen diversos compuestos que responden a esta fórmula, como se verá más adelante al tratar los minerales de uranio.

Los óxidos hidratados del tipo $n\text{UO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ existentes también en el reino mineral, derivan del ácido uránico $\text{UO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Por reducción de los óxidos de uranio o de otros compuestos con carbón a elevada temperatura, se obtiene el uranio común en forma elemental, en el que participa el uranio 238 y sus isótopos, uranio 235 y uranio 234, en las proporciones siguientes:

U 238	99,274 %
U 235	0,720 %
U 234	0,006 %

Radioelementos, desintegración, período, vida media:
Los elementos radioactivos o radioelementos están compuestos de átomos que se desintegran, esto es, que por ruptura pasan a átomos de diferente naturaleza, emitiendo en el momento del cambio radiaciones que pueden ser detectadas o medidas por instrumentos.

Cada radioelemento se desintegra siguiendo un camino y en una proporción que le es característica, produciendo radiaciones de una cierta energía que le es también característica.

El uranio 238, el torio y el uranio 235 o actinouranio son cabezas de familias radioactivas y cada uno de ellos produce, en su proceso de transformación, una serie de radioelementos, los que se originan paso a paso por sucesivas desintegraciones hasta terminar en plomo inactivo.

Es así que un átomo de uranio 238 libera, en su total transformación, 8 átomos de helio y termina en uno de plomo de peso atómico 206; en tanto que el torio desprende 6 átomos de helio y finaliza en uno de plomo 208.

Todos los radioelementos naturales o artificiales cuando se transforman emiten uno o más de los tres tipos de radiaciones: alfa (α), beta (β) y gamma (γ). Las primeras consisten en partículas eléctricas cargadas positivamente que corresponden a átomos de helio, que tienen un escaso poder de penetración, el que alcanza en el aire a sólo unos 10 cm y son frenadas por delgadas hojas de aluminio e incluso en buena parte por hojas de papel.

Las radiaciones beta están representadas por electrones, pequeñas partículas o unidades de electricidad negativa que son más penetrantes que las alfa y pueden

atravesar 3 m o más de aire, siendo retenidas por chapas de aluminio de unos 6 cm de espesor.

Finalmente, las radiaciones gamma, similares en cuanto a su naturaleza a los rayos X, pero de menor longitud de onda, son mucho más penetrantes que las anteriores, necesitándose unos 5 cm de plomo para detener la mayor parte de ellas.

El uranio 238, el torio y el actinouranio 235, libres de productos de desintegración, emiten partículas alfa.

Todas las radiaciones beta y gamma y la mayoría de las alfa de los minerales viejos de uranio y torio proceden de radioelementos altamente activos —como ser de la serie del radio y mesotorio— que se han acumulado en largos períodos de tiempo y que han sido constantemente reemplazados por desintegración de elementos de estas series.

Los cuerpos radioactivos se encuentran entre los de mayor peso atómico. La emisión de una partícula alfa o beta corresponde a una transmutación del átomo que cambia entonces de especie.

De la ley de Rutherford y Soddy, relacionada con las transformaciones radioactivas, se deduce que: el número de núcleos de un cuerpo radioactivo que se desintegra en la unidad de tiempo, es proporcional al número total de los núcleos que están presentes en el instante considerado.

El coeficiente de proporcionalidad se denomina “constante radioactiva” de la sustancia.

Se llama “período” de un cuerpo radioactivo al tiempo necesario para que la mitad de los núcleos radioactivos, presentes en un momento cualquiera, se desintegren en otros núcleos estables o radioactivos.

De la ley arriba mencionada resulta que el "período" es igual a la inversa de la "constante radioactiva" multiplicada por 0,693.

La "vida media" o el promedio de las duraciones de vida efectiva de todos los núcleos de un cuerpo radioactivo es igual al valor de la inversa de su "constante radioactiva", y por lo tanto igual al "período" dividido por 0,693, o multiplicado por 1,44.

Así, en el caso del radio el "período" es de 1590 años, mientras que la "vida media" es de 2289,6 años.

Cabe mencionar que las temperaturas, presiones, catalizadores y otros factores que influyen sobre las reacciones químicas, no tienen acción alguna sobre el tiempo de desintegración de un cuerpo radioactivo.

En el cuadro siguiente se indica la serie de desintegración del uranio 238, señalándose los distintos elementos de transformación, los tipos de radiaciones emitidas en cada caso y el período de cada elemento de esa serie.

Elemento	Designación radiométrica	Período	Radiaciones
Uranio-238	UI	4.500.000.000 años	α
Torio-234	UX ₁	24,1 días	β y γ
Protactinio-234	UX ₂	1,1 minutos	β y γ
Uranio-234	UII	269.000 años	α
Torio-230	Ionio (Io)	82.200 años	α
Radio-226	Radio (Ra)	1.590 años	α y γ
Radón-222	Radón (Rd)	3,8 días	α
Polonio-218	Radio A (RaA)	3,1 minutos	α
Plomo-214	Radio B (RaB)	26,8 minutos	β
Bismuto-214	Radio C (RaC)	19,7 minutos	β y γ
Polonio-214	Radio C' (RaC')	0,0002 segundo	α
Plomo-210	Radio D (RaD)	22,2 años	β y γ
Bismuto-210	Radio F (RaF)	139 días	α
Plomo-206	Radio G (RaG)	estable	—

El período del torio que en la naturaleza se presenta con un solo isótopo Th^{232} , es de 13,9 mil millones de años y la del actinouranio U^{235} , 707 millones de años.

II

MINERALES DE URANIO

Se conocen más de 150 especies minerales portadoras de uranio y torio, de las cuales alrededor de 60 corresponderían a compuestos secundarios de uranio, bien definidos.

De este conjunto, cuya naturaleza varía desde simples óxidos hasta compuestos de constitución muy compleja y dudosa, sólo un número reducido es el que tiene verdadera importancia comercial.

Las especies uraníferas registradas al presente en nuestro país ascienden tan sólo a 12, cifra que se verá incrementada a medida que se intensifiquen las investigaciones sobre el particular.

En este capítulo se tratarán los principales minerales de uranio, incluyendo algunos de torio con apreciable contenido de aquel elemento.

De conformidad con su origen, los minerales que nos ocupan se agrupan: *a)* MINERALES PRIMARIOS O HIPÓGENOS y *b)* MINERALES SECUNDARIOS O SUPERGÉNICOS.

a) MINERALES PRIMARIOS: Siguiendo el trabajo de D'Arcy George, el más completo acerca de los minerales radioactivos hasta el presente, los compuestos hipógenos en cuestión, desde el punto de vista de su composición química, podrían distribuirse así:

Oxidos simples: Comprenden la *uraninita* y la *pechblenda*, constituídas por uranio con participación variable de torio, plomo y pequeñas cantidades de tierras raras.

Oxidos múltiples: Se caracterizan por ser portadores, en la mayoría de los casos, de tierras raras en combinación con columbio y/o tantalio, a menudo con fuerte proporción de titanio, estando presentes, además, otros elementos, como ser: torio, hierro, manganeso, circonio, calcio, estaño, etc.

Estos últimos son columbatos y tantalatos e incluso titanatos, que pueden ser expresados como óxidos múltiples. El uranio contenido en ellos varía entre amplios límites, debiéndose destacar que, en general, las especies o variedades ricas en tantalio encierran menos uranio que los términos con elevado porcentaje en columbio.

Asimismo, el uranio muestra cierta preferencia por aquellos compuestos ricos en elementos del grupo del itrio (tierras raras), en tanto que el torio es dominante en las especies ricas en cerio.

D'Arcy George reúne estos minerales, teniendo en cuenta la relación de sus principales elementos constituyentes, en cinco grupos ordenados conforme con el aumento de la complejidad de su composición, como sigue:

I. Consisten principalmente de Cb, Ta, Ca, Na, (OH) y F:

Microlita	$Ta_2O_5 > Cb_2O_5$
Pirochloro	$Cb_2O_5 > Ta_2O_5$

II. Contienen esencialmente Cb, Ta y elementos del grupo del itrio:

Fergusonita	$\text{Cb}_2\text{O}_5 > \text{Ta}_2\text{O}_5$
Formanita	$\text{Ta}_2\text{O}_5 > \text{Cb}_2\text{O}_5$
Samarskita	$\text{Cb}_2\text{O}_5 > \text{Ta}_2\text{O}_5$

III. En su composición predominan Cb, Ta, tierras raras y titanio:

Euxenita	$\text{Cb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5 : \text{TiO}_2 :: 1 : 3$ o menos
Policrasa	$\text{Cb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5 : \text{TiO}_2 :: 1 : 4$ o más
En eschynita ...	$(\text{Ce}, \text{La})_2\text{O}_3 > (\text{Y}, \text{Er})_2\text{O}_3$ y $\text{ThO}_2 > \text{UO}_2 + \text{UO}_3$
En priorita	$(\text{Y}, \text{Er})_2\text{O}_3 > (\text{Ce}, \text{La})_2\text{O}_3$ y $\text{ThO}_2 > \text{UO}_2 + \text{UO}_3$

IV. Diversos óxidos múltiples conteniendo columbio y tantalio:

Betafita	principalmente Cb, Ta, U, Ti y Ca
Djalmita	principalmente Ta, U y Ca
Ampangabeita	Principalmente Cb, Ta, Ti, U y tierras raras

V. Óxidos múltiples conteniendo titanio, con ausencia de columbio y tantalio:

Davidita	principalmente Ti, Fe con U, V y tierras raras
Brannerita	principalmente U y Ti

b) MINERALES SECUNDARIOS: Se originan por procesos de meteorización a partir de los compuestos hipógenos, siendo químicamente mejor conocidos que los

últimos, aunque la composición de algunos permanece aún dudosa.

A continuación se citan algunas de estas especies, ordenadas conforme a su composición química.

Oxidos

"Gummita"	UO ₂	.	nH ₂ O	
Becquerelita	2UO ₂	.	3H ₂ O	
Schoepita	4UO ₂	.	9H ₂ O	
Curita	2PbO	.	5UO ₂	. 4H ₂ O
Uranosphaerita ..	Bi ₂ O ₃	.	2UO ₂	. 3H ₂ O
Vandenbrandita .	CuO	.	UO ₂	. 2H ₂ O

Fosfatos

Autunita	CaO	.	2UO ₂	.	P ₂ O ₅	.	12H ₂ O
Metaautunita	CaO	.	2UO ₂	.	P ₂ O ₅	.	8H ₂ O
Torbernita	CuO	.	2UO ₂	.	P ₂ O ₅	.	12H ₂ O
Metatorbernita ..	CuO	.	2UO ₂	.	P ₂ O ₅	.	8H ₂ O
Ferrouranita	FeO	.	2UO ₂	.	P ₂ O ₅	.	8H ₂ O
Renardita	PbO	.	4UO ₂	.	P ₂ O ₅	.	9H ₂ O
Fosfuranilita			3UO ₂	.	P ₂ O ₅	.	8H ₂ O

Arseniatos

Zeunerita	CuO	.	2UO ₂	.	As ₂ O ₃	.	8H ₂ O
Uranospinita	CaO	.	2UO ₂	.	As ₂ O ₃	.	8H ₂ O

Vanadatos

Carnotita	K ₂ O	.	2UO ₂	.	V ₂ O ₅	.	3H ₂ O
Tyuyamunita	CaO	.	2UO ₂	.	3V ₂ O ₅	.	8H ₂ O
Uvanita			2UO ₂	.	V ₂ O ₅	.	15H ₂ O

Sulfatos

Zippeita		2UO_3	\cdot	SO_3	\cdot	$n\text{H}_2\text{O}$	
Johannita	CuO	\cdot	2UO_3	\cdot	2SO_3	\cdot	$7\text{H}_2\text{O}$

Carbonatos

Uranothallita ...	2CaO	\cdot	UO_2	\cdot	4CO_2	\cdot	$10\text{H}_2\text{O}$
Rutherfordina ...			UO_2	\cdot	CO_3		
Schoeckingerita .	$3\text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O}$	\cdot	$\text{UO}_3 \cdot \text{CO}_2$	\cdot	SO_3	\cdot	F. $10\text{H}_2\text{O}$

Silicatos

Uranofano	CaO	\cdot	2UO_3	\cdot	2SiO_2	\cdot	$6\text{H}_2\text{O}$
Soddyita			5UO_3	\cdot	2SiO_2	\cdot	$6\text{H}_2\text{O}$

Expuesta la división de los minerales portadores de uranio, con la mención de algunas de sus especies, seguidamente se pasará a tratar aquellos que revisten mayor importancia, señalando en cada caso sus características esenciales y los ejemplos argentinos:

Uraninita: En su estado primitivo consiste en UO_2 , al que se asocia, conforme con su grado de alteración, UO_3 . Contiene, además, cierto porcentaje de torio y de tierras raras y plomo de la desintegración del uranio, en una proporción apreciable en las uraninitas precámbricas.

De color negro con tinte a menudo verdoso, pardo o gris, se presenta en cubos y octaedros bien desarrollados. Su dureza es de 5 a 6 y su peso específico de 8 a 10,5, según su contenido en uranio, siendo mucho menor en las alteradas.

Este mineral es, por lo general, más duro y más pesado que la pechblenda, como así también de mayor pureza y homogeneidad que aquella.

Suele acompañar a la thucholita, compuesto que lo reemplaza en algunos casos.

En las variedades jóvenes su contenido en uranio expresado en U_3O_8 es de más del 90 %, mientras que en aquellas de edad precámbrica, como ser las canadienses, oscila alrededor del 80 %.

Se trata de un mineral típico de yacimientos pegmatíticos, aunque se le ha reconocido, además, como un caso excepcional, en los depósitos hidrotermales uraníferos de Shinkolobwe (Congo Belga).

En nuestro país se ha encontrado uraninita como mineral accesorio en numerosas pegmatitas de la parte alta de la sierra de Comechingones, Córdoba, tanto en cristales aislados o agrupados, a veces con maclas de penetración, como también en masas chicas, irregulares, entre paquetes de mica, o bien dentro de granate y triplita. La forma dominante es la de cubo, de un tamaño de 5 a 10 mm, llegando en algunos casos hasta 2-3 cm. En su parte periférica presenta un avanzado estado de alteración, con pasaje a "gummita" y a otros compuestos oxidados, y de ahí su bajo peso específico, aun en las fracciones aparentemente frescas, de 5,4 a 6,1.

<i>Análisis:</i>	1 (a)	2 (a)	3 (b)	4 (b)	5 (b)
Pérdida al rojo	5,55 %	2,35 %	—	—	—
Insoluble	0,30 "	1,00 "	—	—	—
UO ₃	23,10 "	28,38 "	16,38 %	26,51 %	22,70 %
UO ₂	63,00 "	61,12 "	62,90 "	58,60 "	64,35 "
ThO ₂ y tierras raras	1,67 "	0,25 "	7,92 "	0,10 "	0,83 "
PbO	5,00 "	5,20 "	5,02 "	4,66 "	4,86 "
Fe ₂ O ₃	vest.	vest.	0,13 "	0,85 "	0,17 "
CaO	0,70 %	vest.	0,74 "	0,54 "	0,43 "
P ₂ O ₅	no cont.	0,06 %	no-cont.	no det.	no det.
ZrO ₂	no-det.	vest.	no-cont.	no cont.	no cont.
H ₂ O	" "	no det.	5,21 %	3,50 %	5,20 %
SiO ₂ y otros ele- mentos	" "	" "	0,55 "	4,17 "	0,73 "
	99,32 %	98,36 %	98,85 %	99,02 %	99,27 %

(a) analizada por el Dr. Augusto Chaudet (1946).

(b) analizada por el Dr. Carlos G. Gordillo (1956).

1. Cerro Blanco, quebrada del Tigre, sierra de Comechingones, Córdoba.
2. Mina "Cerro Blanco", Los Guardias, sierra de Comechingones, Córdoba.
3. Mina de berilo, "Las Tapias", Las Tapias, Córdoba.
4. Mina de berilo "Santa Ana", San Luis.
5. Mina "La Elisa", sierra de Comechingones, Córdoba.

Pechblenda: Se presenta en yacimientos hidrotermales y constituye el más importante de los minerales de uranio. Como la uraninita, consiste en óxidos de uranio, con plomo resultante de la desintegración de ese elemento. Además, generalmente no contiene torio, siendo pequeña la participación de tierras raras, menor del 1 %. No adquiere forma externa cristalina

sino redondeada, mamelonar y botroidal, con estructura bandeada y radiada.

Posee un color negro acerado a negro de pez cuando se halla en estado fresco, pero toma una coloración grisácea a verdosa cuando se altera. Su fractura es conchoidal, semejante a la del vidrio.

Encierra en su masa inclusiones e intercrecimientos de otros minerales presentes en las vetas, como ser cuarzo, carbonatos, sulfuros, arseniuros.

Como la uraninita, expuesta a la acción de los agentes meteóricos, se altera en "gummita", uranofano y otros compuestos.

Tanto la uraninita como la pechblenda son formas cúbicas del UO_2 ; la primera es cristalina megascópica, en tanto que la segunda está compuesta por cristalitos a veces orientados, del orden 10^{-3} m y menos aún. En consecuencia, el término pechblenda es aplicado a la forma submicroscópica cristalina del UO_2 con o sin exceso de oxígeno.

Este mineral fué determinado por primera vez en el país al estudiarse muestras procedentes de la mina "San Santiago" (ex La Solitaria), zona de Jagüe, La Rioja, donde en forma de pequeñas venitas de 1 mm y menos de espesor, de color negro acerado, se asocia íntimamente a niquelina, de una generación anterior.

También se lo reconoció en los yacimientos de "Santa Brígida" y "San Victorio", cercanos a Sañogasta, en el cateo Don Michel, quebrada de Guanchín; en las manifestaciones de la mina "Sonia", zona de Guandacol, y en otros lugares más de la provincia de La Rioja, como asimismo en la mina "La Estela" (ex "La Marquesa"), en San Luis; en "La Niquelina", "La Esperanza" y en otros hallazgos registrados en la provincia de Salta; en la mina "Soberanía" y en los depósitos de

Papagayos, cerro Huemul-Agua Botada, etc., en Mendoza; etc.

Análisis: efectuado por el Dr. Carlos G. Gordillo.

	1	2	3	4
UO ₂	23,84 %	11,66 %	53,46 %	45,40 %
UO ₃	53,08 "	55,12 "	19,79 "	21,52 "
ThO ₂ y tierras raras	0,34 "	0,52 "	0,91 "	0,73 "
PbO	0,18 "	2,17 "	0,65 "	1,39 "
Fe ₂ O ₃	1,31 "	3,41 "	3,06 "	8,90 "
CaO	6,00 "	3,76 "	5,20 "	1,40 "
P ₂ O ₅	0,24 "	0,20 "	no det.	no det.
ZrO ₂	0,00 "	0,17 "	0,50 %	0,95 %
H ₂ O	6,47 "	8,97 "	2,94 "	2,72 "
Otros elementos (a)	7,41 "	13,42 "	13,04 "	17,77 "
	98,67 %	98,38 %	99,9 %	100,78 %

(a) SiO₂, SO₂, P₂O₅,
CO₂, NiO, CuO, As₂O₃,
TiO₂, F, etc.

1. Mina "La Estela", San Luis.
2. Mina "San Sebastián", La Rioja.
3. Mina "San Santiago", La Rioja.
4. Mina "La Niquelina", Salta.

Thucholita: Se trata de un material carbonoso, liviano, portador de uranio y torio, que se asemeja, en cortes frescos, a un carbón duro brillante o resinoso. De densidad 1,7, es frágil, de fractura concoidal y quebradizo. No arde por sí solo y se quema con dificultad sin dar humo o sustancias alquitranosas. Su contenido en cenizas es variable.

Se admite que este compuesto se origina por efectos

de la polimerización de hidrocarburos, causada por la radioactividad de minerales de uranio y torio.

Se le ha encontrado no sólo en pegmatitas, sino también incluso en yacimientos de vetas; se asocia a la uraninita contenida en los "reefs" auríferos de Sudáfrica.

Coffinita: Se trata de un silicato de uranio descubierto recientemente cuya fórmula sería $U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$. Su color es negro con lustre adamantino y pertenece al sistema tetragonal, isoestructural con el zircón, según estudios de rayos X. El peso específico del material portador de la coffinita es variable, llegando a un máximo de 5,1.

Análisis químicos efectuados sobre muestras seleccionadas y concentradas procedentes de minas del Plateau del Colorado, pero poco puras, registraron un tenor de 44-68 % UO_2 con 5-8,5 % SiO_2 , aparte de otros elementos tales como vanadio, aluminio y arsénico.

Este mineral acompaña a la pechblenda en la zona no oxidada de muchos yacimientos del Plateau del Colorado, como ser en la mina "Jackpile", Ambrosia Lake, etc.

Se presume la existencia de este mineral en el yacimiento Cerro Huemul.

Pirochloro-Microlita: Los minerales de este grupo se encuentran preferentemente en pegmatitas alcalinas y constituyen óxidos complejos de columbio, tantalio, calcio y sodio con (OH) y flúor; además se registra la presencia de hierro, manganeso, titanio, uranio, torio y tierras raras.

Muestran tendencia a cristalizar con hábito octaédrico, hallándoseles además en granos y pequeñas masas irregulares. Su contenido en uranio y torio es extrema-

damente variable; en algunos casos se registraron valores de hasta 15 % U_3O_8 . Con colores que varían desde el amarillo hasta el pardo y negro, según su grado de alteración, poseen un lustre vítreo, resinoso a céreo, una dureza 5-6 y un peso específico de 4,2 hasta 6,4, de acuerdo con su estado de conservación y contenido en tantalio.

Fergusonita-Formanita: Son columbatos y tantalatos de itrio y erbio, con participación de otras tierras raras portadoras, además, de uranio y torio. La fergusonita es el término rico en columbio, en tanto que la formanita lo es en tantalio. Estos minerales, de origen pegmatítico, se presentan con preferencia en prismas tetragonales, de color pardo a negro en estado fresco y amarillo verdoso cuando están alterados, con lustre vítreo y fractura concoidal. Su dureza es de 5,5 a 6,5 y su densidad variable, según su contenido en tantalio y estado de conservación, oscila entre 4,18 a 5,78, alcanzando a 6,24 en la formanita. La ley en U_3O_8 de estos compuestos es inferior a 10 % y la de ThO_2 a 5 %

Samarskita: Es un columbato y tantalato de tierras raras del grupo del itrio, que contiene además proporciones apreciables de uranio, torio, calcio y hierro. De origen también pegmatítico, se presenta en cristales toscos, prismáticos, correspondientes al sistema rómbico y también en forma masiva. Color negro, pardo-negrusco, gris y amarillo, con lustre vítreo brillante y fractura concoidal a subconcoidal. Su dureza es de 5-6, con un peso específico de 4,10-6,18, que depende de su grado de alteración y contenido de tantalio. El contenido en U_3O_8 llega hasta más del 17 % en algunas especies, y el de ThO_2 a más de 3 % .

Euxenita-Policrasa: Se encuentran en pegmatitas graníticas y en sus productos de desintegración. Ambas especies son columbatos y tantalatos de tierras raras del grupo del itrio que incluyen comúnmente apreciable proporción de uranio, torio y tierras raras del grupo del cerio. Integran una serie donde el TiO_2 sustituye al Cb_2O_5 y TaO_5 . Son minerales negros en estado fresco que se hacen pardos y hasta amarillentos por alteración. Su peso específico es de menos de 4 a 5,77 según su grado de alteración y contenido en tantalio. Lustre vítreo y resinoso, de acuerdo a su conservación, con fractura concoidal. Se presentan en cristales prismáticos rómbicos, pero preferentemente al estado masivo.

Su contenido en U_3O_8 es inferior al 10 % y el de ThO_2 cercano al 5 %.

La euxenita se encontraría asociada a la columbita de la mina "Las Tapias", y a ella obedece la radioactividad que acusa ese columbato de hierro y manganeso.

Betafita: Es esencialmente un óxido de columbo, titanio y uranio que contiene, además, en proporción pequeña a moderada, calcio, hierro, tierras raras y tantalio.

Cristaliza en octaedros y posee un color negro a pardo verdoso en estado fresco, y amarillo a pardo amarillento cuando se presenta alterado. De fractura concoidal, tiene un peso específico de 3,75 a 5,25 según su porcentaje en Cb_2O_5 y estado conservación, y una dureza de 4-5,5. El contenido en uranio (U_3O_8) de esta especie sobrepasa el 20 %, con bajo tenor en torio. Es un mineral pegmatítico, encontrado principalmente en Madagascar (Africa).

Davidita: Se trata de un mineral pegmatítico, de composición aún no definida, constituido principalmente por titanio y hierro, con tierras raras (grupo del cerio), uranio, vanadio y cromo. Es masivo, de color pardo oscuro a negro pardusco, de lustre submetálico a vítreo y fractura subconcooidal. Tiene una dureza de 5-6 y un peso específico de 4,5 aproximadamente. Algunos análisis de esta especie registran hasta más del 8 % de U_3O_8 .

Además de los considerandos, se mencionan, por su contenido en uranio, los siguientes minerales de torio:

Monacita: Es el compuesto de torio más importante. Se trata de un fosfato normal de cerio y otras tierras raras, con torio, siendo portador, además, en distinto grado, de hierro, aluminio, calcio, uranio, etc. De color preponderantemente amarillento a pardo claro, se le encuentra generalmente en tablillas prismáticas, monoclinicas, de peso específico 4,6 a 5,3 y dureza 5-5,5. Su contenido en ThO_2 varía entre 5 y 14 %, con menos de 0,5 % U_3O_8 .

Es un mineral accesorio de granitos, gneises graníticos, aplitas y pegmatitas.

Se le encontró en varias pegmatitas que son explotadas por mica en la sierra de la Huerta, en San Juan, constituyendo pequeñas masas de color pardo claro a pardo rojizo. También se ha comprobado su existencia entre los minerales pesados de los aluviones auríferos de Cañada Honda y otros de la sierra de San Luis, como asimismo asociado a granate en el lecho del río Tercero y en otros lugares de la sierra de Córdoba, etc.

Torita: Silicato de torio que en muestras puras registra hasta el 70 % ThO_2 . Su contenido en uranio es del orden del 1 %, llegando a 5 % y más en la variedad uranotorita. Cristaliza en prismas tetragonales, negros, pardos amarillos, verdes, etc. Lustre vítreo en estado fresco, a grasoso si se halla alterado. Su peso específico es de 4,13-6,36 y su dureza de 4,5-5.

La torita y sus variedades se encuentran como un accesorio menor en granito y sienitas, y también en pegmatitas.

Esta especie se presenta en las vetas cuarcíferas de la corrida cerro Rangel-Río de las Burras, en Salta, asociada a torogummita y monacita.

Torianita: Es un mineral de torio que a veces suele contener apreciable porcentaje de uranio, como en las variedades uranotorianita, ya que la uraninita y la torianita constituyen los extremos de una serie más o menos continua, en la que el uranio y el torio se reemplazan mutuamente. Cristaliza en cubos semejantes a los de la uraninita. De color negro, pardo y grisáceo, tiene una dureza de 5-7 y un peso específico de 9, el que baja considerablemente en las variedades alteradas, con un contenido de hasta 30 a 35 % U_3O_8 . Es un mineral pegmático y se lo encuentra, además, entre los pesados de aluviones.

Finalmente, se hace referencia a la *cyrtolita*, una variedad de zircón con más de 1 % de UO_3 , en algunos casos. Es un silicato de circonio, donde este elemento es sustituido, entre otros, por uranio y torio. Se presenta en prismas alargados, cuadrangulares, tetragonales, de color comúnmente amarillo, gris pálido, rojo, etc. En es-

tado fresco tiene una dureza de 7,5 y un peso específico de 4,6. Por lo general es fluorescente, con colores vivos, amarillo o amarillo oro. El zircón constituye un mineral accesorio de granitos, esquistos, gneises, calizas cristalinas, pegmatitas, etc. Se le halla en aluviones, asociado estrechamente a la monacita.

"Gummita": No tiene fórmula química definida; en general consiste en grandes proporciones de uranio hexavalente en combinación con cantidades subordinadas de plomo y agua, con presencia de torio y tierras raras, cuando deriva de uraninita o pechblenda portadora de dichos elementos.

Se presenta en masas redondeadas y achatadas, en costras y también en cubos, en pseudomorfosis según uraninita, con colores anaranjados, amarillentos, verdosos y pardo claros.

Fractura concoidal a desigual, con lustre comúnmente mate o graso y ocasionalmente vítreo.

Dureza 2,5-3, según su grado de hidratación, y peso específico 3,9-6,4 de acuerdo a su porcentaje en uranio y otros elementos acompañantes.

Su contenido en uranio alcanza en algunas especies a más del 80 % UO_3 .

Constituye uno de los minerales más comunes de uranio y se le halla estrechamente asociado a la uraninita y la pechblenda.

En nuestro país se lo ha encontrado en numerosas pegmatitas de la parte alta de la sierra de Comechingones (Córdoba), así como también en la sierra de San Luis y otros lugares. De la mina "Angel", sita en la primera sierra, se han extraído núcleos de hasta 4 kg de "gummita" anaranjado-amarillenta con restos oscuros de

uraninita alterada, rodeados de muscovita y de compuestos secundarios de uranio. En su masa se observan guías de uranofano y cristales chicos de zircón.

En muestras procedentes de la quebrada del Tigre, se presenta gummita anaranjada como una fina capa de 1 a 2 mm de espesor, recubriendo a masas o cristales de uraninita, pudiendo existir asimismo variedades de colores amarillos y pardo claros.

Análisis efectuados por Dr. A. Chaudet:

	1	2	3	4
Peso específico	no det.	4,10 %	4,20 %	no det.
Pérdida al rojo	6,10 %	8,80 %	7,00 %	11,00 %
Insoluble	3,80 „	3,04 „	2,50 „	13,00 „
UO ₂	no det.	0,81 „	no det.	no det.
UO ₃	82,19 „	80,97 „	78,13 %	62,91 „
ThO ₂ y tierras raras	0,40 „	2,15 „	0,0 „	0,87 „
PbO	6,93 „	5,20 „	10,92 „	7,90 „
CaO	1,61 „	vest.	1,10 „	4,60 „
P ₂ O ₅	vest.	vest.	no det.	0,15 „
	101,06 %	100,97 %	99,70 %	100,43 %

1. Variedad anaranjada, mina "La Chiquita" (Córdoba).
2. Variedad anaranjada amarillenta, mina "Angel".
3. Variedad amarilla, quebrada del Tigre.
4. Variedad parda clara, quebrada del Tigre.

Uranofano: Es un mineral muy difundido, que se presenta como un producto de alteración de la "gummita" y éste a su vez — como se dijo — de la uraninita o pechblenda y se encuentra asociado a autunita, torbernita y a otros minerales de uranio.

Trátase de un silicato hidratado de calcio y uranio que teóricamente contiene más de 66 % UO_3 .

Se le observa en agregados de diminutos prismas rómbicos dispuestos radialmente o en forma estrellada, siendo también masivo; su color es amarillo limón a amarillo paja y amarillo verdoso pálido a amarillo anaranjado.

De lustre de perla a graso, muestra clivaje según (100), posee una dureza de 2-3 y un peso específico de 3,81-3,90.

Este mineral no reacciona siempre a la luz ultravioleta y cuando lo hace da una fluorescencia pálida verdosa.

Ha sido encontrado en diversos yacimientos y manifestaciones del país. Acompaña, en mayor o menor grado, a la "gummita" y otros productos de alteración de la uraninita en las pegmatitas de las sierras de Córdoba y San Luis.

Es el mineral supergénico más importante de los yacimiento "Santa Brígida" y "San Victorio", cercanos a Sañogasta, La Rioja, donde en el primero de ellos apareció al costado de una guía de calcita formando una faja de varios centímetros de espesor. Areas ricas de este mineral se presentaron también en el yacimiento "San Victorio" y en "San Sebastián", las que registraron leyes de hasta 33 % U_3O_8 . El uranofano de estos yacimientos suele venir acompañado de tyuyamunita.

En igual sentido, representa el compuesto principal de las menas de los yacimientos "Papagayos", "Soberanía" e "Independencia", cercanos a la ciudad de Mendoza, donde se asocia, en los niveles superiores, con schrockingerita, yeso, etc. Allí se le observa como una

delgada cutícula recubriendo fisuras de cuarzo y también en la masa a veces brechosa del mismo.

Finalmente, se menciona su participación exclusiva en el yacimiento de fluorita fétida, de la veta negra de la mina "La Estela" (ex "La Marquesa"), donde en forma de agregados fibrosos, radiados, existe en grietas y fisuras de la fluorita, así como también impregnando el granito de la roca de caja.

Un análisis de una muestra extraída de "San Victorio" arrojó el siguiente resultado (efectuado por el doctor Carlos G. Gordillo):

SiO ₂	13,25 %
UO ₃	56,01 „
H ₂ O	13,85 „
CaO	5,00 „
MgO	0,08 „
PbO	3,00 „
CuO	0,48 „
ThO ₂ y tierras raras	3,20 „
Otros elementos	3,96 „
	<hr/> 98,83 %

Autunita y metaautunita: Son fosfatos hidratados de calcio y uranio; la autunita contiene teóricamente doce moléculas de agua, en tanto que la metaautunita, la especie más común, ocho. Esta última registra un contenido teórico en UO₃ de 62,6 %.

Se presentan en delgadas y gruesas tablillas basales rómbicas o en masas de aspecto micáceo, cuyos individuos muestran secciones cuadradas o rectangulares. Con lustre de perla y color amarillo limón o azufre y tam-

bién verde manzana, posee una dureza de 2-2,5 y un peso específico de 3,1.

Expuestas a la luz ultravioleta dan comúnmente una fluorescencia brillante amarilla o amarilla verdosa.

Estos minerales se encuentran en la zona de oxidación de la mayor parte de los yacimientos de uranio y derivan de la alteración de uraninita, pechblenda, "gummita", uranofano, etc.

La autunita ha sido determinada en diversas pegmatitas uraníferas de la sierra de Comechingones (Córdoba), como ser en las minas "Ángel", "La Chiquita", "Cerro Blanco", etc., donde impregna masas de muscovita, feldespato y cuarzo.

También se la observa alrededor de los nódulos de uraninita y "gummita". Forma cristales tabulares muy delgados, de color amarillo vivo, que a veces se agrupan en costras o películas.

Se presenta accidentalmente en el mineral de "Papaayos", asociada a malaquita, e incluso en el yacimiento "Huemul". Mayor es su participación en la mina de "La Estela" (ex "La Marquesa"), donde aparece en venitas y en impregnaciones de uranofano.

En cantidades que revistan cierta importancia, se le encontró en Cañadón Gato (Chubut), como delgadas películas en un material tobáceo arcilloso que rellena grietas que afectan formaciones del Eoceno, como así también en forma de impregnaciones en areniscas y limos.

Torbernita y metatorbernita: Son fosfatos hidratados de cobre y uranio, con un contenido en moléculas de agua igual al indicado para la autunita y metaautunita.

El porcentaje teórico en UO_3 de la metatorbernita, la especie más común, es de 61,01 % UO_3 .

Su modo de presentarse es similar al descripto para los fosfatos hidratados de calcio y uranio.

Su color es verde esmeralda, registrándose también otras tonalidades. De lustre de perla, con dureza 2-2,5 y peso específico 3,4-3,6, no siempre acusa fluorescencia y cuando lo hace es débil y de color verdoso.

Como la autunita y metaautunita, estos compuestos son muy comunes entre los minerales supergénicos de uranio. No es común en las pegmatitas, pero sí puede serlo en los depósitos típicos de pechblenda que contienen calcopirita y otros sulfuros de cobre.

En el yacimiento "San Victorio" se comprobó la presencia de torbernita, en pequeñas cantidades, asociada a uranofano, y también en Cañadón Gato (Chubut).

Schroëckingerita: La presente mención de este raro mineral obedece al hecho de que el mismo se ha presentado en cantidades de cierta consideración en algunas áreas de los niveles superiores de los depósitos "Papayos", "Soberanía" e "Independencia", sitios en las proximidades de la ciudad de Mendoza. Tiene un color amarillo a amarillo verdoso, un lustre perla, un peso específico de 2,51 y una dureza de 2,5-3. Expuesto a la luz ultravioleta da una fluorescencia brillante verde amarillenta.

La *schroëckingerita* es una sal compleja de fórmula aproximada $\text{Ca}_3\text{Na} \cdot (\text{UO}_2) \cdot (\text{CO}_3) \cdot (\text{SO}_4) \cdot \text{F} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, con un porcentaje en U_3O_8 de 30,5 % en la variedad pura.

En los yacimientos citados, este mineral acompaña estrechamente al uranofano. Se le observa en cristales tabulares (010) de secciones cuadrangulares y hexago-

nales de 0,5 a 5 mm de diámetro, aislados o agrupados en rosetas, como así también en costras globulares, tapizando paredes de grietas en cuarzo o bien en las oquedades del material arcilloso y areniscas de la roca de caja.

Carnotita-Tyuyamunita: Son vanadatos hidratados de uranio y potasio (carnotita) y de uranio y calcio (tyuyamunita), de los cuales la especie citada en primer término es la más abundante.

La carnotita se presenta generalmente como un mineral terroso compuesto de agregados de material criptocrystalino, en costras delgadas globulares y raramente en costras cristalinas de individuos tabulares o micáceos, pertenecientes al sistema rómbico.

De color verdoso amarillento a amarillo limón, con lustre opaco a perla, posee una dureza de 2-3 y un peso específico aproximado de 4. No es fluorescente.

Su contenido teórico en UO_3 es de 63,41 %, con 20,16 % V_2O_5 .

Constituye la especie más importante de muchos depósitos uraníferos del Plateau del Colorado (EE. UU. de Norteamérica), donde aparece como material cementante de areniscas y también en masas reemplazando a restos de troncos, ramas, huesos, etc.

La tyuyamunita, semejante a la carnotita, con quien a menudo se la asocia, como ser en algunas localidades del Plateau del Colorado, tiene un color amarillo ligeramente más verde que aquélla. De dureza 2-3 y peso específico 3,7-4,4 no da fluorescencia y si lo hace, ésta es débil, de color verde amarillento.

Su contenido en agua es variable, como en el caso de la carnotita y oscila entre ocho y diez moléculas. El por-

centaje teórico en UO_3 , calculado con ocho moléculas de agua, es de 59,97 %, con 19,06 % V_2O_5 .

La carnotita constituye la principal especie de uranio del mineral superficial del yacimiento Huemul-Agua Botada (Mendoza). Se la observa como delgadas películas amarillentas asociadas, principalmente, a compuestos oxidados de cobre (malaquita y azurita) y oxidados de hierro, recubriendo la superficie de los rodados y también en el material cementante del conglomerado urano-cuprífero de ese yacimiento. Dentro del citado conglomerado, existe, asimismo, una masa terrosa irregulares, chicas, muy ricas en carnotita, con tenores de hasta el 20 % U_3O_8 . Además, se le halla impregnando indistintamente areniscas de grano mediano a fino y también formando especies de guías bastante ricas en este mineral.

Este mineral se presenta además, como delgadas películas, en las lutitas calcáreas de las manifestaciones de La Cienaguita, Catamarca, y en los sedimentos arenos-arcillosos, de Cosquín, Córdoba, en forma de pequeños nódulos.

La existencia de tyuyamunita se ha comprobado en el yacimiento de cerro Huemul, donde acompaña a la carnotita y también en la mina "San Victorio".

Análisis practicados por el Dr. Carlos G. Gordillo, sobre muestras de Cerro Huemul:

	<i>Carnotita</i>	<i>Tyuyamonita</i>
UO_3	62,30 %	57,30 %
V_2O_5	20,00 „	18,90 „
K_2O	8,10 „	0,70 „
CaO	1,40 „	5,20 „
H_2O	7,50 „	17,70 „
Na_2O	0,70 „	0,20 „
	<hr/> 100,00 %	<hr/> 100,00 %

III

ENSAYOS PARA DETERMINAR URANIO EN MINERALES

Los ensayos que pueden realizarse, tendientes a comprobar la existencia de uranio en muestras sospechosas, son los que a continuación se indican:

- a)* Ensayo de radioactividad;
- b)* Ensayo autoradiográfico;
- c)* Ensayo de fluorescencia;
- d)* Ensayo de fluorescencia a la perla;
- e)* Ensayo químico.

El reconocimiento macroscópico de las muestras permite, en algunos casos, orientar e incluso afirmar si las mismas contienen o no uranio, sobre todo si el observador es avezado en la materia y si en dichas muestras los compuestos uraníferos presentan cierto grado de pureza. No obstante ello, siempre es conveniente para tener una mayor seguridad, llevar a cabo algunos de los ensayos citados, máxime cuando se trata de minerales impuros o de leyes relativamente bajas, como acontece en la mayoría de los casos.

a) ENSAYOS DE RADIOACTIVIDAD: Las propiedades radioactivas del uranio y el perfeccionamiento alcanzado en la construcción de aparatos para detectar radioactividad, hacen posible la determinación de este elemento

con mucha más facilidad con el método del epígrafe que con cualquier otro, si bien cabe recordar que el torio es también radioactivo y que la distinción entre ambos elementos no es sencilla, ni aún por la vía química.

Los aparatos más comunes utilizados a tal efecto son los detectores de radioactividad Geiger-Müller y los "scintilómetros".

La parte fundamental de un detector portátil Geiger-Müller es el tubo homónimo que detecta las radiaciones de las sustancias radioactivas; el resto del aparato es un circuito electrónico, semejante al de los aparatos de radio, que amplifica y registra las radiaciones recibidas por el mencionado tubo Geiger-Müller, poniéndolas de manifiesto por intermedio de un teléfono o por un dispositivo medidor (fig. 1).

Pilas secas suministran las corrientes que alimentan al tubo y a las válvulas del amplificador. Estas últimas requieren bajo voltaje y las pilas destinadas a tal fin se consumen con relativa rapidez si el aparato se encuentra en uso. Una alta tensión, generalmente del orden de los 900 a 1.000 voltios, se hace necesaria para alimentar al tubo Geiger-Müller y es provista por una batería más grande que la requerida por las válvulas de amplificación. Su desgaste, considerando un uso adecuado del detector, es relativamente pequeño. En algunos aparatos la última batería citada es más pequeña y de menor voltaje por estar asociada a un sistema vibrador-transformador-rectificador que suministra la alta tensión necesaria.

Gran parte del volumen y del peso total del aparato se debe, en muchos de los modelos de detectores de

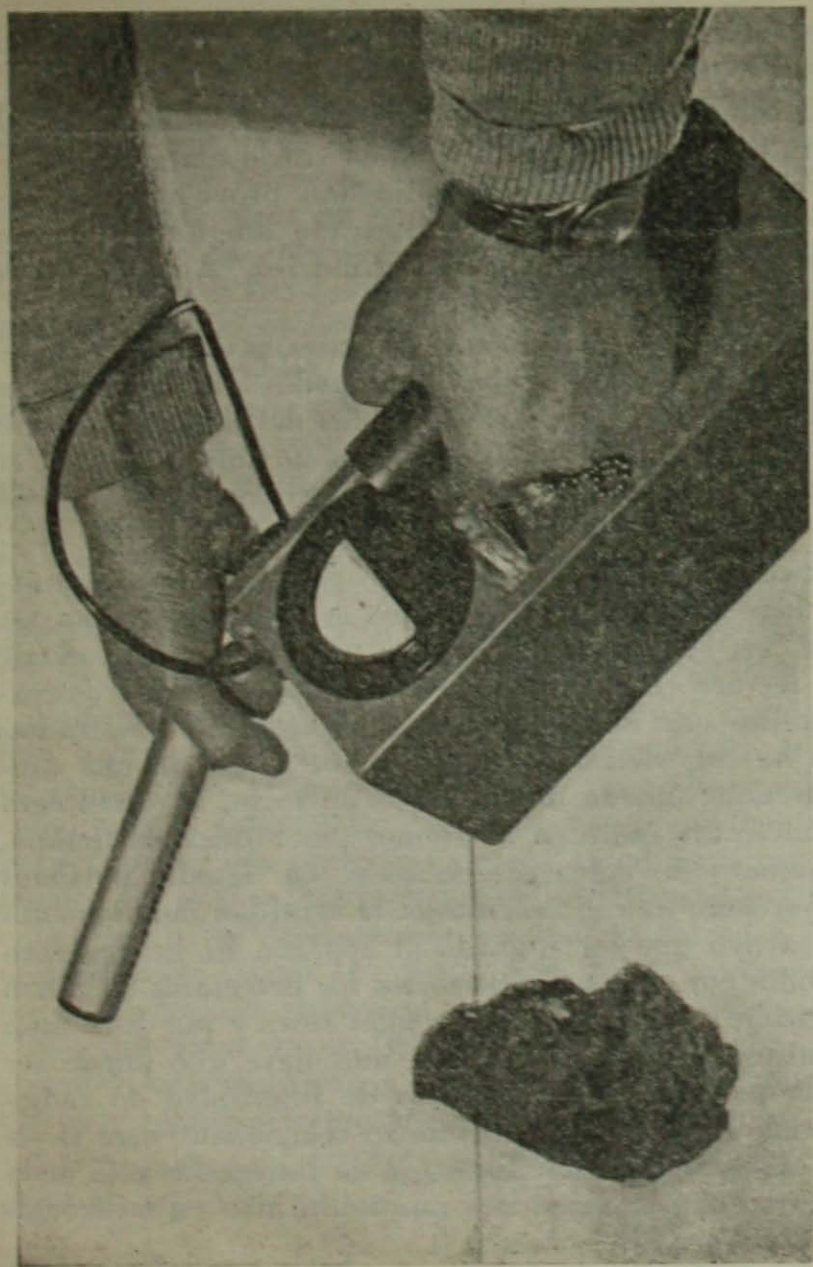


Fig. 1—Utilización de un detector Geiger-Müller para comprobar la radioactividad de un mineral.

referencia, al número de pilas secas que debe llevar el mismo.

El tubo Geiger-Müller o “contador” — el corazón del aparato — consiste en un tubo de vidrio alargado, cilíndrico, cerrado en sus extremidades, provisto en su interior de un hilo metálico centrado longitudinalmente y de un electrodo de metal, cilíndrico. Algunos tubos son enteramente metálicos.

El tubo lleva una mezcla de gases y vapores orgánicos que tienen la misión de impedir que la descarga de alta tensión entre los electrodos del mismo continúe por más de una fracción de segundo. Con el tiempo, la mezcla mencionada pierde su efectividad y los tubos deben ser reemplazados.

Encontrándose el aparato en operación, cada descarga entre los electrodos del tubo es registrada como un “clic” en el teléfono, o bien se acumula para producir una lectura en el instrumento registrador. Cada descarga indica que un átomo se ha desintegrado y su radiación ha sido detectada por el tubo. Como en una cantidad determinada de uranio o de torio, se desintegra una definida cantidad de átomos por unidad de tiempo, el número de descargas recibido en iguales períodos proporciona una indicación de la cantidad del elemento radioactivo que ha afectado al aparato. El instrumento medidor con que están provistos los detectores de cierta precisión sirve para cumplir tales fines y por lo común el mismo está conectado con una llave que puede ser usada para leer varias escalas de intensidad de radioactividad, las que usualmente se relacionan entre sí según el factor 10. La calibración de las escalas está dada en impulsos por segundo o minuto, o bien en miliroentgen por hora.

La mayor parte de los detectores tienen las baterías de amplificación del circuito y del tubo Geiger-Müller, como así también el instrumento medidor, si lo lleva, dentro de una caja metálica. Cuando el tubo está en dicha caja, se encuentra preferentemente en el fondo de la misma, lugar en cuya cercanía inmediata deben ser colocadas las muestras a investigar. En otros modelos, el tubo se halla afuera, a modo de sonda, unido por un cable al circuito del aparato.

Los detectores del tipo de centelleo o “scintilómetros” están basados en el hecho de que las partículas alfa, beta y los rayos gamma pueden causar microscópicos destellos de luz al incidir sobre ciertas sustancias cristalinas naturales o artificiales. Por ejemplo, el sulfuro de zinc activo reacciona sólo a las partículas alfa, mientras que otros, como ser el ioduro de sodio y diversos compuestos orgánicos, son muy eficaces detectores de gamma y beta-gamma, respectivamente (fig. 2).

Por medios apropiados es posible contar los destellos, o bien registrarlos en un instrumento. El cristal centelleante es el detector primario en estos aparatos, como lo es el tubo en los detectores Geiger-Müller, pero para registrar los centelleos de luz en el circuito electrónico es preciso convertirlos en impulsos de electricidad, lo que se consigue por intermedio del tubo fotomultiplicador fijado al cristal. Este tubo produce impulsos de tensión altamente amplificados por cada centelleo que tiene lugar. El resto del circuito de estos aparatos está destinado a obtener una mayor amplificación y registro de los impulsos eléctricos.

Los “scintilómetros” son mucho más sensibles que los detectores Geiger-Müller y, en consecuencia, ofrecen

ventajas sobre aquéllos en todo sentido, si bien cabe señalar que su costo es elevado.

Los aparatos de referencia detectan o son sensibles a un alto porcentaje de la radiación gamma incidente, mientras que los detectores Geiger-Müller sólo tienen una sensibilidad del 1 % de toda la radiación percibida. Por otra parte, al ser aptos para captar rayos gamma de baja energía, resultan de mucha utilidad en la prospección de ciertos minerales de uranio no detectables por los aparatos Geiger-Müller, salvo algunos tipos especiales de alta sensibilidad.

Una vez que los aparatos considerados se ponen en funcionamiento, los mismos acusarán una pequeña intensidad de radioactividad aún en ausencia de materiales radioactivos, la que se denomina de "fondo" (background) y es originada por efectos de la radiación cósmica y de otras fuentes, y acerca de las cuales se volverá a hablar en el capítulo "Uso del detector Geiger-Müller y del scintilómetro en prospección".

Independientemente de la utilización que dichos aparatos tienen en la comprobación cualitativa del uranio en muestras a investigar, los mismos, si disponen de instrumentos de medición directa, pueden ser empleados en la determinación, por supuesto aproximada, del contenido de dicho elemento. Para ello la o las muestras a ensayar se comparan con muestras "patrones" o "standard", de conocido tenor en uranio y en lo posible libres de torio.

En esta operación debe partirse de muestras que ofrezcan iguales condiciones de molienda; se toma también igual cantidad de mineral, tanto de la muestra a ensayar como de la muestra "standard", las que se colocan en recipientes que tengan la misma superficie de expo-



Fig. 2.— Utilización de un detector de centelleo ("scintilómetro") para comprobar la radioactividad de un mineral.

sición. Por último, las lecturas correspondientes a la intensidad de radioactividad en uno y otro caso se efectuarán colocando las muestras a igual distancia y posición con respecto al aparato (detector Geiger-Müller o scintilómetro) que se emplee. Por comparación de lecturas se tendrá una idea aproximada del contenido en uranio del mineral investigado.

La ejecución de esta tarea en campaña proporciona al técnico un apreciable elemento de juicio, que, dentro de los errores que este método pueda ofrecer, le permite, mucho antes de que reciba el análisis químico de las muestras, orientar los trabajos que desarrolla en la investigación de un yacimiento.

b) ENSAYO AUTORADIOGRÁFICO: Es conocido el hecho de que las radiaciones y partículas emitidas por minerales radioactivos son capaces de impresionar, por exposición, la emulsión de placas fotográficas. En este principio se basa un método simple para comprobar la presencia de uranio y torio en minerales y rocas y también para su localización en muestras de especies radioactivas. La impresión fotográfica es debida principalmente a los efectos de las partículas beta y rayos gamma y depende del grosor del papel que envuelve a la placa o al film (fig. 3).

Se pueden utilizar indistintamente placas o films fotográficos, pero es indispensable que los mismos estén protegidos de la luz. Si se dispusiera de un film, se corta en trozos del tamaño que convenga a los fines perseguidos y se introducen en un sobre confeccionado con papel negro fotográfico, dentro del cual permanecerá hasta su revelación. Es conveniente conservar cerrados dichos sobres en cajas a prueba de luz y mante-

nerlos bien alejados de cualquier mineral o fuente radioactiva.

Si se parte de minerales pobres en uranio o en torio, conviene efectuar una concentración previa de los mis-

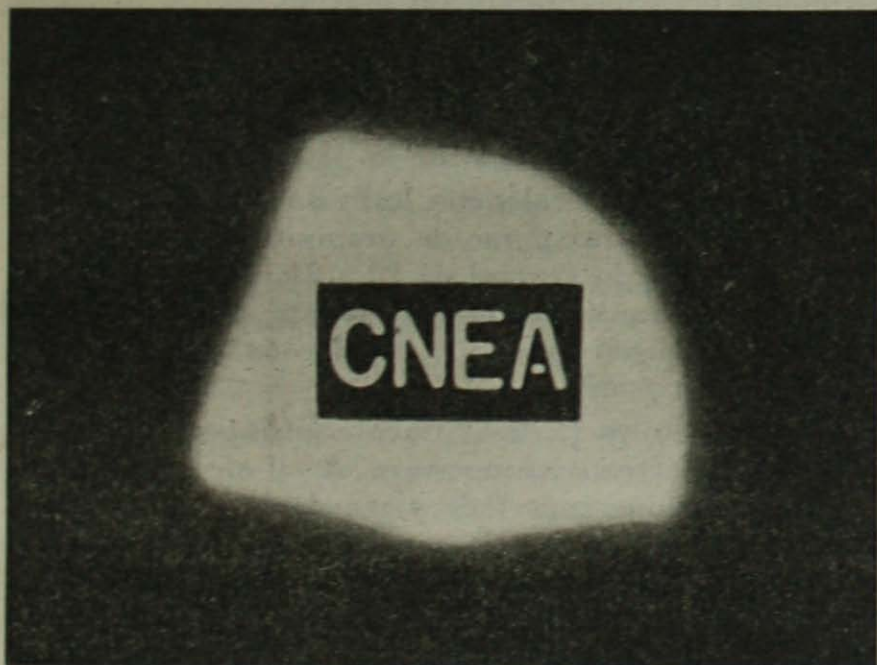


Fig. 3.—Impresión de una placa fotográfica con un trozo de "gummita" y uraninita alterada procedente de la sierra de Comechingones (Córdoba). El sector negro central no impresionado se obtuvo mediante la interposición de una delgada chapa de bronce perforada entre el mineral y la placa fotográfica. Exposición : 48 horas.

mos, debido a que el efecto de la radioactividad sobre la placa o film es muy lento. En tal sentido, se aconseja separar la roca o ganga que acompaña a los minerales y, en el caso de especies pesadas, concentrar la

muestra, una vez molida, al plato o bien a la poruña, como si se tratara de un material aluvional aurífero.

Para hacer el ensayo, el sobre cerrado a que se hizo referencia deberá ser colocado sobre una superficie plana, donde permanecerá sin ser movido.

Encima se colocará un metal plano, como ser una llave, moneda o cualquier otro objeto similar, y sobre él el mineral a ensayar, cuidando de que la muestra no cubra toda la superficie de la placa o film.

Partiendo de minerales con leyes de 70 a 90 % U_3O_8 , esto es, de muestras puras de uraninita o pechblenda, se necesitan por lo general de 20 a 24 horas. A menor contenido en uranio, mayor es el tiempo requerido para lograr una imagen nítida, llegándose en algunos casos a una semana y más.

Este método es particularmente útil para localizar especies radioactivas en muestras. A tal efecto, se aconseja preparar una superficie plana de la muestra a investigar, ya sea cortándola con un disco a diamante o bien por desgaste con carborundum. Una vez lavada y secada dicha superficie, se coloca directamente sobre el lado de la emulsión y con un lápiz o una punta se traza el contorno de la muestra. Una vez revelada la placa o el film, indicará la posición de los minerales radioactivos en la superficie de la muestra.

c) ENSAYOS DE FLUORESCENCIA: Es aplicable tan sólo a aquellas especies que, expuestas a la luz ultravioleta, producen fluorescencia, en grado variable, de colores amarillos o verdosos. La pechblenda y uraninita, como así también otros minerales primarios, no reaccionan a la luz ultravioleta,

Los compuestos que pueden ser reconocidos por esta vía son comúnmente de naturaleza secundaria y no siempre acusan el mismo grado de fluorescencia, debido a impurezas que suelen contener. Su utilización, como en el caso de minerales de tungsteno (scheelita), es muy útil en tareas de explotación de minerales de marcada fluorescencia.

En realidad pocas son las especies que acusan esta característica, por lo menos en un grado tal que permita el empleo de la luz ultravioleta con fines de identificación.

En la lista siguiente se indican los compuestos que registran fluorescencia llamativa:

<i>Especie</i>	<i>Fluorescencia</i>
Autunita-Metaautunita	Brillante amarillo o amarillo verdoso
Uranocircita ($\text{BaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) .	Brillante amarillo verdoso
Zippeita	Opaca verde a verde amarillento
Uranopilita ($6\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)	Brillante verde a verde amarillento.
Uranothallita	Brillante verde azulado
Schroekingierita	Brillante verde amarillento

Muchas otras especies, como ser “gummita”, uranofano, carnotita, tyuyamunita, torbernita, etc., entre las más conocidas, no dan fluorescencia o lo hacen en grado muy débil.

d) ENSAYO DE FLUORESCENCIA A LA PERLA: Este método es útil, pues además de ser aplicable a todos los mi-

nerales más importantes de uranio, es tan sensible que permite detectar, en la mayoría de los casos, la presencia de pequeñas cantidades de este elemento.

Está basado en el hecho de que una perla fundida de fluoruro de sodio y fluoruro de litio, en la que se disuelve una reducida fracción de mineral, se vuelve fluorescente al ser expuesta a la luz ultravioleta.

Los elementos que se emplean para llevar a cabo estos ensayos son los mismos que los utilizados en la determinación corriente de los minerales por medio de la perla de fósforo y de bórax, descriptos en cualquier texto de mineralogía.

El mineral que se desea investigar se reduce a polvo fino. Una vez calentado el aro de alambre de platino, se sumerge en la mezcla de los fluoruros mencionados, volviéndose a calentar con el soplete hasta que los mismos se fundan. Se repite esta operación hasta lograr una perla bien fundida; mientras la misma está caliente, se toma con ella el polvo del mineral a ensayar.

La perla es recalentada hasta que todo el polvo de la muestra también se funde, y una vez enfriada ésta, se examina en la oscuridad bajo la luz ultravioleta, obteniéndose una fluorescencia brillante de color amarillo verdoso, si el mineral contiene uranio.

En presencia de minerales de grano fino diseminados en rocas, se aconseja su concentración previa por lavado, siempre que los mismos sean de alto peso específico.

Este método tiene sus limitaciones, ya que, compuestos como la monacita y la allanita, de elevado contenido en cerio y bajo en uranio, no dan perlas fluorescentes, mientras que el tungsteno o columbio pueden producir débil fluorescencia azulada en las mismas.

En condiciones óptimas y en ausencia de apreciables proporciones de elementos que decoloran la perla (Pb, Cu, Fe, Mn), se pueden detectar minerales con leyes muy bajas de hasta 0,05 % U_3O_8 .

Kauffman recomienda un método fluorimétrico cuantitativo para el dosaje del uranio en campaña. El mismo consiste en extraer 1 ml de solución procedente de un ataque con ácido nítrico concentrado o diluído, de una muestra que pueda contener 5-50 milésimos de U_3O_8 con 10 ml de acetato de etilo, en presencia de 15 ml de una solución a base de ácido nítrico, nitrato de calcio y nitrato de magnesio que favorecen el pasaje del uranio al acetato de etilo.

Se agita por espacio de un minuto y se dejan separar las fases; luego se toma 0,1 ml de la fase solvente (acetato de etilo) y se vierte sobre aproximadamente 370 mg de fluoruro de sodio en cápsulas de platino.

Se funde y se observa la fluorescencia comparándola con muestras "standards", preparadas en la misma forma.

e) ENSAYO QUÍMICO: Se conocen numerosos métodos químicos para determinar uranio, pero ninguno es aconsejable para realizar en campaña, debido al número de reactivos que requiere y también a la dificultad de llevar a solución algunos de los minerales de uranio.

El método que se recomienda, por su simplicidad y sensibilidad, es el que a continuación se describe:

Una pequeña porción del mineral finamente molido se disuelve en ácido clorhídrico, o, si el mismo no fuera soluble en ácido, se funde en el aro de un hilo de platino con carbonatos de sodio y potasio. El producto de fusión es disuelto en HCl, llevado a seco y lavado

con algunas gotas de ácido clorhídrico diluído. Una gota del filtrado es tratada con otra de una solución al 10 % de tiosulfato de sodio que reduce los iones férricos y cúpricos.

Luego se agrega una gota de solución al 3 % de ferrocianuro de potasio, y si el mineral contiene uranio se advierte una coloración parda o un precipitado, según la concentración de este elemento.

Este método es muy sensible si la muestra no contiene elementos que puedan interferir y da resultados positivos en minerales con leyes arriba del 0,20 %, siempre que los mismos no lleven incluídas cantidades apreciables de vanadio, en cuyo caso es aplicable para muestras con más de 0,5 % U_3O_8 .

IV

POSICION GEOQUIMICA DEL URANIO

El uranio es un elemento ampliamente difundido en la corteza terrestre, en una proporción que supera la de otros más conocidos. En efecto, de conformidad con cálculos establecidos acerca de la distribución de los elementos en la litósfera, el uranio, en las rocas ácidas, sería aproximadamente 1.000 veces más abundante que el oro, 100 más que la plata e igual, quizás, que el contenido en estaño y molibdeno. No obstante lo manifestado, son relativamente escasas las acumulaciones que por el momento pueden ser explotadas económicamente, debido en general al bajo tenor en este metal de los materiales que lo encierran.

En el ciclo eruptivo, el uranio alcanza su mayor concentración en la faz hidrotermal, aunque debe señalarse que está presente asimismo en la cristalización inicial y en el proceso de deposición pegmatítica del mismo.

Mientras que el torio, elemento asociado estrechamente al uranio, no adquiere importancia más allá de la faz pegmatítica, éste, en cambio, encuentra las condiciones favorables de precipitación en las soluciones acuosas, juntamente con otros metales, tales como níquel, cobalto, plata, etc.

El uranio es un elemento de la litósfera y no tiene tendencia siderófila ni calcófila, admitiéndose, en consecuencia, que no desempeña ningún papel ni en la

capa oxisulfurada de la tierra ni en su núcleo central (Nife).

Numerosos análisis de meteoritos pétreos (condritas) han demostrado la existencia de uranio en el orden de $3,6 \times 10^{-5} \%$, en tanto que en las sideritas la proporción es más pequeña aún.

En la cristalización inicial del magma, vale decir, en el período que corresponde a la deposición de los minerales accesorios de las rocas eruptivas, tanto el uranio como el torio toman parte en la composición de algunos de ellos, en grado variable, asociados a tierras raras, como ser en la monacita y la allanita u ortita (un silicato complejo portador de cerio y torio).

Los primeros elementos citados tienen preferencia por magmas ácidos, disminuyendo su contenido a medida que decrece el porcentaje silíceo de las rocas.

Según Evans y Goodman, el gas del radio, radón: $^{226}_{86}$ Em y el gas del torio, torón: $^{220}_{86}$ Tn (isótopos de emanación), medidos en gran número de rocas de distintos tipos, indican los siguientes pesos promedios de uranio y torio contenido:

<i>Tipo</i>	<i>U %</i>		<i>Th %</i>	
Rocas ácidas	0,0003	— 0,00003	0,0013	— 0,0002
Rocas intermedias..	0,00014	— 0,00002	0,00044	— 0,00012
Rocas básicas	0,000096	— 0,00001	0,00033	— 0,00007

Los granitos son las rocas eruptivas que contienen mayor proporción de uranio y torio, pero en cantidades tan extremadamente bajas que no llegan a constituir menas, aun cuando las reservas en sí de esas enormes masas sean de consideración.

Algunos cuerpos de granitos registran 0,003 y hasta 0,01 % de U_3O_8 "equivalente a la actividad beta".

Otra información al respecto señala que los granitos de la corteza terrestre contienen en promedio casi 4 gramos de uranio y 13 gramos de torio por tonelada. La relación U : Th parece variar con la acidez de las rocas, siendo de más o menos 1 : 3 en los verdaderos granitos y 1 : 4 en las rocas menos ácidas. Al respecto debe destacarse, sin embargo, que una apreciable proporción del total de la actividad beta y gamma que se registra en las mediciones, se debe al potasio (K_{40}) contenido en los feldespatos, lo que contribuye a disminuir los tenores señalados para el uranio-torio.

Por otra parte, la radioactividad de los granitos procede de sus minerales accesorios, tales como zircón, titanita, monacita, allanita, apatita, etc., los que constituyen inclusiones activas, principalmente en la mica oscura y quizás también en los casos de granito pegmatítico, de la existencia de uraninita, torita o uranotorita. Los halos pleocroicos que se observan en la biotita se deben a efectos de la radioactividad del zircón.

La precipitación del uranio y torio contenidos en el magma, que se inicia — como ya se expuso — con la deposición de sus minerales accesorios, se interrumpe prácticamente en el proceso de cristalización de sus compuestos principales, vale decir, de los feldespatos, cuarzo, etc., para volver en mayor grado de concentración en la faz pegmatítica del mismo.

Es en dicho período cuando culmina la precipitación del torio y de las tierras raras, a los que se unen también el uranio y en particular elementos típicos de las pegmatitas, como son el columbio, tantalio, litio y berilio. Los minerales depositados en esta faz, en especial

los de uranio y torio, que son los que nos interesan, tienen una composición muy variada, que va desde simples óxidos, por ejemplo la uraninita (UO_3) y la torianita (ThO_2), hasta óxidos múltiples, a saber, aquellas combinaciones complejas constituídas principalmente por óxidos de columbio, tantalio, titanio, etc., como la microlita, fergusonita, euxenita, samarskita, etc.

Durante este proceso del ciclo eruptivo no llegan a formarse, por lo general, concentraciones que revistan importancia, debido a las características propias de las pegmatitas, ya que los minerales en cuestión representan componentes accesorios de las mismas.

Siguiendo el proceso de diferenciación del magma, el uranio adquiere su mayor importancia en la faz hidrotermal, en la que termina el ciclo primario de dicho elemento. El torio está asimismo presente pero en cantidades subordinadas. Vetas de cuarzo portadoras de minerales de torio se conocen en los EE. UU. de Norteamérica y en otros lugares y también en la Puna salteña y jujeña, en la zona de Rangel y su prolongación septentrional.

En este período de soluciones acuosas, portadoras también de otros metales, el elemento en cuestión se presenta casi exclusivamente al estado de pechblenda como un compuesto de deposición temprana, intermedia o tardía, según el tipo de yacimiento a que pertenece.

Dentro del conjunto de yacimientos hidrotermales, el uranio se encontraría en ciertos depósitos de carácter hipotermal, como serían algunos de Alemania y los de Cornwall, en Inglaterra, pero su ubicación preferencial es en los mesotermiales, es decir, en aquellos formados en condiciones de temperatura y presión moderadas;

en los epitermales el uranio estaría, al parecer, presente en cantidades que no revisten mayor importancia.

En este tipo de acumulaciones hidrotermales muestra por lo común una tendencia a asociarse marcadamente — aunque no siempre es posible generalizar — con elementos como el níquel, cobalto, plata y bismuto, en combinaciones con azufre y arsénico, en ganga predominante de cuarzo, carbonatos y fluorita.

Estos yacimientos se relacionarían preferentemente a rocas ácidas y corresponderían estructuralmente a vetas originadas como relleno de fracturas y fallas, con escasos fenómenos de reemplazo en la roca de caja.

Los óxidos de uranio son alterados fácilmente por los agentes meteóricos, como lo son también, aunque en menor grado, los minerales complejos uraníferos de columbio, tantalio y titanio. Durante estos procesos de oxidación e hidratación, los óxidos de uranio dan origen, en combinación con otros elementos propios de las menas o bien aportados por soluciones, a una serie de sales (fosfatos, arseniatos, vanadatos, etc.) que, como delgadas partículas e impregnaciones asociadas a otros compuestos meteorizados de las vetas, constituyen su zona de oxidación. Dichos minerales uraníferos suelen impregnar indistintamente la roca de caja y poseen por lo general un color amarillo, con tonalidades a veces verdosas.

Debido a la solubilidad de ciertas sales de uranio en presencia de aguas aciduladas, pueden existir fenómenos de migración de este elemento. Tanto la materia carbonosa como la bituminosa o asfáltica, precipitan con facilidad el uranio contenido en las soluciones circulantes, constituyendo un factor que rige su deposición.

El uranio participa también en el ciclo sedimentario, en grandes cantidades, apareciendo por lo común en forma muy dispersa y en bajas concentraciones.

Se ha comprobado que las aguas de los océanos y de los ríos contienen uranio en pequenísimas cantidades, del orden de 0,36 a $2,3 \times 10^{-6}$ (análisis de fluorescencia directa). La radioactividad de las aguas termales correspondería principalmente al radio.

Asimismo se ha verificado la existencia de radioactividad en los sedimentos oceánicos; las capas más inferiores contienen excesiva proporción de radio, lo que se atribuye posiblemente a la precipitación del sulfato y carbonato de radio insolubles en agua de mar.

En los ambientes continentales, algunas de las sales de uranio, dada su solubilidad, son transportadas a las cuencas de sedimentación (marinas o terrestres), donde pueden precipitar cuando las condiciones les resulten propicias.

En tal sentido, se citan las lutitas uraníferas portadoras de sustancias carbonosas y bituminosas de Suecia, Rusia, Estados Unidos de Norteamérica, etc.

También se menciona la presencia de este elemento en diversos yacimientos de fosfatos de Estados Unidos de Norteamérica y de otros países. El uranio, en el primer caso, podría haber formado parte del material orgánico o bien podría estar adsorbido por las arcillas, en tanto que en el segundo estaría integrando el fosfato tricálcico.

En cuanto a los depósitos de aluviones, esto es, aquellos formados por erosión y concentración mecánica de sus minerales pesados, cabe señalar que, tanto la uraninita como la pechblenda, no llegan a constituir, por lo general, acumulaciones de valor económico, debido a

su escasa dureza y alterabilidad de los mismos. Participan de estos yacimientos, en cambio, los compuestos complejos con columbio, tantalio y titanio, por ser más resistentes. A dichos minerales, como asimismo a otros de torio, corresponde el uranio que se registra en ciertos aluviones.

Además de las condiciones geológicas expuestas en que se originan los depósitos de minerales de uranio, cabe señalar otras posibilidades conducentes a la formación de concentraciones, como ser por fenómenos de lixiviación de sedimentos y materiales volcánicos por aguas meteóricas y posterior precipitación de su contenido en uranio allí donde factores de orden físico-químico son favorables. Esta teoría explicaría el origen de ciertos tipos de yacimientos de carácter secundario y es mantenida por algunos investigadores en lo que concierne a la génesis de algunos yacimientos sitos en el Plateau del Colorado, EE. UU. de Norteamérica.

Por último, debe señalarse que al uranio se lo encuentra también en la materia viviente (bioesfera). Al respecto, se estima la posibilidad de que algunos de los animales marinos lo fijen, tal como ocurre con el vanadio, y que ciertas algas puedan muy bien desempeñar un rol de cierta importancia en la formación de algunos depósitos sedimentarios. Esta hipótesis explicaría, quizás, la presencia del uranio en materiales ricos en hidrocarburos o en materias carbonosas, como lo son el petróleo, asfaltitas, esquistos bituminosos, carbonatos, etc.

V

YACIMIENTOS DE MINERALES DE URANIO

Sin pretender dejar sentada una clasificación precisa de los yacimientos de minerales de uranio, en vista de la duda que aún subsiste acerca del origen de algunos de ellos, como consecuencia de la extensa variedad de condiciones geológicas en las que se han encontrado, a continuación se tratarán someramente los principales depósitos del mundo, señalando sus características más salientes, las que contribuirán a orientar los estudios que sobre el particular se efectúen en el país (fig. 4).

A tal efecto, se agrupan los yacimientos como sigue:

- a) Pegmatitas;
- b) Yacimientos hidrotermales en vetas;
- c) Yacimientos sedimentarios;
- d) Yacimientos en sedimentos arenosos, conglomerádicos y en calizas;
- e) Yacimientos en areniscas asfálticas;
- f) Yacimientos en lignitos y carbones.

Al final de cada uno de estos grupos se hará mención a ejemplos argentinos, indicando sus relaciones geológicas y características de los mismos (fig. 5).

Los yacimientos de uranio se presentan en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, en formaciones de distintas edades, comprendidas desde el Precámbrico

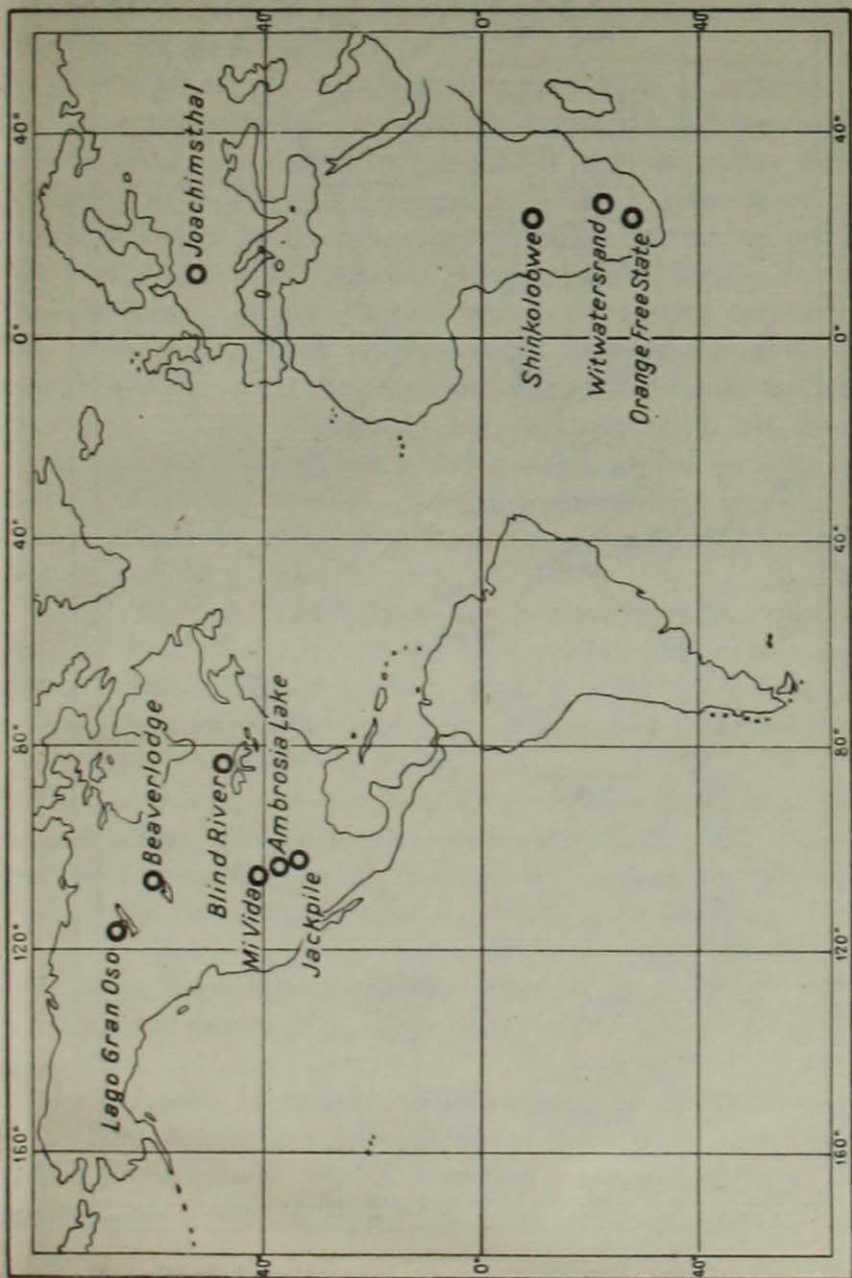


Fig. 4. — Ubicación de los principales centros de producción de uranio del mundo.

hasta el Terciario superior e inclusive hasta el Cuaternario, en los de aluviones.

a) PEGMATITAS: Se trata de pegmatitas graníticas, rocas que representan la primera etapa de diferenciación del magma granítico, originadas a temperaturas de alrededor de 575° y a presiones elevadas. Afloran en granitos y en los sedimentos metamorfizados de su cubierta, constituyendo cuerpos preponderantemente filonianos de muy variado espesor y longitud. Sus componentes principales, que se presentan con grano grueso y pueden alcanzar gran tamaño, entremezclados indistintamente o bien siguiendo un ordenamiento de zonas, son: cuarzo, feldespato y mica (muscovita comúnmente); a ellos se asocian a menudo minerales accesorios, entre otros, de columbio, tantalio, uranio, torio, tierras raras, berilio y litio.

No todas las pegmatitas son portadoras de compuestos de uranio y torio; aquellas pegmatitas o zonas de las mismas, ricas en potasio, tienen más posibilidad de contener uranio, en tanto que son menos favorables las que contienen sodio o litio.

Las pegmatitas con uraninita son rocas ricas en cuarzo y muscovita. El feldespato preponderante es el microclino, acompañado por lo general de escasas plagioclasas.

La muscovita suele estar asociada a la biotita.

Entre otros minerales accesorios de este tipo de pegmatita se mencionan: zircón, allanita, granate y berilo; raramente samarskita, euxenita, monacita y columbita-tantalita.

En Canadá, la uraninita a menudo se halla acompañada de thucholita. Pegmatitas con uraninita, como mineral accesorio, se conocen en diversos lugares del mundo.

Mucho más importantes que las pegmatitas portadoras de uraninita son las caracterizadas por la presencia de columbatos, tantalatos y titanatos de tierras raras y uranio, tales como fergusonita, samarskita, euxenita, betafita y brannerita, a los que se asocian los fosfatos, monacita y xenotima, y los silicatos, torita, zircón y gadolinita. La uraninita es rara. Estas pegmatitas contienen mucho cuarzo y microclino, siendo en ellas la biotita la mica principal. Se conocen rocas de este tipo en Noruega, Rusia, Madagascar, Brasil, EE. UU. de Norteamérica, etc.

En las pegmatitas canadienses se ha observado que la presencia de minerales radioactivos puede ser reconocida por la existencia de áreas de coloración rojiza alrededor del mineral activo, cuando se encuentra en feldespato, o bien por fisuras radiadas en todas direcciones a partir del mineral si se halla en cuarzo, feldespato o mica. Estas observaciones no han podido ser corroboradas en las pegmatitas uraníferas de nuestro país.

Debido a la esporádica y esparcida distribución de los minerales accesorios en las pegmatitas, su producción en uranio es insignificante y de muy elevado costo si no se le recupera como un subproducto en las explotaciones de mica, feldespato, berilo, etc.

Pegmatitas portadoras de uraninita y otros minerales de uranio se conocen en nuestro país, desde hace varios años, en las sierras de Córdoba y de San Luis, y también, aunque de fecha más reciente, en la sierra de Ambato (Catamarca), sierra de Velazco (La Rioja) y sierra de La Huerta (San Juan). Se trata en todos los casos de pegmatitas relacionadas con granitos antiguos,

alojadas en esquistos cristalinos pertenecientes al sistema de las Sierras Pampeanas.

Donde mejor se las ha estudiado es en la sierra de Comechingones (Córdoba), en su parte alta y en el sector comprendido entre las localidades de San Javier y Merlo. Son ricas en cuarzo, feldespato (microclino) y muscovita, con escasa plagioclasa, y encierran uraninita, granate, triplita y raramente gahnita y zircón.

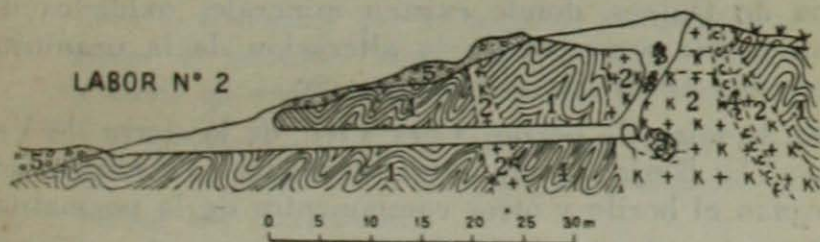


Fig. 6. — Corte de la pegmatita uranífera de la mina "Angel" (Provincia de Córdoba), según Cabeza y Soto. 1 Esquistos cristalinos; 2 Pegmatita; 3 Bolsón uranífero; 4 Cuarzo; 5 Relleno moderno.

La uraninita se presenta en cristales cúbicos aislados o asociados en maclas, o bien en masas chicas, dentro de muscovita o también en granate y hasta en triplita.

Entre los compuestos oxidados de uranio figuran: "gummita" y uranofano, autunita y renardita (?), estos últimos impregnando masas de mica, feldespato y cuarzo, de hasta 20 y más toneladas de volumen. Pertenecen a este tipo de yacimiento la mina "Angel", sita al oeste de Merlo, portadora además de columbita en bolsillos de algunos centenares de kilogramos (fig. 6); la mina "Cerro Blanco" (Los Guardias); la pegmatita de "Al

Fin Hallada", con "gummita" y restos de uraninita en masas de feldespato y cuarzo; la mina "Beatriz" (San Luis), con autunita impregnando mica, etc.

De las sierras de San Luis se citan las minas de berilo "Santa Ana", a unos 45 km al NO de La Toma, con uraninita y masas de triplita y plagioclasas uraníferas: bismutina con hasta 0,17 % U_3O_8 en la mina "La Esmeralda", de cuarzo, feldespato y berilo, como así también "Piedras Rosadas" y "San Fernando", en la zona de Quines, donde existen minerales oxidados de uranio, que proceden de la alteración de la uraninita contenida en dichas pegmatitas, etc.

En la mina de berilo "Cora Vivi" de la sierra de Velazco (La Rioja), compuestos secundarios de uranio impregnan el berilo y otros componentes de la pegmatita.

Exceptuando pequeñas partidas de minerales muy ricos en "gummita" y uraninita, con leyes de hasta 55 % U_3O_8 , el tenor de las masas de impregnación extraídas de las minas mencionadas de la sierra de Comechingones oscila entre 0,25 y 0,40 %.

b) YACIMIENTOS HIDROTERMALES EN VETAS: Antes de pasar a describir los depósitos de este tipo, se reseñarán algunas de sus características más llamativas, deducidas del estudio comparativo de los mismos, a saber:

1º Todos estos yacimientos estarían vinculados a rocas ácidas, preferentemente de naturaleza granítica, si bien no siempre existe una evidencia directa de ello.

2º Las soluciones que originaron a los depósitos son de carácter mesotermal, aunque algunos indican temperaturas más bajas, correspondientes a yacimientos epitermales.

3º La pechblenda es el principal mineral de uranio, al que se asocian, por lo general, compuestos de cobalto, níquel, plata y bismuto.

4º Las gangas típicas están representadas por varios tipos de sílice, carbonatos, fluorita y a veces hidrocarburos. El cuarzo común, la calcita y la dolomita son los más frecuentes.

5º El período de deposición de la pechblenda es variado, ocupando una etapa temprana e intermedia en los depósitos, caracterizados por la presencia de grandes proporciones de minerales metalíferos (sulfuros o arseniuros), y tardía en aquellos ricos en material de ganga.

6º En cuanto a la roca de caja, las más favorables parecen ser las de naturaleza ígnea y los metasedimentos silíceos, aunque hay excepciones.

7º Estructuralmente las vetas con pechblenda constituyen rellenos de cavidades libres, siendo de escasa importancia su localización por fenómenos de reemplazo en la roca de caja.

8º Las soluciones mineralizantes han producido en la roca de caja, antes del período de metalización, fenómenos de alteración hematítica — como ser en algunos importantes yacimientos canadienses — y también de caolinización, seritización y silicificación.

9º Por efecto de los agentes meteóricos, allí donde las circunstancias son propicias, la pechblenda se altera, conjuntamente con otros minerales existentes, dando lugar a una zona de oxidación que, como en el caso de los yacimientos de Shinkolobwe, alcanzan gran desarrollo, y en las que participan óxidos, sulfatos, fosfatos, carbonatos, arseniats y silicatos hidratados de uranio.

Shinkolobwe: Los depósitos uraníferos de Shinkolobwe, sitos en la parte meridional del Congo Belga, África, y descubiertos en el año 1915, constituyen una de las concentraciones más ricas y productivas del mundo.

Geológicamente la región está representada por sedimentos del complejo basal del sistema Katanga, de edad precámbrica, y por los del Karroo, suprayacentes. En la parte inferior del primero se halla la "Serie de las Minas", integrada por dolomitas, lutitas dolomíticas, cuarcitas celulares, cuarcitas estratificadas en bancos delgados y dolomitas talcosas. El conjunto de estas rocas se encuentra afectado por una serie de pliegues invertidos y fallas de empuje. Los cuerpos mineralizados se localizan en las fallas transversales que interceptan los sedimentos de la "Serie de las Minas", como así también en las zonas brechosas adyacentes a aquellas. Se trata de vetas portadoras de uraninita y pechblenda, además de sulfuros de cobalto, cobre, etc., en ganga de carbonatos y cuarzo, que registran espesores de algunos centímetros hasta varios decímetros y recorridos cortos, pero por lo general superiores en volumen a los cuerpos de pechblenda de otros yacimientos.

En cuanto al control vinculado con la naturaleza de la roca de caja, se ha observado que la roca silícea ha favorecido la deposición de menas de pechblenda, en tanto que los minerales de cobalto se discriminan preferentemente en sedimentos dolomíticos.

Aparte de uranio, cobalto y cobre, el mineral de Shinkolobwe contiene molibdeno, oro, platino y paladio.

La mineralización de este distrito comienza con intrusiones de vetas de cuarzo y silicificación de la roca de caja, período en el que se deposita monacita, turma-

lina, talco, apatita, etc.; a una segunda fase corresponde la uraninita-pechblenda, por reemplazo del cuarzo y de la roca de caja, seguida de los sulfuros: pirita, linnaeita, carrollita, calcopirita, etc. Finalmente, en una tercera etapa, se depositan abundantes carbonatos.

La zona de oxidación de este yacimiento está muy desarrollada y en ella se encuentran minerales complejos portadores de hidróxidos, fosfatos y silicatos, etc., tales como becquerelita, "gummita", torbernita, saleita, soddyita, kasolita, etc. Se han determinado más de 25 especies uraníferas, muchas de ellas sólo conocidas en esta área.

Lago Gran Oso: En la región del Lago Gran Oso (Great Bear Lake), cerca de la bahía Echo, sobre la margen oriental del mismo, casi a la altura del círculo polar ártico y en las proximidades de La Bine Point, se encuentra el importante distrito uranífero de "Eldorado", descubierto en el año 1930.

En la región hay rocas precámbricas; en un complejo constituido por sedimentos metamorfizados y rocas andesíticas, afloran, en los alrededores de La Bine, masas de granitos y granodiorita, como así también filones de rocas básicas muy jóvenes y vetas de cuarzo de gran espesor y desarrollo, acompañadas de otras menores.

En el distrito de referencia se conocen cinco vetas portadoras de minerales de uranio y plata, las que se localizan en zonas de zigzag y de brecha, en rocas encajantes que pertenecen al grupo denominado "Echo Bay", representado por tobas dacíticas y sedimentos cuarzosos de grano fino (bandeados, en parte arcillosos y también ferruginosos). Las fracturas mineralizadas se distribuyen regularmente a intervalos de unos 200 m,

tienen un rumbo N 65° E con buzamiento hacia el NO, un espesor de varios metros y un recorrido de hasta 1.500. Dentro de estas fracturas con material silicificado e impregnado con hematita se hallan las lentes con minerales de uranio y sus acompañantes. Pequeñas guías con compuestos de níquel, cobalto, bismuto, plata y sulfuros en ganga carbonática, atraviesan a aquellas.

El yacimiento se habría formado en cuatro etapas: a la primera corresponden, entre otros: cuarzo, pechblenda, safflorita-rammelsbergita, cloantita, cobaltina, etc.; a la segunda, cuarzo II, hematita, molibdenita y bismuto; a la tercera, dolomita, galena, blenda, tetraedrita, bornita, etc., y a la última, rodocrosita, baritina, argen-tita y plata nativa.

La pechblenda se presenta en forma arrañonada, con estructura concéntrica y radial, siendo en partes cataclástica.

“Eldorado” constituye uno de los grandes depósitos de pechblenda de América y cuenta con una planta de concentración de una capacidad de varios centenares de toneladas.

En las vecindades de dicho distrito se conocen otros yacimientos similares al descripto.

Joachimsthal: Los depósitos de Joachimsthal se encuentran ubicados en el extremo SE del macizo granítico de Eibenstock (Erzgebierge), al norte de la ciudad de Karlsbad, en el oeste de Checoeslovaquia.

Se trata de un viejo distrito explotado por distintos minerales desde el siglo XV, que comprende dos áreas mineralizadas cercanas, en las que aparecen un gran número de vetas correspondientes a dos sistemas intercalados en esquistos precámbricos ricos en biotita y también en cuarzo; un sistema posee un rumbo N-S y el

otro E-O. El primero, en general más rico, es el que contiene casi exclusivamente los minerales de uranio. Sus vetas, de 15 a 60 centímetros de espesor, son más antiguas que las de dirección E-O y cruzan en forma normal la esquistosidad de la roca encajante.

Las partes abiertas y verticales de las vetas son meta-líferas y costras y drusas cristalinas indican rellenos de fisuras.

Se conocen tres zonas de diferenciación primaria: la superior encierra preferentemente ricos minerales de plata; la central, compuestos de cobalto, níquel, bismuto y arsénico, y la tercera o inferior, pechblenda.

En la zona superior de los cuerpos mineralizados existe plata nativa, argentita y sulfosales de plata, y en la intermedia, cobaltina, niquelina, bismuto nativo, bismutina, arsenopirita, etc. De relativa a escasa importancia es la participación de la galena, blenda, pirita y calcopirita en las menas sulfuradas. La ganga está representada por cuarzo (variedad córnea) y dolomita.

Fluorita fétida, en pequeñas cantidades, se asocia a la pechblenda. La acción radioactiva se hace visible en la ganga carbonatada por la coloración rojiza que adquiere la dolomita en las proximidades de la pechblenda (fig. 7).

Se han establecido seis fases de deposición de los minerales que comprenden este yacimiento relacionado genéticamente a la intrusión del granito de Eibenstok; la pechblenda es posterior al cuarzo, pero anterior a la dolomita.

Iniciada a fines del siglo XV la explotación de este distrito por sus minerales de plata, a mitad del XVII se alcanzó la zona con cobalto y níquel, y en 1853 comienza su tercer período, en que se lo trabaja por ura-

nio destinado como material colorante. Desde 1910 se le explotó por radio.

Cercanos a este yacimiento —el más importante productor de uranio de Europa— existen otros de caracte-



Dolomita



Cuarzo Córneo



Pechblenda



Esquisto silicificado



Pirita



Esquisto micáceo

Fig. 7. — Corte de una veta del yacimiento de Joachimsthal (Checoslovaquia), según Jaffe (en Schneiderhöhn).

rísticas más o menos similares, a saber: Johanngeorgenstadt, Schneeberg, Marienberg, etc., en territorio alemán.

Beaverlodge: Comprende una región de vetas y sis-

temas de vetas portadoras de pechblenda de apreciable recorrido, sita a unos 40 km al norte de la ciudad de Golfield, en la margen norte del lago Athabasca, provincia de Saskatchewan, Canadá.

Dicha región se ubica en el rincón oeste de una vieja provincia geológica de rocas precámbricas consistentes en sedimentos altamente metamorfizados con rocas volcánicas, graníticas y afines.

Los depósitos constituyen no solamente vetas y sistemas de vetas, sino también lentes e impregnaciones que forman cuerpos planos que tienen gran importancia desde el punto de vista de su explotación.

La mineralización que prevalece es la que contiene pechblenda primaria asociada a hematita, carbonatos, cuarzo y clorita; en cantidades insignificantes aparecen ciertos compuestos metálicos.

Algunos de los depósitos mejor reconocidos son: Gunnar Lake, cerca de Saint Marys Channel y The Ace, Fay Ura, Bolder y otros alejados a lo largo de la falla de Saint Louis.

Los depósitos de Gunnar que se sitúan en la orilla norte del lago Athabasca, yacen en un área de granito y gneisses; las rocas en que aparece la mineralización han sido alteradas por soluciones y la mineralización está representada por pechblenda, hematita, carbonatos, minerales de cobre, etc.

En The Ace la pechblenda se presenta como delgadísimas guías a modo de stockwork o tan finamente diseminada en la roca que no se la ve a simple vista. La mineralización con apreciable cantidad de hematita y escasa pirita y minerales de cobre, se localiza por debajo de la falla que tiene una inclinación de 50° al sur,

Las pertenencias de Bolder son notables por la proporción de “gummita”, metatorbernita y autunita y otros minerales secundarios, no comunes en el distrito.

Un tipo complejo de mineralización con pechblenda acompañada de arseniuros de níquel y cobalto, oro y algo de platino se conoce en la propiedad Nicholson, al sur del lago Beaverlodge.

Los minerales de Gunnar son tratados en una planta de una capacidad de 1.250 t diarias.

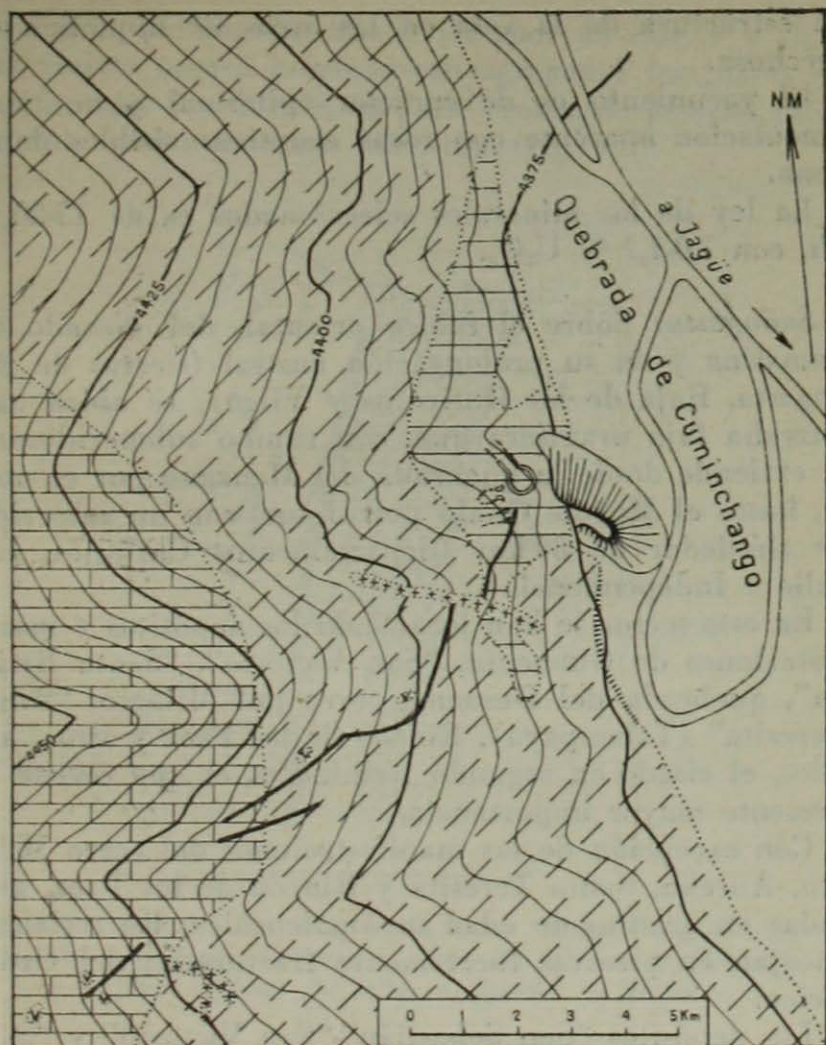
A continuación se pasarán a considerar los yacimientos hidrotermales uraníferos argentinos.


LA RIOJA


“*San Santiago*”: Esta mina, denominada antiguamente “Solitaria”, se ubica a unos 35 km al norte de Jagüe y a 280 km al NO de Chilecito, en el departamento General Sarmiento.


La zona de esta propiedad minera está constituida por esquistos cristalinos (anfíbolitas, cuarcitas, micacitas, etc.), de rumbos e inclinaciones variables, pertenecientes al Precámbrico; en ellos se observan filones de pegmatitas y también de lamprófiros (fig. 8).


El yacimiento consiste en una veta de dirección general NE-SO, con buzamiento de 45° O, que tiene una longitud reconocida de varias decenas de metros y una potencia de pocos decímetros. Dentro de la masa calcítica de la veta existen cuerpos lenticulares ricos en níquelina —el mineral metalífero principal—, al que se asocia íntimamente la pechblenda a modo de delgadas películas negro-grisáceas, además de pequeñas proporciones de blenda, pirita, cloantita, galena y calcopirita.





 *Esquistos cristalinos (anfíbolitas, micacitas, cuarcita, etc.)*


 *Calizas*

 *Zona de alteración*

 *Acarreo moderno*

 *Pegmatita*

 *Lamprófiro*

 *Vetas*


 *Entrada de labores*

Fig. 8.— Relevamiento geológico de la mina “San Santiago” (Prov. de La Rioja), según Quiroga y Granero Hernández.

La estructura de la veta en las áreas de niquelina es brechosa.

El yacimiento es de carácter epitermal y no tiene vinculación aparente con rocas eruptivas visibles de la zona.

La ley de los minerales seleccionados es de 15-20 % Ni, con 1,0-1,2 % U_3O_8 .

Sañogasta: Sobre el faldeo oriental del Nevado de Famatina y en su prolongación austral (sierras de Sañogasta, Baja de los Ontiveros y Vilgo), se ubica una estrecha faja uranífera que, con rumbo submeridional, se extiende desde la quebrada del Manzano por el norte, hasta el Mogote Gualo por el sur, con un recorrido de alrededor de 80 km (departamentos Chilecito, La valle e Independencia).

En este sector se han localizado los depósitos y manifestaciones de Guanchín, "San Victorio", "Santa Brígida", quebrada del Durazno, cerro del Milagro, "Santa Teresita" (Talampaya), Rincón de los Paez y otros. De ellos, el citado en segundo término es el que reviste al presente mayor importancia.

Con excepción de las manifestaciones del cerro Milagro, Aurelia, Santa Teresita y Rincón de los Paez, alojadas en granito de edad mesopaleozoica, las restantes encajan en pizarras fuertemente fracturadas del Ordovícico.

Los depósitos "San Sebastián"- "San Victorio" y "Santa Brígida", sitios a unos 20 km al SO de Chilecito y distantes unos 3 km entre sí, consisten en varias vetas de rumbo NO-SE y NNE-SSO, con buzamiento subvertical, que poseen un recorrido variable y una potencia de varios decímetros hasta un metro y más.

Se trata principalmente de cuerpos de calcita y fluorita violeta oscura asociada con agregados laminares de baritina que involucran en parte trozos de pizarra, otorgándole una estructura brechosa (fig. 9).

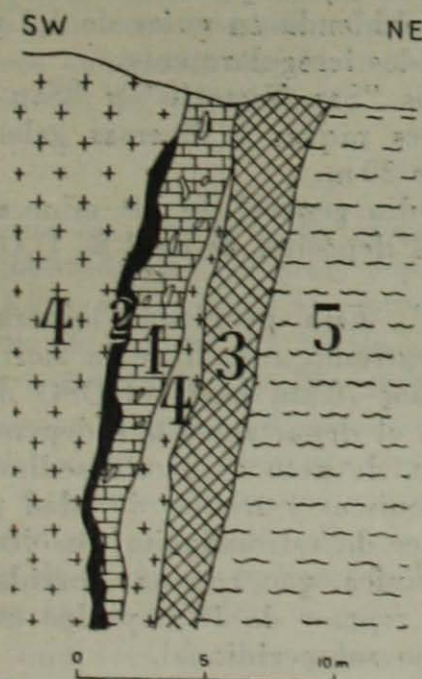


Fig. 9. — Corte de una veta de la mina "Santa Brígida" (Prov. de La Rioja), según Cabeza. 1. Guía de calcita; 2. Mineral de uranio; 3. Zona de falla; 4. Dacita; 5 Pizarras.

La mineralización superficial consiste en uranofano con escasa tyuyamunita, compuestos que están acompañados por lo general por minerales oxidados de cobre, originados por alteración de sulfuros (calcopirita, bornita y calcosina). En la parte brechosa de la veta se

observa una mayor concentración de estos últimos y más raramente en la masa calcítica.

También se notan guías de pechblenda semialterada, de la cual derivan los minerales de uranio antes citados. En algunos sectores y en profundidad se han localizado bolsones de pechblenda en guías de 1,2 y 3 mm de espesor, distribuidos irregularmente.

En las minas "San Victorio" y "San Sebastián" se han abierto tres piques y diversas galerías hasta una profundidad de 30 m.

El tenor medio general de los minerales proporcionados por estos depósitos es de 1 % U_3O_8 .

"*San Roque*": Esta propiedad minera se encuentra situada en el extremo austral de la sierra Baja de los Portezuelos, unos 70 km hacia el OSO de la localidad de Patquía, en el departamento Independencia.

En esta zona, de neto ambiente sedimentario, representado por areniscas y arcillas de edad permotriásicas, con concreciones de estroncianita, se observa un dique de diabasa olivínica, que, con una corrida de varios kilómetros y un espesor de 10 m y algo más, se dispone según un rumbo submeridional.

En el contacto occidental de las areniscas mencionadas con la diabasa aparecen varias fracturas de rumbo preponderante NO-SE y posición subvertical, cuya potencia mineralizada está comprendida entre 0.20 y 0.50 m.

Constituída por material arenoso-caolínico, intensamente impregnado por hidróxidos de hierro, contiene uranofano y autunita en forma de agregados escamosos. Acompañan a este complejo mineralógico pirita en granos chicos, abundantes venillas de yeso fibroso, guías de calcita de 1 a 10 cm de espesor, ocasionalmente baritina

pardo-rojiza y pechblenda en pequeñas proporciones, asociada a un material oscuro manganífero.

La extensión de la zona mineralizada reconocida al presente es de alrededor de 100 m.

En esta propiedad minera se han realizado diversas labores a cielo abierto y también algunos pozos conectados a laboreos subterráneos. El tenor promedio del mineral extraído es de 0,20 % U_3O_8 .

SAN LUIS

En la vertiente occidental de la sierra de Comechingones, en la quebrada del río Seco, departamento Chacabuco, unos 8 km al NE de Villa Larca, se encuentra ubicada la mina de uranio "La Estela", colindante con la de fluorita denominada "La Marquesa".

En dicha quebrada existen diversas vetas de fluorita alojadas en un granito rosado, algo porfírico, que se extienden con intermitencia hasta la misma cumbre de la sierra mencionada. De todas ellas la única que contiene minerales de uranio es la llamada Veta Negra, que constituye la mina en cuestión.

Se trata de una veta de una potencia de hasta dos metros, instalada en un brecha de falla mineralizada en la que aparecen cuerpos laminares y guías irregulares de fluorita de color violeta oscuro, de la variedad fétida, en cuya masa se observan a menudo trozos chicos y granos de granito. Su rumbo es E 100° S y su inclinación es de 45°-50° S (fig. 10).

El uranofano —la especie de uranio principal de este depósito— tapiza en delgadas películas las fisuras y grietas de la fluorita, impregnando también, en grado variable, el granito alterado de su roca de caja.

En labores cercanas a la principal, se encontraron en una veta de fluorita, nódulos de pechblenda muy alterada en "gummita" y uranofano.

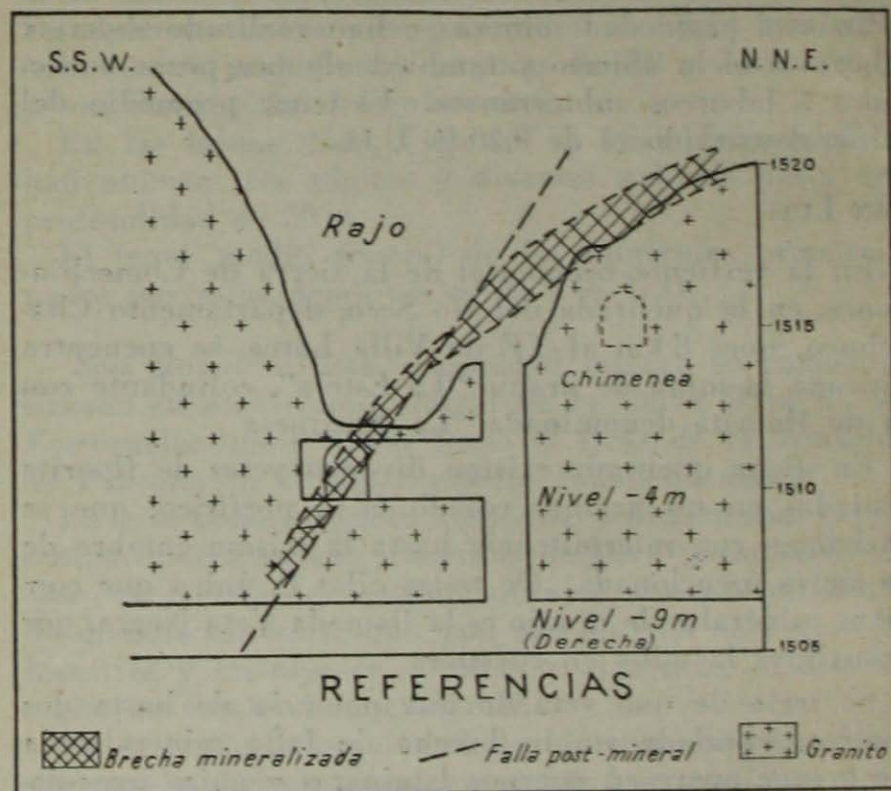


Fig. 10.—Corte de la veta de fluorita uranífera de la mina "La Estela", Villa Larca (Prov. de San Luis), según Belluco.

Diversas fallas post-minerales afectan al yacimiento que nos ocupa, cuya extensión reconocida a la fecha es limitada.

Gran parte del mineral proporcionado por esta mina procede de labores realizadas a cielo abierto, contando

además con algunos trabajos subterráneos de corto recorrido.

La ley de los minerales explotados ha ido aumentando a medida que la mina se profundiza, alcanzando actualmente un promedio de 0,60-0,70 % U_3O_8 .

MENDOZA

A pocos kilómetros al oeste de la ciudad de Mendoza, en las primeras estribaciones orientales de la Precordillera, se hallan situados los depósitos "Papagayos", "Soberanía" e "Independencia".

Se trata de un faja uranífera alojada en terrenos correspondientes al Triásico superior, en la inmediata proximidad de éstos con los del Terciario inferior (Eoceno) y que, con cierta intermitencia, se extiende por varios kilómetros con rumbo general N-S.

En sedimentos arenosos y arcillosos afloran vetas lenticulares y ramificaciones irregulares de cuarzo; las primeras, con espesores variables que alcanzan hasta 40 cm, muestran en parte estructura brechosa.

El cuarzo se presenta muy diaclasado y recubriendo su superficie se observa uranotilo y schroekingierita asociados a carbonato de calcio y yeso, y también, a veces, en determinados sitios, a minerales oxidados de cobre.

Los minerales de uranio citados, en particular el segundo de ellos, impregnan la roca de caja en grado distinto, como también, en algunas oportunidades, las masas arenosas adyacentes a las vetas.

En profundidad disminuye la proporción de minerales oxidados y aparecen en su lugar impregnaciones dentro del cuarzo y pátinas negras, en planos de fracturas,

de pechblenda asociada a veces a calcita, hasta en niveles de 35 m que han alcanzado algunas labores.

El origen de estos depósitos es hidrotermal de baja temperatura, relacionado con intrusiones ocultas de rocas del ciclo terciario.

De estos depósitos el más importante es "Soberanía", que continúa en explotación y que, a través de trabajos superficiales y sobre todo subterráneos, provee materiales con tenores de 0,25 a 0,70 %, según el tipo de mineral.

SALTA

En el mineral de la mina "Esperanza", sita a 60 km al NNE de la estación Iturbe, en el departamento Iruya, se ha comprobado la existencia de pechblenda asociada a calcosina y bornita en ganga carbonática (dolomita) y también a galena y blenda, en ciertos sitios. Las vetas de esta propiedad minera se alojan en pizarras cambro-ordovícicas. Los tenores en U_3O_8 registrados en trozos de mineral son muy variables, llegándose en un caso al 2 %.

En este yacimiento, que fuera explotado principalmente por minerales de cobre en épocas pasadas y que cuenta con varios trabajos subterráneos, se está procediendo a su limpieza y a la apertura de nuevas labores.

En la mina "La Niquelina", Rodeo de Tuctuca, departamento Santa Victoria, se encontró en una fractura en cuarcita, sita en la proximidad del contacto de éstas con sedimentos pizarrosos, una veta angosta de rumbo N-S, portadora de pechblenda.

Dicha veta, que tiene un desarrollo de unos 50 m, registra una mineralización irregular consistente en "bol-sillos" de pechblenda con pirita y escasa niquelina.

c) YACIMIENTOS SEDIMENTARIOS: Las lutitas bituminosas y carbonosas, las fosforitas y los aluviones, son los principales sedimentos portadores de uranio. En pocos casos constituyen yacimientos comercialmente explotables, significando por su bajo tenor y elevado costo de elaboración actual, las posibles reservas para el futuro.

Lutitas (arcillo-esquistos) bituminosas y carbonosas:

Desde el año 1893 se conoce la existencia de uranio en los esquistos bituminosos cámbricos de Suecia.

Dentro del tipo de sedimentos del epígrafe, sólo parecen contener uranio en cantidades de interés aquellas lutitas que presentan ciertas características especiales relacionadas con su origen. Así, se ha comprobado que hasta el presente, todos los arcillo-esquistos uraníferos de origen marino, de edad premesozoica, tienen color negro a gris-pardo muy oscuro, elevado porcentaje de materia orgánica, sulfuros (pirita y marcasita) y escasa cantidad de carbonatos. En general integran complejos de escaso espesor, donde aparecen con estratificación muy fina y a veces laminar.

Los compuestos de uranio no son identificables y se encuentran en la fracción más fina de la roca; son solubles en ácidos y se hallarían íntimamente asociados a los materiales arcillosos y orgánicos.

Extensos depósitos de lutitas uraníferas se conocen en Suecia, Rusia, Estonia, Alaska y en la parte central de los EE. UU. de Norteamérica. En Kvarntop, Suecia, existen esquistos bituminosos, con un tenor medio de 200 gramos de U_3O_8 por tonelada, en cuya masa aparecen pequeños nódulos y bandas de un material carbonoso denominado "Kolm", que registra en sus cenizas

hasta 3.000 gramos de U_3O_8 por tonelada. Se han instalado plantas para la recuperación del uranio contenido en dichos esquistos bituminosos.

Los esquistos de la formación Chattanooga (Devónico superior) de Tennessee, Kentucky y otros estados de EE. UU. de Norteamérica, con 1,50 a 30 m de espesor, registran 0,002-0,01 % U_3O_8 , con un promedio de 0,008 %.

Ciertas lutitas negras de Alabama, Kansas y Oklahoma, de edad pennsylvaniana, acusan 0,003-0,01 % U_3O_8 .

En nuestro país poco se sabe —por falta de mayores investigaciones— acerca del tenor en uranio que puedan tener los distintos yacimientos de esquistos y margas bituminosas ampliamente distribuídas en Neuquén, Mendoza, San Juan y La Rioja, pertenecientes a distintos pisos del Mesozoico. De ellos, los más conocidos son los del Triásico superior (Noreense), de Challao, Potrerillos y Cacheuta, en Mendoza.

Recientemente se ha comprobado la presencia de uranio en los esquistos alumbríferos de Calingasta y Rodeo, y también en las lutitas negras de la zona precordillerana de Jáchal, provincia de San Juan. La edad de estos sedimentos marinos es ordovícica y registran un tenor de 0.002-0.003 % U_3O_8 .

Fosforitas: Se ha comprobado que varias formaciones fosforíticas marinas contienen uranio, en una proporción que varía entre 50 y 300 gramos de U_3O_8 por tonelada. Los estudios efectuados en los EE. UU. de Norteamérica acerca de estos complejos sedimentarios, de edad paleozoica hasta cenozoica, han demostrado que generalmente el uranio contenido guarda relación con el porcentaje de fosfatos; en el caso de la formación Phosphoria (pérmica), de Idaho, Montana, etc., la abun-

dancia de uranio estaría en razón inversa al carbonato contenido en esas rocas: muestras con 0,01 % U_3O_8 acusan menos del 2 % CO_2 .

Se considera que la mayor parte del uranio de los yacimientos de fosforita hasta ahora conocidos se encuentran en la fluorapatita y colofano, sustituyendo probablemente al calcio; el resto estaría distribuido en el material arcilloso y en el orgánico que acompañan a los fosfatos.

Los fosfatos uraníferos considerados como fuente de abastecimiento de uranio tendrían un tenor en U_3O_8 comprendido entre 0,01 y 0,03 %.

Recientemente se han instalado plantas para el tratamiento de las fosforitas terciarias de Florida (EE. UU.), que recuperan, como un subproducto, el uranio contenido en las mismas.

Se considera que una apreciable cantidad de uranio debe existir en los depósitos de fosforitas de EE. UU. de Norteamérica, Rusia, Marruecos, Argelia, Egipto, etc.

Aluviones (depósitos detríticos): En general, las acumulaciones de minerales uraníferos en depósitos originados por procesos mecánicos de transporte y concentración, como son los aluviones, se consideran insignificantes fuentes de recurso. Salvo contadas excepciones, el aprovechamiento de estos materiales no ha tenido mayormente éxito, por cuanto los minerales principales de uranio, por su dureza relativamente pequeña y su alterabilidad, no llegan a formar concentraciones como lo hacen otros compuestos pesados. Los columbatos, tantalatos y titanatos portadores de uranio como euxenita, samarskita, fergusonita, betafita, etc. — los denominados “refractarios” — se pueden concentrar en alu-

viones, pero como su tenor en dicho elemento no es elevado, originan, por ende, depósitos de explotación antieconómica, de no estar acompañados por otros materiales útiles.

El principal mineral radioactivo que se presenta en los aluviones es la monacita, además de la xenotima, torita, torianita y muy raramente uraninita.

Corresponderían a este tipo de yacimiento los conocidos depósitos auríferos de Witwatersrand y Orange Free State, en Sud Africa y los de Blind River, en Canadá, siempre que se acepte para ambos casos el origen sedimentario del uranio contenido en ellos.

Witwatersrand y Orange Free State: Estos depósitos abarcan buena parte de la superficie de Transvaal y Orange Free State y constituyen una importante fuente de abastecimiento mundial del oro y también del uranio en la actualidad.

El uranio bajo forma de uraninita y también, aunque en menor proporción, de thucholita, se presenta asociado al oro como pequeños granos diseminados en la matriz de conglomerados denominados *reefs* que contienen además pirita. Dichos *reefs* forman parte de una gruesa serie precámbrica integrada por cuarcitas, pizarras y conglomerados.

Su espesor promedio, registrado en 20 empresas mineras, es de aproximadamente un metro, oscilando su tenor en U_3O_8 entre 80 y 1.000 gramos por tonelada.

En cuanto al origen de la mineralización de estos *reefs*, a través de las investigaciones efectuadas, no existe aún un acuerdo, si la misma corresponde efectivamente a viejos aluviones o en su defecto, a soluciones hidrotermales.

Para la recuperación del uranio contenido en esos conglomerados y en los enormes desmontes procedentes del tratamiento del mineral por oro, se han instalado diversas plantas de beneficiación por vía química, de una capacidad de hasta cien mil toneladas mensuales.

Entre las distintas empresas productoras de uranio se citan West Rand Consolidated Mines Limited, Voal Reefs Exploration & Mining Co. Ltda. y Luipaards Vlei States & Gold Mining Co. Ltd.

La producción de estos distritos, que se inicia en 1952, fué durante el año 1956 de más o menos 4.500 t de U_3O_8 .

Blind River: En 1953 se descubrieron importantes depósitos uraníferos a unos 40 km de la ciudad de Blind River y a 100 km al este de Sault Ste Marie, en el área de Algoma, al norte del lago Hurón, en la provincia de Ontario, Canadá.

Sus afloramientos se presentan intermitentemente a lo largo de más de 115 km y consisten en un conglomerado piritoso que yace en la base de la formación cuarcítica precámbrica de Mississauga, que descansa sobre un erosionado basamento de granito y gneisses.

Las estructuras principales se extienden de este a oeste y son más o menos paralelas; la del norte es un sinclinal y la del sur un erosionado arco de anticlinal expuesto arriba del basamento cristalino.

La mineralización no es continua, pero grandes áreas registran un contenido regular en uranio. Los minerales se hallan cementando el conglomerado consistente principalmente en rodados de cuarzo, en una matrix que contiene sulfuro de hierro con granos finos, disemina-

dos, de uraninita, brannerita, thucholita y monacita. La ley en uranio en los sectores de interés económico es de alrededor de 0,1 %.

Entre los distintos cuerpos mineralizados se mencionan: Quirke Lake, Nordic Lake y Pronto, con desarrollo de 1.200 a 2.500 m y espesores de 2,5-4 m.

En cuanto al origen de este extenso yacimiento se mantienen los puntos de vista expuestos para los *reef* de Witwatersrand.

En este distrito se han instalado varias empresas, algunas de ellas con plantas de lixiviación de una capacidad de aproximadamente 6.000 t diarias.

Los estudios practicados en los aluviones auríferos de los ríos Cincel, Orosmayo y Candado, sitios en los departamentos Rinconada y Cochinoa, Jujuy, han demostrado la presencia, entre sus minerales pesados (magnetita, ilmenita, zircón y monacita) de una pequeña proporción de compuestos portadores de uranio de naturaleza aún no definida.

Dentro de este tipo de yacimiento, cabe mencionar también los aluviones auríferos portadores de monacita de Cañada Honda y otros lugares de San Luis, como asimismo los de Río Tercero, en Córdoba.

d) YACIMIENTOS EN SEDIMENTOS ARENOSOS Y CONGLOMERÁDICOS Y EN CALIZAS: Este grupo comprende los depósitos de carnotita del Plateau del Colorado; los minerales de cobre y uranio de dicha planicie; los depósitos de pechblenda-coffinita en areniscas y también las acumulaciones uraníferas en calizas de Nueva México.

La procedencia del uranio contenido en estos depósitos no ha sido aún establecida concretamente, no obs-

tante los estudios realizados al presente. Ciertos factores inducen a unos a apoyar la idea de que dicho elemento procede del lavaje de tobas e incluso de areniscas arcósicas, en tanto que otros investigadores sostienen, con igual evidencia el origen hidrotermal de los mismos, tesis que tiende a generalizarse.

La producción de los EE. UU. de Norteamérica que durante el año 1956 alcanzó a unas 6.000 t U_3O_8 , corresponde en su casi totalidad al tipo de yacimientos que nos ocupa y muy en particular a aquellos de pechblenda-coffinita en areniscas.

Depósitos de carnotita: El Plateau del Colorado, sito al oeste de las Montañas Rocosas, constituye, con sus numerosos depósitos de carnotita en areniscas y de otro tipo de mineralización, el centro productor más importante de los EE. UU. de Norteamérica.

Muchos de estos yacimientos de carnotita, conocidos desde hace varias décadas, se explotaron en su comienzo principalmente por el radio contenido en sus minerales de uranio, luego por vanadio y en la actualidad por uranio y vanadio. Extraordinaria es la actividad desplegada en esa región, tanto en lo que concierne a la explotación en sí cuanto a la exploración y búsqueda de nuevas concentraciones.

La mencionada planicie que, con una superficie de más o menos 350.000 km², abarca parte de los estados de Colorado, Utah, Arizona y Nueva México, está constituida por sedimentos, principalmente arenosos, arcillosos rojizos y conglomerádicos que van desde el Paleozoico superior (Pérmico) hasta el Terciario inferior (Eoceno), ligeramente plegados en anticlinales y sinclinales e intruídos en partes por rocas mesosilíceas,

Los horizontes portadores de minerales de uranio y vanadio de mayor importancia se hallan en las formaciones Morrison y Entrada pertenecientes al Jurásico.

Se trata de concentraciones preferentemente tabulares, irregulares, de posición más o menos horizontal, por lo general concordantes con las capas adyacentes, de un espesor promedio de 0,60 m a 1,20 m y una capacidad muy variable que va desde pocas toneladas hasta decenas y centenas de miles de toneladas. En las masas de areniscas mineralizadas se presentan a menudo troncos de árboles, ramas y huesos fósiles que, en la mayoría de los casos, se encuentran parcialmente reemplazados por compuestos de uranio y vanadio.

Los minerales esenciales que forman parte integrante del cemento de las areniscas son: carnotita, vanoxita ($2V_2O_4 \cdot V_2O_5 \cdot 8H_2O$) y hewetita ($CaO \cdot 3V_2O_5 \cdot H_2O$).

Además de estos compuestos se señala la presencia de tyuyamunita y roscoelita (una mica portadora de vanadio).

La mayor parte de los minerales del Plateau del Colorado contienen entre 0,20 y 0,40 % U_3O_8 y entre 1,5 y 2,0 % V_2O_5 .

El control estructural de estos depósitos carnotíticos estaría en parte regido por antiguos canales de agua.

Aparte de los depósitos del Plateau del Colorado, cabe señalar la existencia de yacimientos de carnotita en areniscas cretácicas, en Black Hill, Dakota del Sur y también en areniscas del Eoceno, en Powder River Basin, en el estado de Wyoming y en otros lugares.

Los minerales de referencia son tratados directamente, por vía química, en diversas plantas regionales que producen óxidos de uranio y de vanadio.

Depósitos de cobre y uranio: Se conocen minerales de cobre y uranio en conglomerados, areniscas y lutitas de diversos puntos del Plateau del Colorado, particularmente en el sur del Estado de Utah y en el norte de Arizona. Dicha mineralización tuvo lugar en las formaciones triásicas de Moenkopi, Shinarump y Chinle. Así, en el distrito "White Canyon-Red Canyon" del partido de San Juan, Utah, un conglomerado con areniscas, de 3 a 6 metros de espesor, constituye un lugar de concentraciones de minerales de cobre y uranio.

En general, las areniscas o conglomerados de este tipo de depósitos son lenticulares y presentan un marcado adelgazamiento y engrosamiento a lo largo del rumbo de la estratificación, características que corresponderían a depósitos fluviales, dentro o cercanos a canales de agua.

Estas acumulaciones contienen en superficie sulfatos, fosfatos, silicatos y arseniatos hidratados de uranio (johannita, torbernita, uranofano, zippeita, etc.), asociados a malaquita, antlerita, brocantita, etc., en tanto que en profundidad la mineralización primaria está representada por pechblenda, pirita, calcopirita, bornita, galena y gersdorfit.

En general, estos depósitos se distribuyen erráticamente y son de volumen por lo común reducido, aunque algunos pueden alcanzar hasta varios centenares de miles de toneladas. Los minerales oxidados de cobre, de fácil identificación, no constituyen siempre un índice para la búsqueda del uranio por cuanto aquéllos muchas veces sólo registran poca o ninguna radioactividad.

Uno de los depósitos más grandes de este tipo lo constituye la mina "Happy Jack" que se halla ubicada en White Canyon.

CerroHuemul - Agua Bota - Cerro Mirano: Como ejemplo argentino de este tipo de yacimiento, se mencionan por la similitud geológica que guardan con los descriptos precedentemente, los depósitos situados en el sur de la provincia de Mendoza.

A unos 40 km al SO de la localidad de Malargüe, en el departamento del mismo nombre, existe una amplia zona uranífera que comprende los yacimientos de cerro Huemul, Agua Botada y Cerro Mirano, aparte de otras manifestaciones.

El yacimiento mencionado en primer término, que asoma con intermitencia en un recorrido de alrededor de 2 km, posee un rumbo aproximado N-S y un buzamiento de unos 30° O. Está representado por varias concentraciones o cuerpos de variado tamaño, de los cuales se destaca por su magnitud el situado en el extremo septentrional de su corrida que parecería estar alojado en un antiguo canal de agua. Su potencia mineralizada es alrededor de 60-70 cm y en parte más (fig. 11).

La mineralización de la mena aflorante consiste en carnotita y tyuyamunita principalmente, con uranofano, fosfuranilita y autunita, en menor proporción, asociados a malaquita, azurita e hidróxidos de hierro, minerales éstos que se distribuyen en la masa de un conglomerado y arenisca conglomerádica de coloración grisácea. En las partes más inferiores del banco mineralizado, el mismo lleva pirobitumen asfáltico portador de uranio y al que se asocia pechblenda y sulfuros en granos chicos,

W

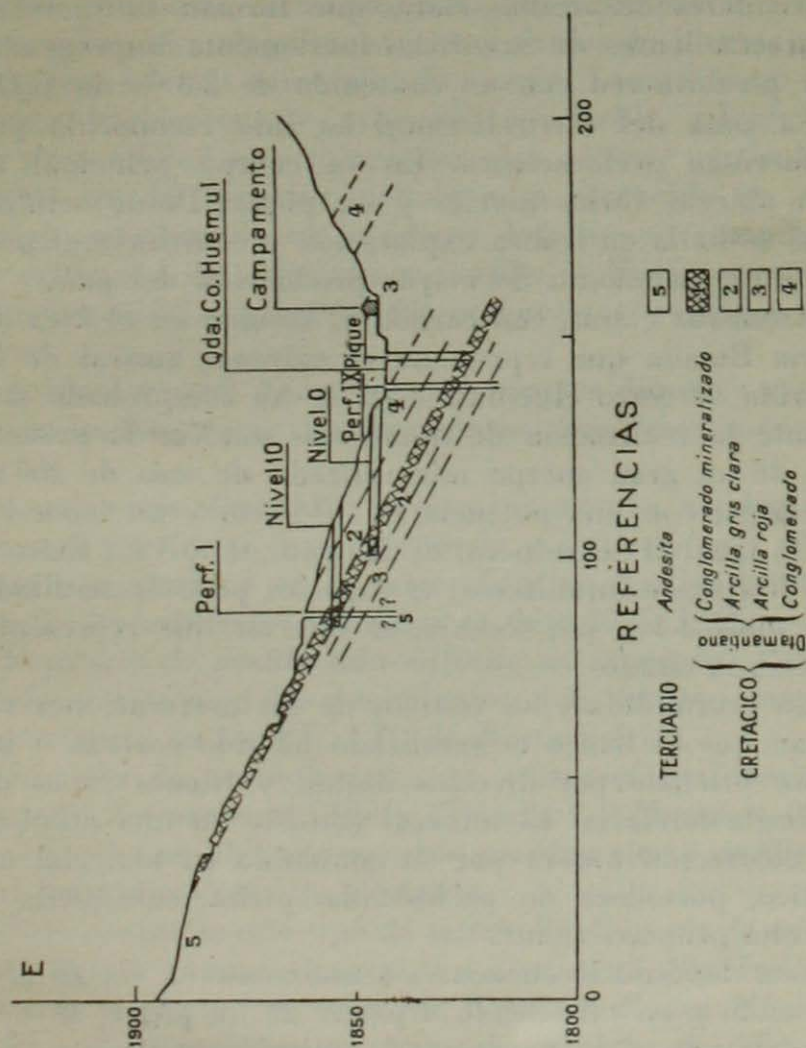


Fig. 11.— Perfil del Yacimiento "Cerro Huemul", Malargüe (Prov. Mendoza), según Linares.

a saber: pirita, calcopirita, bornita, pirrotina, calcosina, además de galena y blenda en muy pequeñas cantidades.

Dentro del banco mineralizado y encima de masas lenticulares de arcillas claras que forman su yacimiento, aparecen lentes de areniscas fuertemente impregnadas por pirobitumen con un contenido de 2-3 % de U_3O_8 .

La zona del cerro Huemul ha sido reconocida por numerosas perforaciones. En su cuerpo principal se han abierto varios niveles y un pique. Desde octubre 1955 se halla en franca explotación y constituye al presente el yacimiento de mayor producción del país.

Areniscas claras, con carnotita, asoman en el área de Agua Botada que representa el extremo austral de la corrida de cerro Huemul. Aquí se ha comprobado mediante la realización de numerosos sondeos la existencia de un gran cuerpo mineralizado de más de 200 m de largo, con una potencia de 40-50 cm y un tenor en U_3O_8 , igual al del mineral de Huemul, de 0.3 %. Existen dos horizontes uraníferos; el superior poco desarrollado y a unos 3-4 m por debajo, el inferior que representa el cuerpo citado.

En profundidad, los testigos de las perforaciones revelan que el banco mineralizado ha sido cortado e incluso biselado por diversos diques y filones capas de andesita terciaria. El mineral consiste en una arenisca de coloración oscura por su contenido en material asfáltico, portadora de pechblenda, pirita, calcopirita y bornita principalmente.

Este depósito se encuentra actualmente en vía de preparación y en tal sentido a partir de un pique, se está procediendo a la apertura de galerías a distintos niveles.

En Cerro Mirano, distante 11 km en línea recta al ESE de Cerro Huemul, hay dos horizontes, a poca distancia uno del otro y de escasa inclinación, que representan bancos de areniscas claras, muy compactas e impregnadas de malaquita, azurita y óxidos de hierro, que incluyen además minerales de uranio. Las areniscas de dichos horizontes, de extensión apreciable, adquieren en profundidad una coloración algo oscura, particularmente las del superior, debido a su contenido en material asfáltico. En el horizonte inferior se comprobó la existencia de calcosina y bornita, sulfuros que por meteorización originaron los compuestos oxidados de cobre.

A igual que en Agua Botada, diversos diques y capas de andesitas cortan los horizontes uraníferos mencionados.

Las labores efectuadas en este yacimiento, a saber socavones y galerías, han puesto de manifiesto una marcada irregularidad en la mineralización. La ley promedio de los minerales extraídos es de 0,20 % U_3O_8 .

Depósitos de pechblenda-coffinita en areniscas: Pertenecen a este tipo los yacimientos que revisten mayor importancia en los EE. UU. de Norteamérica.

Se trata de acumulaciones en areniscas pertenecientes a las formaciones Chinle (Triásico) y Morrison (Jurásico) que en algunos aspectos guardan cierta similitud con los yacimientos de carnotita.

Exponentes de este tipo de mineralización son la mina "Mi Vida" y otras cercanas, en el distrito Big Indian, Utah y "Jackpile" y Ambrosia Lake, en Nueva México.

El primer yacimiento citado, descubierto en 1953, se aloja en el flanco del anticlinal denominado Lisbon

Valley, en areniscas y conglomerados de la formación Chinle, portadora de pechblenda con pirita, además de carnotita, tyuyamunita y minerales de vanadio, en bancos que registran un espesor mineralizado de 3-4,5 m y considerable proporción de material carbonoso. Este yacimiento cuyo contenido en U_3O_8 es de 0,4-0,5 % se explota por vía subterránea a un ritmo de unas 1.500 t diarias.

La mina "Jackpile" se encuentra situada en el partido de Valencia, Nuevo México, en el flanco este del sinclinal de Mc. Gardy. Los depósitos se presentan en la formación Morrison en la que participan areniscas y arcillas de los pisos Recapture Creek, Westwater Canyon y Brushy Basin. Los cuerpos mineralizados se hallan distribuidos en una superficie de 1.000 m de largo por otro tanto de ancho. El mineral se presenta en la parte superior de las areniscas de Brushy, con espesores de 3 m y varias veces esta cifra, y su mineralización consiste principalmente en coffinita distribuida en el material asfáltico que impregna a las mismas.

Contiene vanadio, además de pirita y marcasita. Esta mina es explotada a cielo abierto por la Anaconda Company, a un ritmo de 3.000 t diarias con ley 0,25-0,30 %, que son beneficiadas en la moderna planta de Bluewater.

A unos 30 km al norte de Grants, Nueva México, se encuentra situada la zona uranífera de Ambrosia Lake. Su estructura dominante es la de un monoclinal con varios pliegues y fallas. De ellos se destacan el anticlinal de South Ambrosia y en sus proximidades el domo de Ambrosia, en cuyas inmediaciones se descubrieron por perforaciones los depósitos de mayor volumen. La mineralización se presenta en areniscas de Westwater y cons-

tituyen cuerpos tabulares, irregulares, de 30 a 300 m de ancho por 150 a 800 m de largo, de un espesor que oscila entre algunos decímetros y 2-3 m y más, con reservas de 100.000 t a varios millones de toneladas. Se trata de areniscas asfálticas con coffinita, asociada a poca piritita y a calcita en ciertos sectores. Su contenido en vanadio es muy bajo.

Colectivamente estos depósitos representan la mayor reserva de mineral de uranio de los EE. UU. de Norteamérica (más de 20 millones de toneladas, con ley 0,25 %).

En Ambrosia Lake se han instalado varias empresas que actualmente se encuentran preparando sus yacimientos a través de varios piques de una profundidad de unos 100 m.

Depósitos de caliza uranífera: Se mencionan por su importancia comercial los de la Formación Todilto, que pertenece al Jurásico de la región de Zuñi, estado de Nueva México, y que yace sobre las formaciones Entrada, Wingate y Chinle de edad triásica y jurásica.

Forman concentraciones tabulares, irregulares, con espesores de 60 a 90 cm. Sus minerales principales son uranofano, carnotita y tyuyamunita, a los que se asocian fluorita, calcita, hematita, óxidos de manganeso, materia carbonosa y pechblenda, esta última en pequeñas "ampollas".

Los compuestos principales de uranio mencionados aparecen constituyendo manchas amarillas en los planos de estratificación, en las juntas y en otras fracturas menores de las calizas, las que son macrocristalinas y com-

paetas. La pechblenda, hematita y fluorita se observan en pequeñas masas sustituyendo al carbonato de calcio.

La ley media en uranio de los depósitos, con probabilidades de gran tonelaje, es de 0,20 %, con 0,15 % de V_2O_5 .

Si bien no corresponde al mismo tipo de yacimiento, puede mencionarse aquí la presencia de uranio en calcáreos travertínicos en las proximidades de la localidad de Santa Rosa, en San Luis y también en los depósitos del Cerro Tiporco, al oeste de La Toma, de la misma provincia; en el material aragonítico de Cerro Aritas, y en otros lugares de la Puna salteña. Se trata de materiales con muy baja ley en uranio, cuyos compuestos oxidados, amarillos, aparecen distribuidos muy irregularmente en sus planos de fracturas.

e) YACIMIENTOS EN ARENISCAS ASFÁLTICAS:

Además de los yacimientos de carnotita y de cobre y uranio mencionados en el Plateau del Colorado, existen en dicha región concentraciones de asphaltitas uraníferas en areniscas triásicas, en relaciones estructurales y litológicas similares a las de aquéllos.

En la región al este de San Rafael Swell, partido de Emery en el Estado de Utah, el material asfáltico urano-vanadinífero se halla íntimamente asociado con pirita y cementa a los granos de areniscas o bien constituye masas de reemplazo. Asphaltita relativamente pura, con minerales de cobre en pequeñas proporciones, se han encontrado en otros sitios de la región citada. Areniscas asfálticas con leyes medias de 0,20 % en U_3O_8 son explotadas económicamente.

Diversas manifestaciones de areniscas asfáltíferas portadoras de uranio, se conocen en cañadón Krueger, zona

de Río Chico, al oeste de Comodoro Rivadavia, Chubut.

Se ha comprobado que algunas vetas y cuerpos de asfaltitas de Neuquén y Mendoza contienen uranio en grado variable. El valor más alto registrado en las cenizas de estos productos es de 1,35 % U_3O_8 , con 62,90 % V_2O_5 .

De Cañadón Krueger, Valle Río Chico, Chubut, se conoce una muestra de asfalto cuyas cenizas, que representan el 8 % de las mismas, acusó un contenido en U_3O_8 del 1,95 %, siendo el tenor sobre la muestra total de 0,16 %. La roca de caja de ese material, una arenisca asfaltífera, reveló una ley de 0,31 % U_3O_8 .

f) DEPÓSITOS EN LIGNITOS Y CARBONES: Los lignitos y carbones suelen ser portadores de uranio, aunque por lo general no lo contienen en proporción llamativa. Ciertos depósitos de Dakota, Wyoming, Idaho, Montana, etc., de los EE. UU. de Norteamérica, registran un contenido de U_3O_8 de hasta 400 gramos por tonelada y más, en determinados sectores.

Se admite que el uranio contenido no es propio del período de deposición de dichos materiales, sino que su presencia en ellos se debe a su absorción de aguas circulantes que lo extrajeron por lavaje de rocas principalmente volcánicas.

La distribución del uranio en los lignitos y carbones es muy irregular y su mayor concentración corresponde a áreas de fisuras, fracturas y diaclasas, así como también a impregnaciones en la roca de caja (areniscas) que encierra los mantos de esos materiales.

Los depósitos que revisten mayor interés desde el punto de vista de su futuro aprovechamiento en el citado

país del norte, son: los de Slim Butles, en Dakota del Sur; los de Red Desert, en Wyoming; los de Old Leyden, en Colorado y los de la Ventana Mesa, en Nueva México.

Los estudios efectuados al presente en nuestro país han permitido comprobar la existencia de material carbonoso radioactivo en los siguientes lugares:

Jujuy: En el paraje denominado El Cucho, sito a 30 km de la ciudad de San Salvador de Jujuy, aparecen en areniscas y conglomerados terciarios troncos carbonizados y también delgadas capas de material carbonoso que acusan cierta radioactividad. Muestras de dicho lugar han registrado sobre cenizas hasta un contenido de 0,20 % U_3O_8 .

Salta: Material carbonoso radioactivo, en capas delgadas, alojadas en un conglomerado, existe en la quebrada de la Huerta, departamento Cochínoca y también en Escoipe, quebrada de la Yesera. Una determinación radiométrica practicada sobre las cenizas de una muestra del lugar citado en segundo término acusó un tenor de 0,12 % U_3O_8 .

La Rioja: En Las Torrecitas, faldeo oriental de la sierra de Famatina, afloran capitas de un material carbonoso radioactivo.

Mendoza: Muestras extraídas de areniscas y niveles arcilloso-carbonosos pertenecientes a los Estratos de Potrerillos, en las proximidades del paraje del mismo nombre, han registrado tenores de hasta 0,03 y 0,08 %. Un nivel carbonoso de la carbonera de Salas acusó 0,06 %.

VI

AREAS A EXPLORAR

A causa de las distintas formas de yacer de los minerales de uranio, como se expuso al tratar la "Posición geoquímica del uranio", no es posible indicar con precisión las zonas geológicas que deben investigarse en procura de este elemento.

Los primeros esfuerzos deberán concentrarse en las zonas próximas a yacimientos conocidos, por cuanto es factible la existencia de otros, de igual origen, esparcidos en áreas a veces considerables. Tal es el caso de la zona de Sañogasta, donde en una misma formación geológica y también en otras, se han encontrado diversas manifestaciones uraníferas que, perteneciendo probablemente a un mismo ciclo genético, reúnen, en parte, caracteres similares a los que registran los depósitos en explotación. Otro ejemplo lo constituye la zona uranífera de Malargüe, con depósitos y afloramientos distribuidos en una superficie apreciable y con posibilidades de nuevos hallazgos.

Tratándose de yacimientos de origen sedimentario u originados por circulación de soluciones portadoras de uranio en rocas arenosas o conglomerádica, las perspectivas de hallar nuevos depósitos son más favorables que las que pueden ofrecer las concentraciones vetiformes,

ya que por lo general los citados en primer término abarcan comúnmente grandes extensiones.

En los casos de pegmatitas — rocas cuya explotación directa por minerales de uranio no resulta económica en la mayoría de los casos — se recomienda que en el transcurso de su laboreo por mica, feldespato, berilo, etc., se preste especial atención a la presencia de minerales oscuros pesados (uraninita) rodeados de otros anaranjados y amarillos (“gummita”), los que aparecen en forma de nódulos, así como también a la existencia de compuestos amarillos o amarillo-verdosos (autunita) que impregnan a la mica, el cuarzo y el feldespato, debido a que el aprovechamiento de estos materiales uraníferos, como un subproducto, puede resultar de interés comercial.

La paragénesis de los yacimientos hidrotermales de uranio constituye un elemento de juicio interesante para su búsqueda. Las observaciones realizadas sobre el particular tienen carácter general, pero no exclusivo, aún para una misma zona.

En tal sentido, se han efectuado y se continúan efectuando investigaciones conducentes a orientar cada vez más la búsqueda de los minerales que nos ocupan, desde el punto de vista geológico-estructural y mineralógico de los yacimientos.

Entre los minerales acompañantes a los compuestos de uranio en depósitos de formación hidrotermal, que pueden considerarse como “indicadores” de éstos, se mencionan:

- 1º Arseniuros y sulfoarseniuros de níquel y de cobalto, así como también el bismuto nativo y sus

productos de alteración, particularmente en depósitos relacionados con rocas ácidas. Los minerales de plata pueden asimismo servir de guía, máxime en el caso de que se asocien a los compuestos de níquel y cobalto citados precedentemente.

2º Fluorita de color violeta oscuro, de la variedad fétida, denominada así por el fuerte olor que despidе al golpearla o frotarla. Ello se debería a los efectos de radiactividad que destruiría su estructura reticular, originando en forma dispersa el agrupamiento de átomos de calcio y de flúor; a estos últimos se atribuye el olor que despidе en las condiciones expuestas y a aquél su coloración intensa.

3º Minerales de cobre en general — por lo menos en nuestro país — por cuanto los mismos están presentes, a veces en cantidad llamativa, en casi todos los yacimientos nacionales de uranio investigados hasta ahora.

Las posibilidades que ofrecen los materiales de origen sedimentario, tales como lutitas y margas bituminosas, depósitos de carbones, etc., cuya ubicación y geología es conocida en el país, están supeditadas en un todo a la certificación de su posible contenido en uranio; en tal sentido y debido al bajo contenido en tal elemento que registran por lo general estos materiales, se recomienda la extracción sistemática de muestras, en parte fraccionadas, que cubran la potencia de esas capas o bancos y la realización de minuciosos análisis.

En la revisión sistemática de las minas o yacimientos, conviene investigar también los desmontes, si los hubiere, máxime en el caso de que los mismos se hallan aterrados o inundados, operación que debe llevarse a cabo con cierto detenimiento.

Ya que los minerales supergénicos o secundarios de uranio son comúnmente amarillos o amarillo-verdosos, es preciso que todo afloramiento de este color sea reconocido, aun cuando existen compuestos oxidados metalíferos carentes de uranio de la misma coloración.

Asimismo, se aconseja la revisión de muestras existentes en museos y también de aquellas en poder de mineros. Acerca de este punto es interesante consignar que, de este modo, se descubrió la presencia de uranio en minerales insospechados, mucho antes de proceder al estudio de sus respectivos yacimientos.

Finalmente, a continuación, en una apretada síntesis, se indicarán las grandes áreas portadoras de minerales radioactivos reconocidos al presente en nuestro país, destacando sus principales rasgos geológicos y la mineralización de las manifestaciones y depósitos comprendidos en cada una de ellas. Con ello se pretende no sólo agrupar informaciones de carácter mineralógico y geológico expuestas en páginas anteriores, sino también — y este es el objetivo principal — señalar zonas en donde el prospector tendrá mayores posibilidades de hallar nuevos depósitos.

Dichas áreas son, de norte a sur, las siguientes (fig. 12):

1º *Santa Victoria*: Abarca la Puna salteña y jujeña, de los departamentos de Santa Victoria e Iruya (Salta)

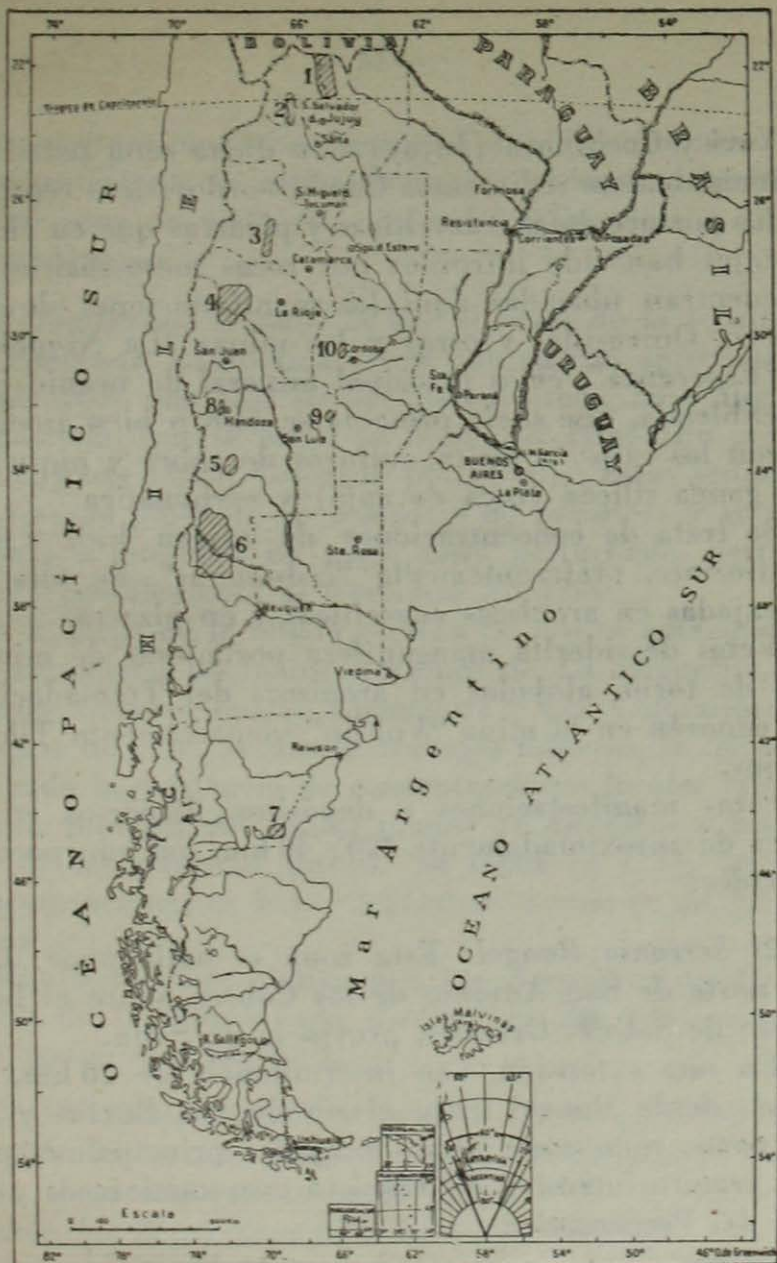


Fig. 12.—Ubicación de las áreas portadoras de minerales nucleares: 1. Santa Victoria; 2. Serranía Rangel; 3. Tinogasta; 4. Sañogasta, Guandacol, Jachal; 5. Sierra Pintada; 6. Malargüe, Chos-Malal; 7. Río Chico; 8. San Isidro; 9. Villa Larca; 10. Cosquín.

y Yavi y Cochinoa (Jujuy). En dicha zona participan principalmente sedimentos Cambro-ordovícicos representados por areniscas, cuarcíticas y pizarras que en ciertos parajes han sido intruídos por rocas mesosilíceas. Se encuentran ubicadas aquí las manifestaciones de Misquero, Quirusillal y otras y las minas "La Niquelina" y "Esperanza", cuyo principal mineral de uranio es la pechblenda, que suele presentarse solo o bien asociado, según los casos, a pirita, sulfuros de cobre y niquelina, en ganga silícea (roca de caja) y carbonática.

Se trata de concentraciones de origen hidrotermal, vetiformes, preferentemente "bolsoneras", de alta ley, encajadas en areniscas cuarcíticas y en pizarras.

Vetas de siderita manganífera portadoras de minerales de torio, alojadas en areniscas del Tremadociano, se conocen en la mina "Volcán", departamento Tilcara, Jujuy.

Estas manifestaciones y depósitos, dispersos en un área de aproximadamente 120×40 km, son aún poco conocidos.

2º Serranía Rangel: Esta zona se halla unos 70 km al norte de San Antonio de los Cobres, sobre el borde oeste de Salinas Grandes, provincia de Salta.

En una extensión, con intermitencia de 20 km, asoman, desde Rangel hasta el río de Las Burras y más al norte, numerosas vetas encajadas principalmente en un granito intrusivo en esquisto cuarzo-micáceos y filitas del Precámbrico.

Dichas vetas, de longitud y espesor variables, presumiblemente hipotermales, encierran concentraciones lenticulares, de reducido volumen, portadoras de torogum-

mita, torita y monacita, asociados a feldespatos, hematita y escasa galena, en ganga de cuarzo, siderita y baritina. En su zona de meteorización existen limonita y óxidos de manganeso.

3º *Tinogasta*: A unos 20 km al oeste de la localidad de Tinogasta, Catamarca, corre con rumbo aproximadamente N-S, una faja de lutitas calcáreas, amarillentas, radiactivas, que se extiende desde La Higuerita por el norte, hasta el río Colorado por el sur. Estos sedimentos forman parte de un complejo de areniscas y arcillas rojizas a moradas, en parte muy perturbado, perteneciente posiblemente al Terciario Superior.

A lo largo de la citada corrida de lutitas amarillentas se encuentran las manifestaciones de La Higuerita, La Flecha, Concepción, La Cieneguita y Los Colorados; en algunas de ellas, mediante trabajos mineros, se ha comprobado la existencia de concentraciones locales de carnotita, mineral que tapiza planos de diaclasas y fracturas de las referidas lutitas. El tenor en U_3O_8 de esas concentraciones es bajo, llegándose a valores de 0,20 % y más.

Manifestaciones similares a las descritas existen al norte de la mencionada corrida, en las proximidades del campo de Chaschuil.

4º *Sañogasta-Guandacol-Jachal*: Comprende ésta una amplia región que, con superficie aproximada de 15.000 km², tiene una extensión de norte a sur de 150 km y abarca los departamentos Chilecito, Lavalle e Independencia, en La Rioja, y Jachal en San Juan.

Las formaciones geológicas predominantes en dicha región son: pizarras ordovícicas, intruídas por granito

mesopaleozoico y por rocas ácidos y mesosilícicas, en la serranía de Sañogasta; calcáreos de igual edad en las zonas de Guandacol y Jachal, y areniscas y arcillas del Carbónico al Triásico con penetraciones de diques y filonescapas de diabasa.

En el área que nos ocupa se encuentran las minas "San Victorio", "Santa Brígida", "San Roque" y otras, y las manifestaciones La Porota, Santa Teresita, quebrada del Durazno, Guanchín, Borde Atravesado, Talampayá, Rincón de los Paez, Sonia y otros en La Rioja, y cerro El Pescado, cerro Los Pocitos, cerro del Túnel, Gualampi y La Delina, en San Juan.

La mineralización de todos estos depósitos y hallazgos consiste en uranofano, asociado a veces a carnotita, tyuyamunita y autunita, en su zona de meteorización, y en pechblenda acompañada de piritita, con sulfuros de cobre, en algunos casos, en niveles inferiores, en ganga de calcita, fluorita, baritina y trozos de la roca de caja.

Estas mineralizaciones de origen hidrotermal representan rellenos de grietas y fracturas abiertas tanto en pizarras como en areniscas y en rocas ígneas o en el contacto de aquéllas con éstas. Su contenido en uranio es variable y oscila entre menos de 0,20 % y 1 %.

En ciertos casos, como ser en las manifestaciones de Puesto Chepical, en San Juan, la precipitación del uranio estaría controlado por la existencia de niveles planíferos en areniscas carbónicas.

5º *Sierra Pintada*: Se trata de un área de aproximadamente 70×40 km, sita al oeste y en las cercanías de la ciudad de San Rafael, Mendoza, en cuya constitución geológica participan esquistos y grauvacas presumible-

mente precámbricos y areniscas del Carbónico, intruídos por masas de pórfiros cuarcíferos, porfirita y sus tobas.

En este ambiente se han localizado recientemente distintas manifestaciones radioactivas, irregulares, encajadas en brechas o en el contacto pórfiro-areniscas o areniscas-grauvacas que contienen en superficie uranofano, autunita y schroekingierita; en un solo caso se registró al presente la existencia de pechblenda.

Entre las manifestaciones existentes se mencionan: Cuesta de los Terneros I, Los Chañares, Tobas Blancas, El Alumbre y Puesto Agua del Toro.

6º Malargüe-Chos Malal: En esta región, que ocupa una superficie de alrededor de 250×100 km y que se extiende desde cerro Huemul por el norte hasta Ranchoeco por el sur y hasta Chihuido del Medio por el este, encontramos sedimentos del Jurásico y Cretácico principalmente, representados por areniscas, conglomerados, arcillas, etc., intruidos en partes por "necks", filones y diques de rocas mesosilíceas.

En ella se hallan los depósitos de cerro Huemul, Agua Botada, cerro Mirano y Pampa Amarilla, y las manifestaciones de Puesto Moya, Casa de Piedra, Arroyo de los Leones y las de la sierra de Ranquil-có, en Mendoza, y los depósitos de Rahueco y Chihuido del Medio, aparte de otros hallazgos, en Neuquén.

En todos estos casos la mineralización se presenta como impregnaciones en areniscas y en conglomerados que por lo general contienen material asfáltico y carbonoso, con carnotita, uranofano, carbonatos de cobre y óxidos de hierro, en su zona de meteorización, y con

pechblenda asociada a piritita y sulfuros de cobre (calcopiritita, bornita y calcosina) en su zona primaria.

Se trata de cuerpos de variada forma y tamaño que alcanzan un volumen que por lo que se conoce al presente, es de algunos miles hasta algunas decenas de miles de toneladas. Su ley en U_3O_8 varía entre 0,20 y 0,30 % y a veces más.

En Rahueco, la deposición del uranio y del cobre está regida por la existencia de material carbonoso y de troncos carbonizados alojados en bancos de areniscas claras de Kimeridgense.

Esta es una de las áreas más llamativas del país por el tipo de mineralización y la frecuencia de los hallazgos, cuya detenida prospección y exploración permitirá conducir al descubrimiento de depósitos de consideración, en cuanto a su volumen y ley.

7º Río Chico: A unos 90 km al oeste de Comodoro Rivadavia, Chubut, en la zona de cañadón Gato, se conocen de data reciente impregnaciones uraníferas en sedimentos del Paleoceno (Salamanqueano) que se alojarían a lo largo de grietas y fracturas. Su mineralización consiste en autunita y uranofano distribuidos en un material tobáceo, arcilloso y también en areniscas. La ley en U_3O_8 de dicho mineral es de alrededor de 0,20 %.

En cañadón Krueger, cercano a Gato, existen impregnaciones uraníferas irregulares en areniscas asfálticas correspondientes al Riochiquense (Terciario inferior).

Ciertos factores geológicos inducen a pensar que la prospección detenida de esa área, secundada por trabajos de reconocimiento mediante perforaciones, han de

conducir al hallazgo de nuevas zonas mineralizadas en las proximidades de las ya conocidas y aún en otros lugares.

Aparte de las áreas descriptas corresponde mencionar otras de menor extensión, a saber:

8º *San Isidro*: A poca distancia al oeste de la ciudad de Mendoza, en el contacto de terrenos triásicos con terciarios, se hallan los depósitos de "Independencia", "Soberanía" y "Papagayos", alineados de norte a sur en un recorrido de 4 km, cuyas características fueron expuestas en pág. 71.

9º *Villa Larca*: En la quebrada del Río Seco, próxima a Villa Larca, en San Luis, se encuentra ubicada la mina "La Estela", considerada en pág. 69. En la vertiente oriental de la sierra de Comechingones, casi a la misma altura de "La Estela", en la zona Río de los Sauces, se conocen vetas de fluorita que registran cierto grado de radioactividad.

10º *Cosquín*: Frente a la localidad del mismo nombre, Córdoba, al pie de la sierra Chica, se ha comprobado la existencia de minerales de uranio en terrenos arenosos y arcillosos que corresponderían al Terciario más superior o al Pleistoceno. Se trata de manifestaciones de baja ley (alrededor de 300 gramos por tonelada), reconocidas superficialmente, con intermitencia, en un recorrido de más de 4 km.

VII

“USO DEL DETECTOR GEIGER-MULLER Y DEL SCINTILOMETRO EN PROSPECCION”

En la prospección de yacimientos de minerales de uranio tiene gran importancia el registro de las radiaciones gamma, y, en consecuencia, la mayor parte de los detectores Geiger-Müller y scintilómetros operan con dicho tipo de radiaciones. Los detectores tipo gamma o beta-gamma y los scintilómetros tipo gamma, son los instrumentos más adecuados para los trabajos de localización de mineralizaciones radioactivas, como así también para el estudio de su distribución en detalle tanto en superficie como en labores subterráneas.

Este tipo de instrumento, una vez puesto en funcionamiento, registrará en cualquier lugar, como ya se expuso, la intensidad de la radioactividad de “fondo”; cuando el mismo ha sido usado durante cierto tiempo, dicha radioactividad deberá ser determinada varias veces durante el día, en sitios alejados de los depósitos de uranio.

La radioactividad de “fondo” puede variar de tiempo en tiempo como consecuencia de los cambios de la acumulación de energía cósmica que atraviesa la atmósfera y también por las variaciones del clima. Se destaca el hecho de que esa radioactividad es diferente, según

la naturaleza de las rocas en que se opera, siendo superior en ambientes graníticos y de esquistos cristalinos que en el de rocas calcáreas y arcillosas; puede aumentar durante las épocas húmedas, y por la misma causa es mayor en las minas húmedas que en las secas.

La radioactividad procedente de minerales de bajo contenido en uranio y torio, o bien de depósitos con pequeñas proporciones de compuestos de alta ley, puede ser detenida en buena parte por pocos centímetros de rocas o cubierta de acarreo, en tanto que la procedente de grandes masas de mineral sólo puede serlo por roca o cubierta, de 50 a 60 cm de espesor, cuando se utilizan detectores Geiger-Müller y algo más en el caso de los scintilómetros.

Algunos descubrimientos efectuados en encapes de cierta consideración, obedecen al hecho de que los mismos contenían trozos de mineral o radón —procedente de los depósitos— incluidos en las citadas cubiertas de acarreo.

Una serie de factores naturales pueden influir sobre los detectores Geiger-Müller haciendo que los mismos registren fuertes anomalías, aún en ausencia de minerales radioactivos. Entre dichos factores se destacan las lluvias, tormentas eléctricas, auroras boreales, etc. No deben efectuarse reconocimientos con detectores de radioactividad cuando dichas condiciones son particularmente intensas.

a) RECONOCIMIENTO DE CARACTER GENERAL: Para este tipo de trabajo, el prospector deberá caminar lentamente sobre la roca o la delgada cubierta que desee investigar, estableciendo las anomalías, que determinará por un

mayor número de descargas (cuentas), si hace uso de teléfonos o bien por un aumento en el registro de la aguja si el aparato que se utiliza está dotado de instrumentos de medición directa.

A tal efecto, si el aparato no dispone de sonda —o esta última, en el caso de detectores Geiger-Müller que la poseen— deberá ser llevado a una distancia de más o menos 3-4 cm de la roca y luego moverlo lentamente para lograr de este modo una mejor localización de la fuente de radioactividad. Si se trabaja con scintilómetros, que son más sensibles, la distancia de separación es mayor.

Conviene que las anomalías sean detectadas haciendo por lo menos dos veces el mismo recorrido, por cuanto las mismas pueden ser originadas por chaparrones anormales de rayos cósmicos o por cortocircuitos en los aparatos.

En estas operaciones es preciso prestar atención a que la ropa no se contamine con minerales radioactivos, ni llevar consigo relojes o brújulas con esferas luminosas.

Se deberá prestar atención a todo registro anómalo equivalente en 3 a 4 veces la intensidad de la radioactividad de "fondo".

Es aconsejable realizar tanto este tipo de reconocimiento como el de detalle, con antelación a cualquier disparo de dinamita dentro del área a estudiar, por cuanto con este último se pueden esparcir minerales radioactivos en una zona amplia, los que afectarían los verdaderos valores a determinar.

b) RECONOCIMIENTO EN DETALLE: Se efectúa caminando lentamente, tanto a lo largo como a lo ancho de las

formaciones o estructuras favorables, practicando una exploración sistemática mediante un relevamiento en reticulado o red. Los registros se realizan a lo largo de líneas o espacios dados, relacionándolos a estaciones, luego de llevar a cabo el estaqueo respectivo.

En dichos reconocimientos las líneas se distancian en 30 m o más, a lo largo de las cuales el operador no sólo debe tomar la lectura en las estaciones, sino también prestar atención a las anomalías que se manifiestan mientras camina entre ellas. Zonas particularmente favorables, de pequeña extensión, deben ser investigadas con reticulado de equidistancia de 2 a 15 m.

Estos estudios de mucho detalle son practicados generalmente por dos o más personas, con la utilización de más de un instrumento y haciendo uso de una cinta métrica colocada sobre una línea base y de otra dispuesta en sentido perpendicular a aquélla.

Para este tipo de relevamiento se aconseja el uso de aparatos de medición directa, ya que los mismos permiten determinar datos con mayor seguridad que los que pueden obtenerse con detectores Geiger-Müller provistos solamente de teléfonos.

Si se opera con un detector, se deberá mantener al mismo, durante la operación de relevamiento, cerca del suelo o bien deberá ser colocado sobre dos estacas llevadas para tal fin, procurando guardar, en lo posible, siempre la misma distancia entre el aparato y el suelo.

En el caso de utilización de un scintilómetro, la distancia a que deberá mantenerse de la superficie en la zona a estudiar será superior a la indicada precedentemente dada su mayor sensibilidad. Relevamientos de

esta índole se han efectuado adhiriendo el scintilómetro a la pierna, a la altura de la rodilla.

Cuando se emplean aparatos de medición directa como aquellos que registran impulsos por segundo o minuto, o bien miliroentgen por hora (mR/h), es importante anotar no sólo la lectura del dial, sino también la escala respectiva en que se encuentra operando el aparato.

Restando de cada lectura efectuada, la intensidad de la radioactividad de "fondo", que debe ser controlada de tiempo en tiempo, se obtienen los valores correspondientes a cada estación, los que luego son llevados a planos. La unión de valores iguales y la interpolación de otros, a modo de curva de nivel, conforman líneas denominadas "isocuentas" o "isoradio" —según se hayan determinado impulsos o miliroentgen— que dan una idea general de la distribución de los minerales radioactivos del subsuelo. Las líneas de referencia pueden ser también representadas como múltiplos de la radioactividad de "fondo" (fig. 13).

Las áreas anormales en vetas son, por ejemplo, de formas estrechas y esencialmente lineales, y la distribución irregular de sus minerales origina una configuración discontinua de la anomalía a lo largo de sus rumbos.

En todas las estaciones en que se comprueben anomalías debe procederse a extraer muestras con fines analíticos, particularmente de aquellas que acusaron valores altos, para de esta manera tener una idea de su contenido en uranio.

c) RECONOCIMIENTO EN LABORES SUBTERRÁNEAS: Tanto el detector Geiger-Müller como el scintilómetro resultan

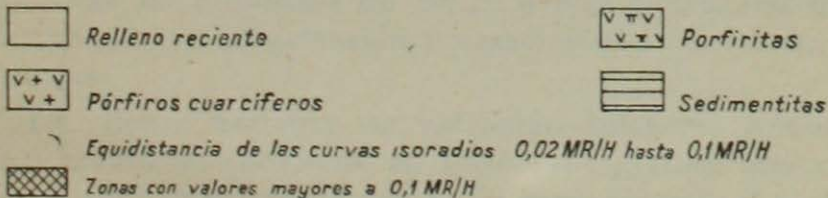
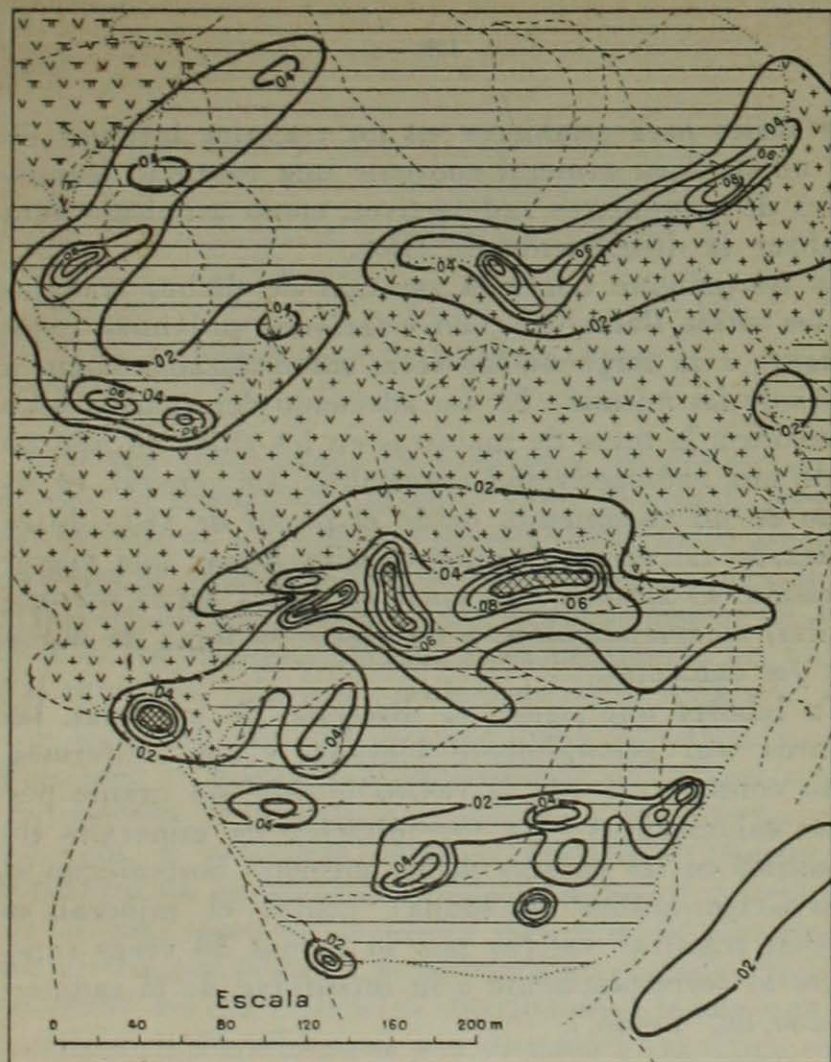


Fig. 13.—Relevamiento radiométrico en “Los Chañares”, Sierra Pintada (Prov. de Mendoza), según Belluco y Achen.

muy útiles para establecer en los trabajos internos de una mina, si su mineral contiene una cantidad significativa de compuestos radioactivos, como asimismo para localizar la distribución de ellos.

Es conveniente hacer la revisión de dichos trabajos en los sitios llamativos con estaciones próximas entre sí, tanto a lo largo de las áreas mineralizadas como a través de las mismas. El uso adecuado del aparato hace innecesaria la toma de muestras en los sitios en que no existe una radioactividad apreciable. En general, el estudio de un yacimiento, desde el punto de vista de su contenido en uranio, requiere, para lograr una mayor precisión, el muestreo sistemático de las zonas mineralizadas, recomendándose a tal efecto la toma de muestras por canaletas.

En labores que siguen la dirección de las vetas, las lecturas son generalmente elevadas y más uniformes, como consecuencia de la redistribución del uranio por aguas subterráneas y la precipitación de minerales secundarios en las paredes de las mismas. Sosteniendo el tubo Geiger-Müller (la sonda) contra el mineral, se pueden registrar valores por lo menos 30 veces superiores al correspondiente a la intensidad de la radioactividad de "fondo".

VIII

"TRABAJOS DE EXPLORACION"

Una vez comprobada la existencia de minerales de uranio, se recomienda llevar a cabo el estudio previo del yacimiento a los efectos de establecer, en lo posible, las características más salientes del mismo, esto es, largo y espesor de los afloramientos, en el supuesto de tratarse de un depósito virgen, leyes medias de las muestras extraídas, relaciones geológicas de la zona, etc.

Si los resultados que arrojaese dicha investigación demostraran en principio la presencia de una o varias concentraciones uraníferas que aconsejen un estudio más detenido, se procederá entonces, en primer término, a la realización de labores de reconocimiento a cielo abierto, las que, como en cualquier otro tipo de yacimiento metalífero, consisten en la apertura de cortes o trincheras, según las circunstancias, distribuídos a lo largo de las manifestaciones aflorantes y a distancias regulares unas de otras, en lo posible de 10, 20 o más metros, de conformidad con la extensión y características del o de los asomos.

De dichos trabajos se extraerán muestras comunes por medio de canaletas, en forma sistemática, teniendo en cuenta la impregnación de la roca de caja, si la hubiera,

La ubicación de los trabajos mencionados, como asimismo los valores analíticos obtenidos con los respectivos espesores a que corresponden las muestras, se registrarán en un relevamiento topográfico-geológico del yacimiento investigado.

Si los resultados logrados son satisfactorios, se pasará al desarrollo de la segunda etapa, que tendrá por misión reconocer ahora las posibilidades del mineral en profundidad, mediante la apertura de labores subterráneas e incluso de perforaciones, cuya ubicación está condicionada lógicamente a la topografía del terreno y a la conformación y posición del yacimiento. Los trabajos mineros comprenden, pues, galerías, socavones, chimeneas, etc., cuyo desarrollo depende lógicamente de la magnitud o de la irregularidad propia del depósito.

La ejecución de perforaciones desde el exterior, o bien desde el interior de la mina, contribuirá asimismo a reconocer con más prontitud las características del yacimiento que se desee estudiar.

Tratándose de acumulaciones uraníferas extensas, de posición más o menos horizontal, se recomienda, con el objeto de tener una idea general acerca de las perspectivas de los mismos, la realización de perforaciones dispuestas en un reticulado a equidistancia variable de 300 a 200 m y menos aún, según las características de los cuerpos mineralizados.

Si dichas masas ya acusaran un buzamiento de unos 30°, los sondeos podrían llevarse a cabo en perfiles separados entre sí unos 100 m, siendo la distancia entre las perforaciones de 50 m o menos aún.

De acuerdo con los resultados que se obtengan en este plan previo de exploración, se estrecharía la distancia

entre sondeos para de este modo delimitar los cuerpos mineralizados.

Independientemente de los estudios geológicos que se realicen con la finalidad de programar las labores de exploración, se recomienda muy especialmente y como complemento de aquéllos, llevar a cabo relevamientos radiométricos utilizando detectores Geiger-Müller o scintilómetros, en la forma expuesta al tratar el capítulo VII. Del conjunto de observaciones de una y otra índole surgirá, en definitiva, el plan de trabajo a desarrollar, tendiente al mejor logro de los fines que se persiguen.

IX

"RECOMENDACIONES RELACIONADAS CON EL MUESTREO Y CUBICACION DE YACIMIENTOS DE URANIO"

El método de muestreo a seguir depende, naturalmente, de las características mineralógicas y estructurales de los yacimientos a estudiar, factores éstos que deberán considerarse en la cubicación y valorización de los mismos.

Debido a que la concentración de uranio en vetas es sumamente irregular y variable, se aconseja, para determinar con mucha aproximación la ley media de los depósitos, extraer muestras por canaletas a distancias de 1 m una de otra y no sólo de la veta en sí, si ella se presenta bien definida, sino también de la roca de caja, por cuanto la misma puede contener minerales diseminados. En este caso se llevaría a cabo un muestreo fraccionado que permitiría establecer el tenor medio en uranio de toda la zona mineralizada útil.

Las canaletas de muestreos deberán tener un ancho de 5 cm por 2,5 a 3 cm de profundidad.

Las operaciones subsiguientes a la extracción de las muestras, esto es, la molienda y cuarteo de las mismas, es conveniente que sean efectuadas con toda prolijidad y a regla de arte, a efectos de operar, al practicarse el análisis químico, con un común verdaderamente representativo en cada caso.

Tratándose de minerales de baja ley o de yacimientos de vetas complejas, se recomienda extraer muestras de

conjunto grandes, de varios centenares de kilogramos, para de este modo lograr una cifra que refleje el verdadero contenido en uranio del mineral.

La ley mínima que puede resultar de interés es 0,10 %, pero todo depende del tipo de mineral y de otras características del yacimiento, como ser su magnitud, posibilidades de concentración y perspectivas de aprovechar otro u otros elementos útiles que pudieran acompañar a los minerales de uranio.

Si se parte de yacimientos vetiformes, los cálculos de reservas de mineral deberán efectuarse fraccionadamente, por cubos o bloques pequeños, delimitados por los sectores de veta muestreados, ya que comúnmente los cuerpos mineralizados son de poca extensión y están regulados por la estructura de las vetas.

En general, en la evaluación de los yacimientos uraníferos es preciso tener presente las relaciones genéticas y estructurales de los mismos para una mejor y más exacta interpretación de los fines perseguidos, relaciones que muchas veces no es posible definir si no se cuenta con suficientes estudios y trabajos de exploración.

En todas estas clases de operaciones de importancia es necesario contar con relevamientos topográfico-geológicos de las labores, en escala adecuada, en los que se indicarán con detalles la conformación de los cuerpos mineralizados, las zonas de impregnación de la roca de caja si las hubiera, las perturbaciones tectónicas que afectan a las vetas, los sitios de muestreos, señalando, además, espesores y leyes registradas en uranio y otros elementos acompañantes.

VICTORIO ANGELELLI

ANEXO

1º. — Decreto Ley Nº 22.477

Buenos Aires, 18 de diciembre de 1956.

VISTO que en el Código de Minería no figuran los materiales nucleares y la necesidad de una legislación que contemple las particulares características que a dichos materiales se refieren, y

CONSIDERANDO:

Que el desarrollo industrial de nuestro país está actualmente limitado a causa de su gran déficit de energía;

Que esta situación tiende a agravarse por el crecimiento progresivo de las necesidades;

Que, por consiguiente, el porvenir inmediato depende de la posibilidad de explotar, además de las usuales, otras fuentes de energía, como lo es la energía nuclear, que puede extraerse de ciertos elementos químicos denominados por ello genéricamente "combustibles nucleares";

Que éstos no se ofrecen libremente en el mercado internacional, por cuya causa cada país deberá obtenerlos fundamentalmente de sus propias fuentes naturales;

Que el costo de la energía producida mediante combustibles nucleares disminuye progresivamente con los sucesivos perfeccionamientos técnicos y se presume que podrá, a breve plazo, competir con toda otra disponible;

Que es, por tanto, conveniente intensificar la obtención de combustibles nucleares, a fin de acumularlos en cantidad suficiente para utilizarlos cuando sea oportuno;

Que los peligros que presenta la manipulación de elementos nucleares y la necesidad de su conservación y custodia, dado que su pérdida afectaría primordiales intereses nacionales, siendo también preciso asegurar su utilización con el máximo de rendimiento, obligan a crear respecto a los minerales de donde provienen o que originen dichos elementos nucleares, un régimen legal diverso del que para las demás sustancias estatuye el Código de Minería y un régimen de comercialización diferente del que se aplica a los combustibles químicos;

Por ello,

EL PRESIDENTE PROVISIONAL DE LA NACIÓN ARGENTINA, EN EJERCICIO
DEL PODER LEGISLATIVO, DECRETA CON FUERZA DE

LEY :

Sección I. Glosario

Artículo 1º. Definiciones. — A los efectos del presente decreto-ley, se formulan las siguientes definiciones:

- 1º ELEMENTO NUCLEAR: Es todo elemento químico que la ley declare tal, a causa de ser posible fuente de energía atómica en cantidades técnicamente importantes, y porque su inclusión en el régimen de este decreto-ley convenga por razones de protección común o de interés nacional.
- 2º MINERAL NUCLEAR Y MATERIAL NUCLEAR: Es todo mineral o material, respectivamente, que contiene elementos nucleares en concentraciones industrialmente utilizables a juicio de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

- 3º YACIMIENTO NUCLEAR: Es todo depósito natural de mineral nuclear.
- 4º MINA NUCLEAR: Es todo yacimiento nuclear registrado, cuyos límites han sido determinados por mensura y amojonamiento.
- 5º PROSPECCIÓN NUCLEAR: Es el conjunto de operaciones que tienen por objeto la búsqueda de minerales nucleares y que no requieren perforaciones ni remociones apreciables del terreno.
- 6º CATEO NUCLEAR: Es el conjunto de operaciones que tienen por finalidad la búsqueda de minerales nucleares y que requieren perforaciones o remociones apreciables del terreno.
- 7º EXPLORACIÓN DE UN YACIMIENTO O DE UNA MINA NUCLEAR: Es el conjunto de operaciones tendientes a la determinación de las reservas y ley o leyes medias del yacimiento.
- 8º PREPARACIÓN DE UNA MINA NUCLEAR: Es el conjunto de trabajos minerales, tales como piques, galerías, chimeneas y otros; instalación de campamentos, máquinas, medios de elevación y transportes; y cualquier otra labor previa que requiera la explotación del yacimiento.
- 9º EXPLOTACIÓN NUCLEAR: Es el conjunto de operaciones que tienen por objeto la extracción y beneficio de los minerales nucleares que se encuentren en una mina nuclear o en los desmontes, relaves, escoriales, gangas, placeres o materiales de cualquier otra explotación minera.
- 10º UNIDAD DE EXPLOTACIÓN NUCLEAR: Es un sólido determinado conforme a lo dispuesto en los artículos 224 y 230 del Código de Minería que se tomará en cuenta a los efectos de la demarcación de una mina nuclear.
- 11º COMISIÓN: Es la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Sección II. Disposiciones preliminares

Artículo 2. Régimen legal.— El régimen legal de los elementos y minerales nucleares, así como el de los yacimientos y las minas que los contengan, será el indicado en el presente decreto-ley, aplicándose supletoriamente las disposiciones del Código de Minería y la Ley n^o 10.273, para las sustancias de primera categoría.

Artículo 3. Representación.— La Comisión representa a la Nación en todo lo concerniente a las disposiciones de este decreto-ley.

Artículo 4. Uranio, torio y plutonio.— Decláranse elementos nucleares el uranio, el torio y el plutonio.

Artículo 5. Propiedad.— Los yacimientos, minas, desmontes, relaves, escoriales, gangas u otros depósitos que contengan minerales nucleares, son bienes privados de la Nación o de las Provincias según el lugar en que se encuentren. Sólo pueden ser enajenados o transferidos al Estado Nacional, el que no podrá enajenarlos.

Artículo 6. Utilidad pública.— El cateo nuclear y la explotación de las minas nucleares es de utilidad pública de un orden superior al de cualquier otro cateo o explotación minera.

Sección III. De la prospección, cateo y registro

Artículo 7. Prospección y cateo.— La búsqueda de minerales nucleares puede comprender dos grupos de operaciones: prospección nuclear y cateo nuclear.

Artículo 8. Libertad de prospección.— La prospección nuclear es libre en dominios de propiedad pública o privada, excepto a menos de cinco kilómetros de las fronteras y en los lugares

indicados en los artículos 11, inciso 1º de este decreto-ley; 31, incisos 1º, 2º y 3º; 35 y 36 del Código de Minería.

No obstante, podrá efectuarse prospección nuclear en los lugares mencionados en los artículos citados en segundo y tercer término, siempre que el prospector cuente con la autorización que exigen las referidas disposiciones.

Artículo 9. Prospección y estudios en otras minas.— La Comisión puede efectuar prospección nuclear y estudios afines en minas denunciadas, registradas o concedidas.

Artículo 10. Auxilio de la fuerza pública.— Si el propietario del terreno se negare a permitir la prospección nuclear el interesado podrá solicitar de la Autoridad Minera el auxilio de la fuerza pública.

El auxilio le será concedido, previa comprobación de su identidad y antecedentes de buena conducta, para realizar la prospección nuclear en fechas y horas determinadas durante el plazo no mayor de un mes y en el lugar y extensión que haya fijado la Autoridad Minera.

El prospector deberá causar el mínimo de perturbación y pagará en todos los casos los daños y perjuicios que ocasionare.

El solicitante de la fuerza pública será considerado como descubridor de todo yacimiento nuclear que se denuncie con posterioridad al requerimiento de la fuerza pública, en el lugar y extensión autorizados, y antes de vencido el plazo acordado.

Artículo 11.. Cateo.— El cateo nuclear se regirá por las disposiciones del Título III, Sección I, parágrafos I y II del Código de Minería, con las siguientes modificaciones:

1º El permiso de cateo nuclear no impide la prospección nuclear libre dentro de la superficie otorgada, siempre

que se realice a una distancia mayor de trescientos metros de cada trabajo de cateo nuclear.

2º Si en la prospección a que se refiere el inciso precedente se descubriese un yacimiento nuclear, el prospector será el descubridor, con todos los derechos que acuerda este decreto-ley. Las unidades de explotación nuclear que se acuerden conforme a lo dispuesto en el artículo 12 no podrán superponerse a ninguna de las zonas de trescientos metros de radio a que se refiere el inciso precedente y serán excluidas del permiso de cateo.

3º No serán de aplicación los artículos 29 y 38 del Código de Minería.

4º Para el otorgamiento de permisos de cateo, la Autoridad Minera dará prioridad y preferencia a los de cateo nuclear.

5º Producida la caducidad de un permiso de cateo nuclear, quedará automáticamente como titular del mismo la Comisión.

6º No rigen para la Comisión las limitaciones del número de unidades de cateo, ni las de duración fijadas por los artículos 27 y 28 respectivamente del Código de Minería.

7º La Autoridad Minera deberá comunicar a la Comisión todos los permisos de cateo nuclear que otorgue.

Artículo 12. Registro.—El descubridor de un yacimiento nuclear formulará la manifestación del descubrimiento conforme a lo dispuesto en el Código de Minería y solicitará la asignación de ochenta unidades de explotación nuclear a los efectos del artículo 14 de este decreto-ley. Simultáneamente remitirá copia de la presentación y muestra del mineral a la Comisión.

Esta procederá a comprobar la existencia del yacimiento, apreciar su importancia, dictaminar sobre la procedencia del regis-

tro y fijar, en el término que establezca la reglamentación, la ubicación de las ochenta unidades dentro de las cuales no se registrarán otras manifestaciones posteriores a la primera.

La Autoridad Minera, previo dictamen favorable de la Comisión, procederá al registro y asignación de las unidades, remitiendo a la segunda una copia de las actuaciones.

Artículo 13. Reserva.— Registrado un yacimiento nuclear, la Comisión decidirá su reserva o, previo convenio con la provincia, su explotación.

Artículo 14. Derechos del descubridor.— El descubridor de un yacimiento nuclear registrado gozará de los siguientes derechos:

- 1º Una gratificación en dinero a cargo de la Comisión.
- 2º La explotación en las condiciones que por contrato la Comisión establezca, y de acuerdo con la reglamentación respectiva.
- 3º Una participación en el producido del yacimiento.

Si el yacimiento quedara en reserva, la Comisión convendrá con el descubridor entre mantenerle los derechos emergentes de los incisos 2º) y 3º) o concederle una indemnización a cambio de la renuncia a los mismos.

La reglamentación del presente decreto-ley establecerá el monto de los beneficios de los incisos 1º) y 3º), y de la indemnización indicada en el párrafo precedente.

Artículo 15. Prospección nuclear obligatoria.— Dentro de las zonas que la Comisión delimite en razón de que se presuma la existencia de minerales nucleares, la Autoridad Minera no otorgará ninguna concesión, sin previa prospección realizada por aquélla.

Sección IV. De la explotación

Artículo 16. Explotación.—La exploración, preparación y explotación de yacimientos o minas nucleares será realizada por los particulares, con arreglo a los contratos y demás especificaciones técnicas que determine la Comisión, o por la misma Comisión cuando la imponga razones de interés nacional o no hubiere particulares que tomaren a su cargo esas explotaciones.

Artículo 17. Convenios.—A los efectos del artículo anterior la Comisión celebrará con las provincias convenios respecto de los yacimientos nucleares que hubiera en ellas. Estos convenios especificarán la participación que corresponda a la provincia respectiva. No le corresponderá beneficio alguno en el caso de yacimientos o minas que hayan sido adquiridos por la Comisión.

Artículo 18. Contratos.—En los contratos que celebre la Comisión para la explotación de yacimientos nucleares deberá constar obligatoriamente, bajo pena de nulidad:

- 1º Su duración, que no podrá ser mayor de veinte años, renovable por períodos de diez años, salvo denuncia con no menos de seis meses de anticipación al próximo vencimiento;
- 2º La prohibición de ceder o transferir el contrato;
- 3º La necesidad de autorización previa de la Comisión para subcontratar;
- 4º La obligación del contratista de realizar la explotación con sujeción al control y a las directivas que al efecto le fije la Comisión.

Artículo 19. Facultades del contratista.—El contratista podrá denunciar el contrato durante el primer año de vigencia. Si no

lo hiciere, se fijarán anualmente las cantidades máximas y mínimas de productos a obtener.

Artículo 20. Obligaciones de los contratistas.— Son obligaciones de los contratistas de explotación independientemente de las que les sean fijadas en el contrato:

1º Remitir a la Comisión:

a) En el primer trimestre de cada año un informe sobre los trabajos efectuados durante el año anterior y el programa de los que se desarrollarán en el transcurso del año siguiente; informe y programa sujetos a la aprobación de la Comisión.

b) La comunicación, dentro de los treinta días, de eventuales hallazgos de nuevos yacimientos nucleares en sus unidades de explotación, indicando la probable corrida, recuesto, potencia, rendimiento y calidad.

2º Facilitar a la Comisión las investigaciones que ésta considere necesarias para controlar el estricto cumplimiento de lo dispuesto en el presente cuerpo legal y en el contrato.

Artículo 21. Sanciones.— En el caso de incumplimiento de lo dispuesto en el artículo anterior o de las cláusulas del contrato, se aplicarán las siguientes sanciones según la gravedad de la infracción:

1º Multa, que no podrá ser superior al 10 % del valor del contrato;

2º Suspensión de los trabajos hasta tanto el contratista haya regularizado su situación;

3º Caducidad del contrato.

La aplicación de una de las sanciones expresadas no excluye la de cualquiera de las otras, facultándose a la Comisión para adoptar las medidas coercitivas que considere necesarias para hacer efectivas las que se indican en los apartados 1º) y 2º).

Artículo 22. Descubrimientos en otras minas.— Cuando se descubriese la existencia de minerales nucleares en una mina concedida para otra explotación, la Comisión determinará el procedimiento a seguir, que podrá ser:

- 1º La continuación de la explotación de la mina por el concesionario, con la obligación de entregar los minerales nucleares a la Comisión, dentro del régimen que se convenga;
- 2º La extracción y/o beneficio por la Comisión de las porciones y/o gangas que contengan minerales nucleares, en las condiciones más convenientes para no perturbar innecesariamente la explotación en curso;
- 3º La entrega a la Comisión de los productos de la primitiva explotación al precio de plaza o al que se fije por peritos, si los minerales nucleares acompañaran a dichos productos. En este caso, el incumplimiento por el concesionario de contratos preexistentes con terceros será considerado por causa de fuerza mayor;
- 4º La expropiación de la mina.

Artículo 23. Causas de expropiación.— La circunstancia de haber optado la Comisión por alguno de los procedimientos, 1º), 2º) o 3º) del artículo anterior, no le impedirá dejarlo sin efecto y expropiar la mina, en cualquiera de los siguientes casos:

- 1º Cuando el concesionario no cumpla las condiciones impuestas por la Comisión para llevar a cabo la explotación en la forma convenida;
- 2º Cuando la explotación resultare imposible por motivos de orden técnico;
- 3º Cuando la existencia del mineral nuclear resultare superior a la prevista.

Artículo 24. Ocultación maliciosa.— Si se comprobare que el concesionario ha ocultado maliciosamente la existencia en su mina de minerales nucleares la Autoridad Minera, a requerimiento de la Comisión, declarará caduca la concesión. El ex concesionario sólo tendrá derecho a una indemnización por las mejoras e instalaciones que hubiere introducido, cuyo valor será fijado por la Comisión.

Sección V. De la comercialización

Artículo 25. Utilización.— El Estado no puede enajenar elementos o materiales nucleares. Exceptúanse los casos del artículo 27, y aquellas cantidades que fije anualmente la Comisión para usos imprescindibles de industrias nacionales.

La Comisión puede poner a disposición de terceros los elementos o materiales nucleares que posea, para su utilización a título oneroso o gratuito. Una vez utilizados deberán volver a su tenencia.

Artículo 26. Importación.— La importación de elementos o materiales nucleares deberá ser autorizada en cada caso por la Comisión. Introducidos en el país, quedarán bajo su fiscalización.

Artículo 27. Exportación.— La exportación de materiales nucleares será realizada exclusivamente por la Comisión, debiendo

ser autorizada en cada caso por el Poder Ejecutivo, y sólo a cambio de:

- 1º Otros materiales nucleares, por razones de mayor pureza o conveniencia para sus aplicaciones;
- 2º Materiales necesarios para el aprovechamiento de energía nuclear;
- 3º Reactores o fábricas para el tratamiento de materiales utilizables en la industrialización de energía nuclear.

Sección VI. Disposiciones complementarias

Artículo 28. Minas nucleares actuales.— Las minas nucleares concedidas a la fecha de sanción de este decreto-ley serán expropiadas. El ex concesionario tendrá derecho para actuar como contratista en las condiciones que se expresan en el artículo 14, inciso 2º).

Artículo 29. Código de Minería.— El presente texto será agregado como “apéndice” al Código de Minería, quedando derogadas todas las disposiciones que se le opongan.

Artículo 30. Código Penal.— Agrégase al artículo 212, inciso 1º), del Código Penal, el siguiente apartado: “c) materiales nucleares”.

Artículo 31. Orden Público.— Las disposiciones de este decreto-ley son de orden público.

Artículo 32.— El presente Decreto-Ley será refrendado por el Excmo. Señor Vicepresidente Provisional de la Nación y por los

Señores Ministros Secretarios de Estado en los Departamentos de Interior, Ejército, Marina, Aeronáutica, Hacienda, Comercio e Industria.

Artículo 33.— Comuníquese, publíquese, dése a la Dirección General del Boletín Oficial y archívese.

Fdo.: ARAMBURU

ISAAC F. ROJAS

LAUREANO LANDABURU

TEODORO HARTUNG

ARTURO OSSORIO ARANA

JULIO CÉSAR KRAUSE

EUGENIO A. BLANCO

RODOLFO MARTÍNEZ

2º. — Decreto Nº 5.423

Buenos Aires, 23 de mayo de 1957.

Visto el proyecto de reglamentación del Decreto-Ley nº 22.477 del 18 de diciembre de 1956, elevado por la Comisión Nacional de Energía Atómica, y

CONSIDERANDO:

Que es necesario arbitrar los recursos legales tendientes a hacer factible la aplicación práctica de dicho Decreto-Ley, y que el referido proyecto de reglamentación consagra un adecuado régimen para cumplir esta finalidad;

Por ello,

EL PRESIDENTE PROVISIONAL DE LA NACIÓN ARGENTINA

DECRETA:

Artículo 1º. Apruébase la Reglamentación del Decreto-Ley nº 22.477 del 18 de diciembre de 1956, que corre agregada al presente decreto y que consta de 25 fojas.

Artículo 2º. El presente decreto será refrendado por los señores Ministros Secretarios de Estado en los Departamentos de Interior, de Comercio e Industria y de Hacienda.

Artículo 3º. Comuníquese, publíquese, dése a la Dirección General del Boletín Oficial y archívese.

Fdo.: ARAMBURU

C. ALCONADA ARAMBURÚ

J. C. CUETO RÚA

A. KRIEGER VASENA

Reglamentación del Decreto-Ley Nº 22.477/56

CAPITULO I

PROSPECCIÓN NUCLEAR

Artículo 1º. Podrá efectuarse libremente prospección nuclear en todo el territorio de la República, tanto en dominio de propiedad pública como privada, excepto:

- a) A menos de 5 kilómetros de las fronteras;
- b) A menos de 300 metros de cada trabajo de cateo nuclear en ejecución, dentro de la superficie comprendida por un permiso de cateo nuclear otorgado;
- c) En el recinto de todo edificio y en el de los sitios murados;
- d) En los jardines, huertas y viñedos, murados o sólidamente empalizados; y no estando así, la prohibición se limitará a un espacio de 10.000 metros cuadrados en los jardines, y de 25.000 metros cuadrados en los huertos y viñedos;
- e) A menor distancia de 40 m de las casas y de 5 a 10 m de los demás edificios;
- f) A menor distancia de un kilómetro de los sitios fortificados;
- g) Dentro de los límites de minas denunciadas, registradas o concedidas.

Artículo 2º. Podrá efectuarse prospección nuclear en los lugares a que hacen referencia los enunciados c), d) y e) del artículo precedente, previo consentimiento de quien ejerza la tenencia del inmueble. En el caso del enunciado f) deberá gestionarse el permiso ante la autoridad militar que corresponda,

Artículo 3º. El prospector pagará en todos los casos los daños y perjuicios que ocasione.

Artículo 4º. El propietario o tenedor del terreno sólo puede oponerse a la prospección nuclear en los casos previstos en los artículos 8 del Decreto-Ley nº 22.477/56 y 1º de este Reglamento. Si la oposición no se fundase en estas causales, o si el interesado las considerase indebidamente invocadas, éste podrá solicitar a la autoridad minera el auxilio de la fuerza pública.

Artículo 5º. La solicitud ante la autoridad minera deberá hacerse por escrito, ya sea por telegrama colacionado u otro modo fehaciente. El solicitante podrá exigir recibo de la solicitud, la que imprescindiblemente contendrá:

- a) Motivos y antecedentes de la petición;
- b) Determinación del inmueble donde se presume la existencia del mineral nuclear;
- c) Individualización del propietario o tenedor del terreno;
- d) Lugar o zona precisa donde quiere realizar la prospección;
- e) Procedimiento por el que la llevará a cabo.

Artículo 6º. El solicitante acreditará su identidad y antecedentes de buena conducta, ésto con certificado policial o declaración de dos testigos, ya sea ante la autoridad minera o policial actuantes, según cuál se halle más próximo al lugar que se quiera prospectar.

Artículo 7º Recibida la petición de auxilio de la fuerza pública, la autoridad minera verificará si cumple los requisitos de los artículos anteriores y demás condiciones que hacen a su procedencia. Caso afirmativo, y dentro de un término no mayor de quince días contados a partir de la fecha de recepción de la

petición, fijará la extensión a prospectar en el lugar indicado en la solicitud y requerirá la intervención de la fuerza pública más cercana al mismo.

Artículo 8º. Ante el requerimiento de su intervención por la autoridad minera, la fuerza pública citará al peticionante para que comparezca dentro de un plazo prudencial y le fijará las fechas y horas, durante el plazo no mayor de un mes, en que podrá efectuar prospección nuclear en la extensión fijada por la autoridad minera. Notificará esta autorización a quien ejerza la tenencia del terreno.

Artículo 9º El peticionante de auxilio de la fuerza pública no abonará suma alguna por la prestación de los servicios a que hace referencia el artículo 10 del Decreto Ley nº 22.477/56.

Artículo 10º. La autoridad minera y la fuerza pública actuarán con la mayor diligencia teniendo en cuenta que la búsqueda de yacimientos nucleares reviste carácter de utilidad pública. Los funcionarios y empleados nacionales o provinciales que violasen esta obligación, sin perjuicio de las sanciones administrativas que corresponda aplicarles, serán responsables por los daños y perjuicios que su morosidad ocasione.

Artículo 11º. La Comisión deberá efectuar prospección nuclear y estudios afines en toda mina denunciada, registrada o concedida en que presumiese la existencia de minerales nucleares. El concesionario o administrador de la mina deberá autorizar y facilitar la realización de las tareas mencionadas y especialmente:

- a) Suministrar, siempre que sea posible y a título oneroso, alojamiento, uso de gamela y proveeduría al personal de la Comisión;

- b) Colaborar, conviniendo con el jefe del personal de la Comisión las medidas tendientes a facilitar la prospección y los estudios.

Por su parte la Comisión deberá:

- a) Abonar todos los gastos en que incurra;
- b) Tratar de no obstaculizar ni perjudicar las labores mineras en ejecución;
- c) Pagar al personal obrero eventualmente puesto a su disposición y el costo en mina de los materiales de consumo utilizados para el mejor éxito de sus tareas;
- d) Indemnizar por los perjuicios directos e inmediatos que origine.

CAPITULO II

PROSPECCIÓN NUCLEAR OBLIGATORIA

Artículo 12º. Dentro del lapso de 90 días la Comisión delimitará en cada provincia las zonas en que se presume la presencia de minerales nucleares, cursando la información pertinente a la autoridad minera, cumplido lo cual, el resto del territorio quedará liberado de las disposiciones del artículo 15 del Decreto-Ley nº 22.477/56.

Artículo 13º. Cuando nuevos elementos de juicio así lo aconsejen, la Comisión podrá delimitar, a los efectos del artículo 15 del Decreto-Ley nº 22.477/56, otras zonas no previstas originariamente en cumplimiento del artículo precedente, informando en cada caso a la autoridad minera.

Artículo 14º. Tan pronto lo permitan los resultados obtenidos en la prospección nuclear, la Comisión liberará las mismas

parcial o totalmente de las previsiones del artículo 15 del Decreto-Ley n^o 22.477/56.

Artículo 15^o. La autoridad minera informará a la Comisión sobre todo pedido de concesión minera para la explotación de minerales no nucleares, existentes a la fecha de promulgación del Decreto-Ley n^o 22.477/56 y de aquellos que se efectúen con posterioridad, si se encuentran en las zonas delimitadas a los efectos del artículo 15 de dicho Decreto-Ley.

Artículo 16^o. Dentro de los 90 días de recibida la comunicación de la autoridad minera, la Comisión efectuará prospección nuclear en el área correspondiente a cada pedimento y se expedirá sobre los resultados obtenidos.

Artículo 17^o. Si la prospección nuclear resultase negativa, la superficie afectada al pedimento quedará automáticamente liberada de la zona delimitada a los fines del artículo 15 del Decreto-Ley n^o 22.477/56 y la autoridad minera procederá en consecuencia.

Artículo 18^o. Si la prospección nuclear efectuada por la Comisión diese origen al descubrimiento de un yacimiento nuclear económicamente explotable como tal, serán de aplicación los artículos 12 y 13 del Decreto-Ley n^o 22.477/56 y sus reglamentarios, debiendo la autoridad minera registrar el yacimiento nuclear directamente a nombre de la Comisión. No le corresponderán al peticionante de concesión los derechos que acuerda el artículo 14 del mencionado Decreto-Ley pero, decidida la exploración y/o explotación del yacimiento, tendrá prioridad a los fines de lo dispuesto en el artículo 16 del mismo.

Artículo 19^o. Si como resultado de la prospección nuclear la Comisión efectuase el descubrimiento de mineral nuclear de por

si no económicamente explotable, informará en tal sentido a la autoridad minera a fin de que dé curso al pedido de concesión en la forma solicitada, debiendo la Comisión actuar de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 22 del Decreto-Ley n° 22.477/56.

CAPITULO III

CATEO NUCLEAR

Artículo 20°. El cateo nuclear está regido por el Título III, Sección I, parágrafos I y II del Código de Minería con las modificaciones establecidas en el artículo 11 del Decreto-Ley número 22.477/56.

Artículo 21°. El concesionario de un pedido de cateo nuclear pagará el canon que fija el Código de Minería para el caso de los minerales de primera categoría.

Artículo 22°. El permisionario de cateo nuclear deberá destacar claramente en el terreno la ubicación de los trabajos que realiza. La limitación de la libre prospección nuclear mencionada en el artículo 11, inciso 1° del Decreto-Ley n° 22.477/56, no rige en el emplazamiento de labores de cateo nuclear abandonadas o suspendidas por un término mayor de treinta días sin causa debidamente justificada.

Artículo 23°. Los derechos acordados a los prospectores en los incisos 1° y 2° del artículo 11 del Decreto-Ley n° 22.477/56, son igualmente válidos en cateos nucleares de la Comisión.

Artículo 24°. Si fuese necesario a los efectos de fijar en el terreno las unidades de explotación nuclear que se acuerden conforme al artículo 12 del Decreto-Ley n° 22.477/56, las áreas que

se excluyan por estar afectadas a trabajos de cateo nuclear se considerarán como octógonos regulares circunscriptos a una circunferencia de 300 metros de radio y con centro en la respectiva labor de cateo.

Artículo 25º. Vencidos los plazos del artículo 28 del Código de Minería o revocado el permiso de cateo por aplicación del artículo 39 del mismo Código, el permiso de cateo nuclear se transferirá automáticamente a favor de la Comisión, aunque no medie denuncia de ésta.

Artículo 26º. La Comisión podrá renunciar a los permisos de cateo de que sea titular; se considerará que ha renunciado de hecho a uno de ellos si en el lapso de dos años desde su concesión, no manifestase descubrimiento de mineral nuclear registrable en el mismo.

CAPITULO IV

DESCUBRIMIENTO Y REGISTRO

Artículo 27º. Producido el descubrimiento de un yacimiento nuclear no registrado, el descubridor formulará la manifestación del hallazgo ante la autoridad minera de conformidad con lo establecido en los artículos 113 y siguientes del Código de Minería, pero presentando el escrito en tres ejemplares y solicitando la asignación de 80 unidades de explotación nuclear.

Artículo 28º. La autoridad minera devolverá al descubridor dos ejemplares del escrito con las constancias exigidas por el artículo 116 del Código de Minería, quien deberá remitirlos de inmediato a la Comisión, acompañando otra muestra del mineral. La Comisión devolverá al descubridor un ejemplar del escrito con la indicación del día y hora de recibida la presentación.

Artículo 29º. En un plazo no mayor de 120 días a partir de la fecha de recibida la manifestación de descubrimiento en la Comisión, ésta procederá a comprobar la existencia del yacimiento, estimar su importancia y dictaminar, por resolución de su Directorio, acerca de la procedencia del registro.

Artículo 30º. No se registrará ningún yacimiento cuyo presunto contenido de uranio metálico sea menor de cinco (5) toneladas con una ley media del mineral inferior a 0,1 por ciento de uranio.

Artículo 31º. Sin perjuicio de las acciones penales que correspondieren, la denuncia falsa y maliciosa originará la obligación del denunciante de pagar los gastos que haya hecho incurrir, previo sumario que se abrirá al efecto .

Artículo 32º. Si la decisión de la Comisión fuera contraria a la procedencia del registro, se lo comunicará a la autoridad minera y ésta al solicitante, quedando anulada la manifestación de descubrimiento. El descubridor podrá pedir a la Comisión revocatoria de su resolución dentro de los 90 días de notificada ésta, exponiendo sus fundamentos.

Artículo 33º. La improcedencia del registro no impide al descubridor o a terceros formular otra manifestación de descubrimiento en las proximidades del anterior.

Artículo 34º. Cualquiera sea la decisión acerca de la procedencia del registro, el descubridor conservará todos los derechos de cateos que anteriormente tuviera, si a la fecha no hubieran fenecido.

Artículo 35º. Declarada la procedencia del registro, la Comisión dentro de un plazo de noventa días delimitará la ubicación de las 80 unidades de explotación nuclear, o sea en total 480 hectá-

reas, y luego por mensura fijará en el terreno su perímetro, confeccionando el plano correspondiente. Si en la extensión fijada, quedara parcial o totalmente incluída otra manifestación posterior de descubrimiento, esta quedará anulada en cuanto a la porción incluída, aunque hubiere sido ya registrada.

Artículo 36º. La Comisión comunicará su decisión a la autoridad minera, acompañando copia del plano a que se refiere el artículo anterior. La comunicación y el plano, serán agregados al expediente del registro.

Artículo 37º. Para el registro se cumplirán las formalidades que establece el Título VI, sección I, parágrafo II del Código de Minería.

Artículo 38º. El registro de una mina nuclear a favor del descubridor no concede a éste otros derechos que los mencionados en el artículo 14 del Decreto-Ley nº 22.477/56, según lo establece el artículo 12 del mismo.

CAPITULO V

DERECHOS DEL DESCUBRIDOR

Artículo 39º. El monto de la gratificación a que se refiere el inciso 1º del artículo 14 del Decreto-Ley nº 22.477/56, se regirá exclusivamente por la distancia en línea recta que separa al nuevo yacimiento nuclear registrado del más cercano registrado con anterioridad, según la escala siguiente:

a) A menos de 25 km	\$ 10.000
b) Entre 25 y 50 km	„ 20.000
c) Entre 50 y 100 km	„ 30.000
d) A más de 100 km	„ 50.000

Artículo 40º. La gratificación que corresponda al descubridor le será abonada tan pronto el Directorio de la Comisión produzca el dictamen a que hace referencia el artículo 29 de esta Reglamentación, declarando procedente el registro de la manifestación de descubrimiento.

Artículo 41º. La participación en el producido del yacimiento que determina el inciso 3º del artículo 14 del Decreto-Ley Nº 22.477/56 se hará efectiva en el momento en que el mismo entre en explotación, no correspondiéndole al descubridor participación en el producido como resultado de las labores de explotación. Iniciada la explotación, el descubridor percibirá durante la vida útil del yacimiento el 5 % del valor de los minerales nucleares obtenidos, susceptibles de aprovechamiento económico.

Artículo 42º. Las liquidaciones y pagos se realizarán trimestralmente. La Comisión fijará anualmente los precios de los minerales nucleares, de acuerdo con los que rijan en los otros países.

Artículo 43º. Si el yacimiento pasara a reserva por no ser económicamente explotable y la Comisión conviniese con el descubridor concederle una indemnización a cambio de los derechos previstos en el artículo 14, incisos 2º y 3º, del Decreto-Ley Nº 22.477/56, la misma será equivalente al importe percibido en concepto de gratificación como descubridor.

Si se conviniese mantenerle los derechos mencionados y el yacimiento no se explotase dentro de los cinco años de la fecha del registro, el descubridor podrá, vencido tal plazo, optar por seguir conservando sus derechos o exigir la indemnización referida en el párrafo precedente.

CAPITULO VI

DESCUBRIMIENTOS EN OTRAS MINAS

Artículo 44º. Cuando se descubriese la presencia de minerales nucleares en una mina concedida para otra explotación, la Comisión deberá:

- a) Efectuar la prospección nuclear y estudios afines en la mina, a fin de verificar el descubrimiento y estimar su importancia.
- b) Informar al concesionario sobre el resultado de los estudios realizados, y fijar en un plazo no superior a 90 días, el procedimiento a seguir de acuerdo con las cuatro alternativas previstas en el artículo 22 del Decreto-Ley Nº 22.477/56.

Artículo 45º. Si como resultado de una denuncia fundada o de las actividades propias de la Comisión, se comprobase la presencia de minerales nucleares en una mina concedida y se presumiese ocultación maliciosa por parte del concesionario, la Comisión iniciará un sumario en el que el concesionario será oído y podrá formular por escrito su descargo.

Artículo 46º. Verificada la ocultación maliciosa, se remitirán los antecedentes a la autoridad minera, la que deberá declarar caduca la concesión. En este supuesto la mina nuclear se registrará a favor de la Comisión. El ex-concesionario sólo tendrá derecho a recuperar el valor de las mejoras e instalaciones que hubiere hecho, al valor que tuvieran en el día de la declaración de caducidad de la concesión. Este monto será fijado por la Comisión. Las partes podrán interponer recurso contencioso administrativo ante el Juez Nacional competente.

Artículo 47º. Si del sumario no surgiese responsabilidad del concesionario, se aplicarán a la mina las disposiciones del artículo 22 del Decreto-Ley N° 22.477/56 y sus reglamentarios.

CAPITULO VII

EXPLORACIÓN Y PREPARACIÓN DE MINAS

Artículo 48º. Registrado un yacimiento nuclear, la Comisión dispondrá el cumplimiento de un plan de exploración racional del mismo mediante perforaciones, piques, galerías u otras labores mineras necesarias para dilucidar las características geológico-mineras del yacimiento y estimar sus reservas.

Artículo 49º. Los trabajos de exploración y preparación de la mina se harán por contrato, el que será ofrecido en primer término al descubridor del yacimiento y si éste no tomara el mismo a su cargo, se adjudicará por licitación, temperamento que se adoptará directamente en el caso de que el yacimiento hubiese sido descubierto por la Comisión.

Artículo 50º. La Comisión sólo realizará por sí los trabajos de exploración y preparación cuando razones de interés nacional lo aconsejen o no hubiese particulares interesados en su ejecución.

Artículo 51º. Los contratos de exploración y preparación por terceros se celebrarán ajustándose a las disposiciones de la Ley N° 13.064 (Obras Públicas) o las que ulteriormente modifiquen o sustituyan ésta. Deberá constar en ellos, bajo pena de nulidad:

- a) Su duración, que no podrá ser mayor de dos años, renovable, a juicio de la Comisión, por períodos de un año.
- b) La necesidad de autorización previa de la Comisión, tanto para subcontratar como para ceder o transferir el contrato.

- c) La obligación del contratista de realizar la exploración y preparación con sujeción a las directivas y al control de la Comisión.

Artículo 52º. Si como resultado de la exploración se considere que el yacimiento es susceptible de explotación económica, se resolverá ésta. En caso que aquél no fuese considerado económicamente explotable, la Comisión podrá decidir su reserva si existiese presunción que por sus características, adelantos técnicos u otros factores, en un período próximo será su explotación económica; no concurriendo tal presunción el yacimiento será abandonado.

Artículo 53º. En caso de que se resuelva la explotación, o la reserva, se procederá a fijar por mensura la ubicación de las unidades de explotación nuclear definitivas dentro del perímetro a que hace referencia el artículo 35 de esta Reglamentación. A este fin se cumplirán las especificaciones que respecto a las pertenencias consigna el Código de Minería. El número de unidades mensuradas podrá ser inferior a ochenta y las áreas no cubiertas quedarán liberadas automáticamente a los efectos de nuevos descubrimientos.

Artículo 54º. Si cumplido el plan de exploración previsto, la Comisión, por considerar antieconómica la explotación del yacimiento, decidiese pasarlo a reserva o proceder a su abandono, el descubridor podrá exigir se mantengan en suspenso dichas medidas y:

- a) Continuar la exploración por cuenta propia, previo acuerdo con la Comisión a fin de asegurar su adecuada fiscalización.
- b) Solicitar la continúe la Comisión por contratos con terceros, para lo cual deberá depositar en la Comisión y a

satisfacción de ésta, una fianza para cubrir el presunto costo de los trabajos.

c) La duración de estos trabajos no podrá exceder de quince meses, y en ambos casos se harán siguiendo las directivas que fije el descubridor.

d) La Comisión abonará al descubridor el equivalente al valor de los minerales nucleares extraídos por ella, durante la continuación de la exploración, si fueran económicamente aprovechables.

Artículo 55º. Si la exploración adicional por cuenta del descubridor no aportara nuevos elementos de juicio para permitir a la Comisión rever su decisión anterior, el yacimiento pasará a reserva o será abandonado. En caso de pasar a reserva, el descubridor conservará los derechos que señala el artículo 43 de este Decreto, y si fuere abandonado, le caducará definitivamente todo derecho.

Pero si en base a los resultados obtenidos de la exploración adicional se considerase factible la explotación económica del yacimiento, la Comisión reintegrará al descubridor los gastos en que hubiere incurrido en esta exploración y dispondrá la explotación del yacimiento, teniendo el descubridor todos los derechos indicados en el artículo 14 del Decreto-Ley N° 22.477/56.

CAPITULO VIII

EXPLOTACIÓN DE LAS MINAS Y CONTRATOS

Artículo 56º. Si cumplido el plan de exploración minera de un yacimiento, la Comisión decidiese su explotación, lo hará por contrato, ofreciendo el mismo en primer término al descubridor. Si éste no lo tomara a su cargo, lo adjudicará por licitación.

Artículo 57º. La molienda, concentración y/o beneficio por tratamiento químico del mineral podrá formar parte integrante del contrato de explotación, o ser objeto de contratación independiente, sin que el descubridor tenga derecho preferencial.

Artículo 58º. Para el caso de contratos con terceros se procederá conforme a las disposiciones de la Ley Nº 13.064 (Obras Públicas) o las que ulteriormente modifiquen o sustituyan ésta. Sin perjuicio de ello, los contratos de explotación contendrán las enunciaciones indicadas en el artículo 18 del Decreto-Ley nº 22.477/56 y las cláusulas relativas a la amortización escalonada por el contratista de los costos de mensura y de exploración, abonados oportunamente por la Comisión.

Artículo 59º. Se considerará que ha existido violación de lo dispuesto en el artículo 18, inciso 2º del Decreto-Ley Nº 22.477/56 cuando el contratista fuese una sociedad y en el seno de la misma se hubieran realizado transferencias de cuota de capital o acciones por un monto superior al 30 % del capital social, con relación al momento en que la Sociedad celebró el contrato con la Comisión. Exceptúanse de esta disposición los supuestos de transferencia hereditaria y a aquellas sociedades cuyas acciones se coticen en bolsa.

Artículo 60º. La Comisión impartirá sus directivas a los contratistas y controlará el cumplimiento de las obligaciones contractuales asumidas por los mismos, por medio de fiscalizadores autorizados.

Artículo 61º. Los contratistas estarán obligados a:

- a) Facilitar el ingreso y permanencia de los fiscalizadores en las minas y/o plantas de concentración y elaboración,

como así las tareas de inspección y control a realizar por los mismos.

- b) Suministrar a la Comisión todos los datos que ésta les requiera relativos a las labores mineras que realicen, como ser: copias de planos, resultado de muestreos y análisis, duplicados de muestras, avances y producción.
- c) Suministrar a la Comisión todos los datos que ésta les requiera relativos a las labores de concentración y elaboración que realicen, como ser: procedencia, existencia y destino de los minerales y materiales nucleares, balances periódicos de producción de materiales nucleares y rendimientos de recuperación de los mismos.
- d) Seguir las directivas técnicas dadas por la Comisión respecto al modo de llevar los trabajos, siempre que no se aparten de los términos generales del contrato. Estas directivas tenderán siempre al cumplimiento de los trabajos en la forma más económica y expeditiva compatible con la buena técnica.

Artículo 62º. En caso que el contratista dificultase el control de los trabajos, no facilitase los datos indicados en los incisos b) o c) del artículo 61 de esta Reglamentación, o se apartase de las directivas técnicas de la Comisión relativas al modo de realizar los trabajos, la Comisión podrá disponer la suspensión de los mismos, iniciando de inmediato el correspondiente sumario administrativo.

Artículo 63º. En caso que el contratista de explotación resolviese denunciar el contrato durante el primer año de su vigencia, conforme lo autoriza el artículo 19 del Decreto-Ley Nº 22.477/56, deberá hacer saber esta decisión por telegrama colacionado enviado al Presidente del Directorio de la Comisión. Cualquiera

sea el momento en que haga la denuncia, deberá continuar los trabajos hasta dejar la mina en perfecto estado de seguridad y protegido el mineral. La violación de esta obligación le hará responsable de los daños y perjuicios que ocasione. Las mejoras hechas en la mina y las obras realizadas quedarán a beneficio de la Comisión, sin cargo, a menos que por su especial naturaleza se hubiere previsto lo contrario en el contrato.

Artículo 64º. El contrato de explotación establecerá las cantidades máximas y mínimas de productos a obtener anualmente por el contratista. Este podrá proponer a la Comisión la modificación de dichas cifras durante el primer año de vigencia del contrato y denunciar el mismo en el caso que no le fueran aceptadas. Las cantidades convenidas en el contrato podrán ser modificadas por mutuo acuerdo, con no menos tres años de intervalo.

Artículo 65º. Los contratistas deberán designar ante la Comisión, en el momento de efectuarse sobre el terreno la instalación de los trabajos, la persona que los representará en sus relaciones con los fiscalizadores de la Comisión y autoridades públicas. Informarán a la Comisión dentro de los cinco días de producida, toda sustitución de representantes, indicando el nombre del sustituyente. Las notificaciones hechas a los representantes se considerarán realizadas al mismo contratista.

Artículo 66º. Los fiscalizadores de la Comisión presentarán las instrucciones, observaciones, resoluciones, intimaciones, etc., por escrito, en original o duplicado al representante, debiendo éste devolver la copia con constancia de notificación debidamente firmada. En caso de ausencia de representantes, las resoluciones, intimaciones, etc., de los fiscalizadores de la Comisión se tendrán por notificadas fijándose copias de las mismas, firmada por dos testigos, en la entrada de la oficina de dicho representante.

Artículo 67º. Cuando el fiscalizador imparta una recomendación o una orden, el representante podrá, dentro del plazo de tres días hábiles, dirigir un pedido de confirmación al Jefe del Departamento de Materias Primas de la Comisión. Este deberá expedir por escrito, y dentro del plazo de cinco días, la orden definitiva que a su juicio corresponde, la cual, si no fuera juzgada aceptable por el representante, podrá ser apelada ante el Presidente del Directorio de la Comisión.

Artículo 68º. Las resoluciones de los fiscalizadores, cuando a su juicio existieran razones de urgencia, deberán ser inmediatamente cumplidas, sin perjuicio del derecho de apelación a que se refiere el artículo precedente.

Artículo 69º. Los informes que los contratistas deben remitir a la Comisión conforme a lo establecido en el artículo 20 del Decreto-Ley N° 22.477/56 serán redactados según las directivas o de acuerdo con el "informe tipo" que indique la Comisión. Esta podrá exigir del contratista, siempre que lo considere necesario, todas las explicaciones o aclaraciones que faciliten el conocimiento de los trabajos realizados o a cumplir.

Artículo 70º. Las infracciones de lo dispuesto en el artículo 20 del Decreto-Ley N° 22.477/56, de lo reglamentado por el presente o de lo convenido en el contrato, podrán ser verificadas por los fiscalizadores de la Comisión o la autoridad minera, según el caso. En tal supuesto, se levantará acta por triplicado. El original se remitirá a la Comisión, una de las copias la retendrá el fiscalizador y la segunda se entregará al contratista o a su representante. Si a juicio de la Comisión, la naturaleza de la infracción justificase la formación de un sumario, en éste se oír al presunto infractor, quien podrá formular por escrito su descargo.

Artículo 71º. Verificada la infracción, se aplicarán al contratista las penalidades indicadas en el artículo 21 del Decreto-Ley nº 22.477/56. A los efectos de la suspensión de los trabajos, la Comisión podrá requerir el auxilio de la fuerza pública.

CAPITULO IX

EXPROPIACIONES

Artículo 72º. Para las expropiaciones se seguirá el régimen fijado por la Ley Nº 13.264 o las disposiciones legales que eventualmente reformen o sustituyan ésta y en cuanto no sea modificado por el Decreto-Ley Nº 22.477/56. Las normas del presente Decreto Reglamentario deberán considerarse complementarias de las anteriores.

Artículo 73º. Las expropiaciones se llevarán a cabo en los casos taxativamente indicados en el Decreto-Ley Nº 22.477/56 y serán dispuestas por Decreto del Poder Ejecutivo. Podrán ser objeto de expropiación las minas y labores mineras y los elementos y bienes necesarios para su explotación.

Artículo 74º. En los casos de expropiación por las causales indicadas en el artículo 23 del Decreto-Ley Nº 22.477/56, se seguirá el siguiente procedimiento:

- a) Para determinar la falta de cumplimiento de las obligaciones del concesionario deberá instruirse el correspondiente sumario administrativo, en el que será oído y podrá formular por escrito su descargo.
- b) La verificación de la imposibilidad de explotación conjunta de los minerales nucleares, con los de otra naturaleza, cuando se basare en motivos de orden técnico, estará

a cargo exclusivo de la Comisión. En el correspondiente expediente administrativo se dará vista al concesionario para que haga las manifestaciones que estime pertinentes.

- c) Se considerará que la existencia de mineral nuclear es superior a la prevista cuando el valor económico de su producción, en un período de doce meses, iguale o sea superior al valor económico conjunto del resto de la producción de la mina.

Artículo 75º. Las resoluciones dictadas por la Comisión en los sumarios o expedientes precedentemente indicados serán definitivas. Si en ellas se concluyese la necesidad de expropiación de la mina (caso del Art. 22, inc. 4º del Decreto-Ley Nº 22.477/56), la culpabilidad del concesionario (caso del Art. 23, inc. 1º), la imposibilidad de la explotación del modo indicado en el artículo 22, incisos 1º, 2º ó 3º, por motivos técnicos (caso del Art. 23, inc. 2º), o riqueza del mineral superior a la prevista (caso del Art. 23, inc. 3º), la Comisión remitirá al Poder Ejecutivo una síntesis de las actuaciones y copia de la resolución dictada, para que éste promulgue el correspondiente decreto de expropiación.

CAPITULO X

UTILIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y MATERIALES NUCLEARES

Artículo 76º. Conforme a lo dispuesto en los artículos 25 y 27 del Decreto-Ley Nº 22.477/56, exceptúanse de la prohibición de enajenación a los elementos o materiales nucleares del Estado, en los siguientes casos:

- a) Cuando se trate de pequeñas cantidades, para usos habituales e imprescindibles de industrias nacionales, como

ser el normal consumo de sales de uranio para las industrias del vidrio y porcelana; para análisis clínicos o industriales, etc. En estos casos, las cuotas las fijará anualmente la Comisión, debiendo para ello tener en cuenta: a) Consumo del año inmediato anterior; b) el desarrollo y evolución de cada industria; c) la medida en que contribuyan a satisfacer necesidades públicas. Los elementos nucleares que se utilicen a estos efectos serán entregados por la Comisión, a precio de costo, directamente a los usuarios.

b) Cuando se trate de su exportación, en las condiciones fijadas en el artículo 27 del Decreto-Ley N° 22.477/56.

Artículo 77º. La Comisión reglamentará los casos y condiciones en que podrán ponerse a disposición de terceros los elementos o materiales nucleares para la producción industrial de energía, así como radioisótopos para aplicación medicinal u otros usos. También le corresponderá determinar si tales entregas serán a título gratuito u oneroso, y en este caso fijará las tasas o tarifas.

CAPITULO XI

IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN

Artículo 78º. Quien desee importar elementos o materiales nucleares deberá recabar la previa autorización de la Comisión. Esta estudiará cada caso, autorizará o negará los permisos y determinará las condiciones en que podrán importarse los elementos o materiales nucleares, ajustándose a los reglamentos aprobados por el Poder Ejecutivo. En virtud de la especial naturaleza de dichos materiales, las autoridades portuarias y aduaneras deberán seguir las indicaciones de la Comisión para la recepción y despacho de los referidos elementos y materiales.

Artículo 79º. La Comisión fijará el régimen de fiscalización permanente a que deberán someterse los importadores, tenedores o usuarios de los elementos o materiales nucleares. La violación de las disposiciones de la Comisión al respecto dará origen al correspondiente sumario, en el que se oírán al presunto infractor, el que podrá formular por escrito su descargo. Sin perjuicio de ello, la Comisión podrá decomisar o secuestrar los elementos o materiales, cuando medidas de seguridad así lo aconsejen y sin perjuicio de lo que resulte del referido sumario. En caso que se compruebe la infracción, la Comisión determinará la penalidad, que puede llegar al decomiso de los elementos o materiales y multa de hasta un monto igual a diez veces el valor de éstos.

Artículo 80º. La Comisión, al solicitar al Poder Ejecutivo autorización para exportar materiales nucleares, deberá elevar un informe con la síntesis de los estudios económicos y científicos realizados al respecto y las conclusiones de los mismos. En todos los casos deberá indicar dicho informe: a) el material nuclear cuya exportación se pide; su estado y demás características que permitan su perfecta identificación; b) la cantidad que se exportará; c) el material nuclear y/o los implementos que se recibirán en trueque, su estado y demás características que permiten su perfecta identificación; d) la cantidad que se importará; e) el plazo en que se hará la operación, señalándose las fechas de entrega y recepción de los materiales nucleares.

Artículo 81º. En cada caso el Poder Ejecutivo estudiará los antecedentes, y si considera procedente el trueque otorgará la correspondiente autorización. La exportación será realizada por la Comisión.

CAPITULO XII

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Artículo 82º. La autoridad minera otorgará a los solicitantes de minas nucleares denunciadas o registradas, con anterioridad a la promulgación del Decreto-Ley Nº 22.477/56, el cambio de pertenencias por unidades de explotación nuclear y el incremento de las mismas hasta el número de ochenta. La autoridad minera informará sobre cada caso a la Comisión, la que procederá a fijar en el terreno las unidades adicionales, dentro de las cuales no se registrarán nuevas manifestaciones de hallazgos de mineral nuclear. La Comisión remitirá copia del plano e información pertinente a la autoridad minera a sus efectos.

Artículo 83º. La exploración, preparación y explotación de una mina nuclear en trámite de concesión a la fecha de promulgación del Decreto-Ley Nº 22.477/56, se efectuará de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 16 del mismo y sus reglamentarios, teniendo el peticionante como única prerrogativa la que acuerda en el inciso 2 del artículo 14 de dicho Decreto-Ley.

Artículo 84º. Las manifestaciones de descubrimiento formuladas con posterioridad a la fecha del Decreto-Ley Nº 22.477/56, pero de yacimientos ya reconocidos e investigados por la Comisión u otras Reparticiones Nacionales o Provinciales con anterioridad a su promulgación, no serán reconocidos como tales a los efectos de los incisos 1º y 3º del artículo 14 del mencionado Decreto-Ley.

Artículo 85º. Hasta tanto se lleven a cabo las valuaciones que determina la Ley Nº 13.264 y la compra o expropiación de las minas que se encuentran en la situación prevista en el artículo 28 del Decreto-Ley 22.477/56, sus actuales concesionarios podrán

continuar su explotación en las mismas condiciones que lo han hecho hasta la fecha, pero bajo la fiscalización de la Comisión. La Comisión, durante tal lapso, seguirá pagando en concepto de extracción del mineral proveniente de las referidas minas los mismos precios que abonaba hasta la fecha o los que determine en el futuro. Sin perjuicio de ello, la Comisión podrá aplicar las sanciones que determina el artículo 21 del Decreto-Ley N° 22.477/56 si el concesionario, mientras subsista la situación transitoria a que se refiere este artículo, obstaculizara la acción de fiscalización, ocultara la existencia de minerales nucleares y, salvo causa de fuerza mayor debidamente justificada, disminuyese la cantidad promedio de producción de los últimos doce meses, o de cualquier modo rebajase el ritmo de entrega de minerales.

3. — « Método analítico nº 1 de la Comisión Nacional de Energía Atómica ». — Determinación de uranio en minerales

Es el método standard adoptado para el análisis de minerales, salvo para aquellos ricos en As y metales pesados, en cuyo caso se procede a una separación electrolítica; el mineral se trata con una mezcla de ácidos.

Luego de filtrar, la solución obtenida se somete a una eliminación de interferencias mediante una precipitación con SH_2 en medio ácido y una precipitación con Cupferrón, seguida de la extracción de cupferratos con cloroformo. Esta solución, libre ahora de interferencias, es oxidada y pasada luego por un reductor de Jones; el zinc amalgamado de éste reduce el uranio a tri y tetravalente.

La solución reducida resultante es sometida a una breve aereación, con lo cual todo el uranio es llevado a tetravalente, el que se titula entonces con algún oxidante.

Los oxidantes usados comúnmente son: dicromato de potasio, permanganato de potasio o sulfato cérico.

PROCEDIMIENTO

A) *Disolución de muestra por ataque ácido:*

- 1) Pesar muestra en cantidad suficiente como para tener entre 40 y 315 mg de U_3O_8 .
- 2) Humedecer la muestra con agua.
- 3) Agregar a la muestra: 10 a 20 ml HNO_3 concentrado
12 ml SO_4H_2 (1:1)
2 a 3 ml ClO_4H 70 %.

- 4) Evaporar sobre baño de arena hasta humos sulfúricos.
- 5) Agregar 90 ml de agua y calentar para disolver material soluble.
- 6) Filtrar.

Si la ganga es blanca, pasar a B).

B) *Precipitación con SH_2 :*

- 1) La precipitación con ácido SH_2 se hace a presión y se deja hasta el día siguiente.
- 2) Filtrar a través de papel Whatman n° 40.
- 3) Evaporar el filtrado a 80 ml en baño de arena.

Si la ganga no es blanca, tratar el mineral como sigue:

B') *Solución de la muestra y fusión:*

- 1) Pesar una muestra como en A) 1.
- 2) Añadir 30 ml de HNO_3 (1 : 1) y hervir algunos minutos.
- 3) Añadir 60 a 70 ml de H_2O y hervir nuevamente.
- 4) Filtrar y lavar con H_2O caliente reservando el filtrado y los lavados.
- 5) Calcinar el papel de filtro y residuo en un crisol de Pt.
- 6) Humedecer el residuo y agregar 2 gotas de H_2SO_4 (1 : 1).
- 7) Cubrir las $\frac{3}{4}$ partes del crisol con HF y evaporar a sequedad.
- 8) Agregar 5 y 7 gramos de CO_3Na_2 sólido y fundir el residuo.
- 9) Disolver el fundido con HNO_3 (1 : 1).
- 10) Combinar la solución con el filtrado del paso n° 4.
- 11) Calentar la mezcla a ebullición.
- 12) Agregar OHNH_4 recientemente preparado para precipitar el grupo R_2O_3 , el que incluye al uranio.

- 13) Filtrar por Whatman nº 41.
- 14) Lavar el precipitado con NO_3NH_4 caliente al 2 %.
- 15) Disolver el precipitado con HNO_3 (1 : 1) caliente.
- 16) Lavar con H_2O caliente.
- 17) Agregar 10 ml de H_2SO_4 (1 : 1) a la solución.
- 18) Evaporar la solución y calentar hasta llegar a humos de SO_3 y
- 19) Enfriar, agregar 80 ml de H_2O y calentar para disolver el material soluble. Pasar luego a punto B).

C) *Precipitación con Cupferrón:*

- 1) Al filtrado evaporado agregar 10 ml de SO_4H_2 (1 : 1).
- 2) Agregar MnO_4K al 2 % hasta que la solución quede rosada.
- 3) Agregar solución de Cupferrón al 6 %.
- 4) Extraer los Cupferratos con cloroformo.
- 5) Repetir hasta que no precipiten cupferratos ni coloreen el cloroformo.
- 6) Transferir la capa acuosa al vaso original.
- 7) Agregar 15 ml de HNO_3 concentrado.
- 8) Llevar a humos blancos.
- 9) Agregar 1 ml de ClO_4H para destruir totalmente la materia orgánica.
- 10) Agregar 50 ml de agua y calentar para disolver material soluble.

D) *Reducción del uranio:*

- 1) Oxidar la solución con MnO_4K al 2 %.
- 2) Pasar la solución a través de un reductor de Jones.
- 3) Hacer burbujear aire a través de la solución.

E) *Titulación de la muestra:*

- a) Con permanganato de potasio 0,02 N.
- b) Con sulfato cérico 0,05 N.
- c) Con dicromato de potasio 0,027 N.

Calcular el contenido en uranio en U_3O_8 .

BIBLIOGRAFIA

- AHLFELD, F. Y ANGELELLI, V., *Las especies minerales de la República Argentina*. — Univ. Nac. Tuc., Inst. Geol. y Min. Public. 458, Jujuy (1948).
- ANGELELLI, V., *Distribución y características de los yacimientos y manifestaciones uraníferas de la República Argentina*. — Actas Conf. Inter. Ginebra, agosto 1955, vol. VI, Geol. del uranio y torio Nac. Unidas, Ginebra (1956).
- BAIN, G. W., *Geology of the fissionable materials*. — Econ. Geol., vol. 45, n^o 4, Lancaster (1950).
- EVERHART, D. L., *Geology of Uranium deposits. A condensed version*. — U. S. Atom. Energy Comm. RMO-732. Oak Ridge (1951).
- CANADA DEPT. OF MINES, ETC., *Prospecting for Uranium en Canada*. — Geol. Sur. Canada. Ottawa (1955).
- GEORGE, D'ARCY, *Mineralogy of Uranium and Thorium bearing minerals*. — U. S. Atom. Energy Comm. RMO-563. Oak Ridge (1949).
- GORDILLO, C. E., LINARES, E. Y POLJAK, R., *Contribución al conocimiento de algunas uraninitas y pechblendas de la República Argentina*. — Com. Nac. Energ. Atóm., Serie Geol. Vol. I, n^o 1, Bs. As., 1957.
- KATZ, S. S. AND RABINOWITCH, E., *The Chemistry of Uranium*. — N. York (1951).
- McKELVEY, V. E., EVERHART, D. L. AND GARRELS, R. M., *Origen*

- of uranium deposits.*—Econ. Geol. Fifth Annivers, vol. 1905-1955. Part I. Lancaster (1955).
- NININGER, R., *Minerals for Atomic Energy.*—Van Nostr. Comp. EE. UU. Norte América (1955).
- NININGER, R., *Exploration for Nuclear Raw Materials.*—Van Nostr. Comp. EE. UU. Norte América (1956).
- PAGES, L. R., *Uranium in pegmatites.*—Econ. Geol., vol. 45, Lancaster (1950).
- SCHNEIDERHOEHN, H., *Lehrbuch der Erzlagerstaettenkunde.* — I Band, Jena (1941).
- U. S. ATOM. ENERGY COMMISSION, *Manual of Analytical Methods for the Determinations of Uranium, and Thorium in Their Ores.* — (1950).
- U. S. ATOMIC ENERGY COMMISSION, *Prospecting for Uranium.*—Washington (1951).
- WRIGHT, R., AND EVERHART, D. L., *The Geologic Character of Typical Pitchblende Veins.*—Econ. Geol., vol. 48, n° 2 (1953).

INDICE

Introducción	III
I. El uranio, sus propiedades	1
II. Minerales de uranio	7
III. Ensayos para determinar uranio en mineales	29
IV. Posición geoquímica del uranio	43
V. Yacimientos de minerales de uranio	50
VI. Areas a explorar	91
VII. Uso del detector Geiger-Müller y del "scintilómetro" en prospección	102
VIII. Trabajos de exploración	109
IX. Recomendaciones relacionadas con el muestreo y cubi- cación de yacimiento de uranio	112

ANEXO

1º Decreto-Ley nº 22.477 (sobre legislación de mine- rales nucleares)	117
2º Decreto nº 5423 (reglamentación del decreto anterior)	130
3º Método analítico nº 1 de la Comisión Nacional de Energía Atómica. Determinación de uranio en mi- nerales	155
Bibliografía	159

SE TERMINÓ DE IMPRIMIR EL 28 DE ABRIL DE 1958

EN LA IMPRENTA Y CASA EDITORA « CONI »

CALLE PERÚ 684, BUENOS AIRES

