



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA Y
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN LA PROSPECCIÓN DE URANIO

BUENOS AIRES, 8 de setiembre - 31 de octubre 1969

I. LA INDUSTRIA DEL URANIO

ORIGEN, EVOLUCION Y DESARROLLO
DE LA INDUSTRIA DEL URANIO
EN EL MUNDO (MINERA Y FABRIL)

Dr. PEDRO N. STIPANICIC

LA INDUSTRIA DEL URANIO

PEDRO N. STIPANICIC

Comisión Nacional de Energía Atómica

A fines de 1938, dos investigadores del Kaiser Wilhelm Institut fur Physik de Berlín, los Dres. OTTO HANN y FRITZ STRASSMANN descubrieron el fenómeno de la fisión nuclear, por el cual un átomo de un elemento pesado puede dar origen a dos más livianos. Este hecho fué confirmado de inmediato, a principios de 1939, por otros físicos, como JOLIOT en Francia; FRISCH y WEITNER en Dinamarca; FERMI en E.U.A. etc. los que además pusieron en evidencia la enorme cantidad de energía que se libera en forma instantánea o explosiva cuando se produce tal fisión.

Es de público conocimiento que a partir de principios de 1939 se realizaron en varios países intensos trabajos de investigación tendientes a aprovechar para usos militares la energía liberada por la fisión del uranio en reacciones en cadena. Así en 1942 se tomó en E.U.A. la decisión de realizar en la escala adecuada el programa de la fabricación de bombas atómicas (Proyecto Manhattan) y es a partir de ese momento que comienza la demanda de uranio en volúmenes significativos ya que hasta esa fecha sólo se lo había usado para elaborar ciertas sales y para separar el radio.

En tal sentido, debe recordarse que hasta esa fecha

las únicas fuentes de aprovisionamiento de uranio para los países aliados correspondían a los depósitos del Alto Katanga (del Congo belga) y a los del norte del Canadá.

Los primeros fueron descubiertos en 1919 y poseían menas con alto tenor uranífero, las que eran procesadas por los belgas, quienes durante más de 15 años mantuvieron el monopolio del mercado del radio en el mundo, fijando para el mismo un precio de U\$S 75.000 por gramo. En 1932 se localizan los primeros yacimientos importantes canadienses, en Great Bear Lake, y la Canadian Radium and Uranium Co. hizo bajar el precio del radio a U\$S 20.000/gr.

En principio, las primeras partidas de concentrados de uranio que recibió E.U.A. para fines bélicos correspondían a óxidos negros, encarando el Bureau of Standard de ese país el estudio de su purificación final, registrándose una producción de 15 toneladas mensuales de UO_2 a partir de los primeros meses de 1942.

Los métodos para beneficio de minerales y para refinación de concentrados en escala industrial eran en esa época prácticamente desconocidos y debió apelarse, para tales fines, a técnicas derivadas de los procesos analíticos, llevadas a escalas convenientes.

En septiembre de 1942, la Mallincredit Chemical Works, de San Luis (E.U.A.), siguiendo un nuevo proceso de purificación por éter sulfúrico, desarrollado en el Bureau of Standard, ya llega a elaborar 1 tonelada por día de óxido pardo, con alta pureza.

En igual sentido, otros métodos se fueron investigando y aplicando en la concentración de minerales de uranio y en la refinación de concentrados, de tal manera que a fines de 1942, el precio de este metal, que antes oscilaba en los

U\$S 2.000 el kilogramo, había bajado a U\$S 50/kg.

Fuera de E.U.A. también otros países cumplieron en forma acelerada investigaciones sobre el aprovechamiento de la energía nuclear con fines de aplicación militar, centralizándose las principales actividades en Alemania, Gran Bretaña y Francia. El grueso de las mismas, sin embargo, se siguió realizando en E.U.A., de manera que a los efectos ilustrativos en lo que se refiere al mercado del uranio derivado, los valores que corresponden a este país prácticamente resultan representativos para el mundo occidental por lo menos en este estadio evolutivo.

La demanda de uranio por parte de E.U.A. señala entre 1939 y 1943 los siguientes volúmenes y valores, que corresponden a menas uraníferas y a concentrados que se importaron (Cuadro 1):

CUADRO 1

AÑOS	MENAS URANIFERAS		OXIDOS Y SALES DE URANIO	
	Peso; t	Valor; U\$S	Peso; t	Valor; U\$S
1939	5	10	650	1.200.000
1940	1.100	2.100.000	110	390.000
1941	-	-	175	500.000
1942	240	807.000	170	850.000
1943	-	-	95	431.000

A los efectos militares, el abastecimiento uranífero quedó asegurado en E.U.A. hasta el momento en que tuvieron lugar las primeras explosiones atómicas: el 16 de julio de 1945 en Nueva México y el 6 y 9 de agosto del mismo año en Hiroshima y en Nagasaki.

A posteriori de la guerra y durante un buen tiempo, los requerimientos uraníferos continuaron teniendo un des-

tino bélico, a los efectos de contar con un stock de armas nucleares.

En 1949, producida la primera explosión atómica soviética, los E.U.A. deciden por un lado fabricar la bomba de hidrógeno y por otro asegurar su abastecimiento de uranio para la década siguiente, por lo que sostienen y fomentan un intenso programa explorativo y de desarrollo de la industria respectiva, tanto en su propio territorio como en el de algunos países vinculados.

Así, en 1950, E.U.A. y Gran Bretaña destinan U\$S 150.000.000 para posibilitar la recuperación del uranio contenido en los residuos de tratamiento de los minerales auríferos de Sud Africa, comenzando a operar la primera planta de beneficio en 1952.

La necesidad de disponer de grandes cantidades de uranio obligó al desarrollo de nuevas técnicas tanto en las etapas de prospección y de exploración como en aquellas de procesamiento de minerales y de refinación de concentrados.

Así, para la búsqueda de yacimientos se diseñaron y construyeron equipos de detección de radiactividad, sobre la base de circuitos electrónicos, con sensibilidades cada vez mayores. De inmediato se pudieron acoplar los mismos a automotores y a aviones, permitiendo el desarrollo de una depurada técnica de prospección radimétrica, la que no sólo resulta una de las más eficaces, por su rapidez, sino que además permite coberturas areales de consideración a costos operativos muy bajos. La evolución instrumental en este campo llevó al diseño de equipos que pueden discriminar las energías del uranio, torio y aún del potasio, a la vez que la sensibilidad de los mismos posibilita el registro de acumulaciones radiactivas muy pequeñas.

Al comprobarse que sobre los campos petrolíferos se observan valores anómalos de radiactividad con respecto al "back ground" o fondo normal, esta técnica también se aplicó a la búsqueda de hidrocarburos.

La prospección emanométrica, útil en aquellos terrenos donde la cubierta impedía la detección de radiaciones directas, se cumplía en principio con electrómetros de Ambronn, los que en general permitían efectuar entre 50 y 60 lecturas diarias, como promedio y bajo condiciones regulares. El desarrollo de emanómetros de centelleo posibilitó que tal rendimiento se triplicara y la prospección con este método resultó muy efectiva sobre aquellas áreas donde la radimetría no era útil.

En igual sentido, las técnicas de perfilaje de pozos acusaron un gran perfeccionamiento, pasándose de registros no continuos y cualitativos a otros continuos y cuantitativos, los que con una adecuada interpretación y control ayudaron en mucho en la evaluación de los yacimientos uraníferos, en especial aquellos que poseen control sedimentario.

La industria del uranio fué una de las primeras en aplicar en la cubicación de los depósitos los métodos estadísticos, los que ofrecen singulares ventajas con respecto a aquellos clásicos o convencionales, asegurando la cantidad de metal a recuperar, con indicación del margen de error.

En el campo del beneficio de los minerales, el impacto de la industria del uranio fué aún mayor, pues la necesidad de concentrar menas de baja ley, con contenidos normales de 1 a 2 kg de metal por tonelada de roca, obligaba a procesar volúmenes considerables de materias primas brutas, debiendo colocarse el producto final recuperado por debajo de costos no muy altos, por lo general inferiores de U\$S

25 el kg. Estos factores obligaron al desarrollo de técnicas más simples y selectivas para separar al uranio una vez que éste fué puesto en solución ácida o alcalina, y así aparecieron toda una serie de intercambiadores de iones (resinas y solventes aminados), cada vez más eficaces y selectivos. El uso de los mismos y su práctica operación dió origen a un nuevo enfoque de la hidrometalurgia, la que así demostró la posibilidad de aprovechar menas de baja ley y de concentrar metales puestos en solución bajo concentraciones muy débiles y debiéndose hacer uso de grandes volúmenes de estas últimas. Muy pronto estas técnicas se aprovecharon para la recuperación del vanadio y del cobre.

Casi al mismo tiempo, también se dió un importantísimo paso en la refinación de los concentrados, recurriéndose a su disolución nítrica y purificación por TBP (Tri-butil-fosfato), método que permite obtener productos de altísima calidad.

Al respecto, basta recordar que las especificaciones para el uranio con "pureza nuclear" destinado a la fabricación de elementos combustibles para los reactores, exigen que el mismo tenga menos de una parte de boro en diez millones de partes de uranio.

En la misma forma que los procesos químicos de concentración y purificación avanzaban a pasos acelerados, también se registraba igual adelanto en el diseño industrial de las plantas en las cuales aquellos se aplicaban, tendiéndose a una constante simplificación de las mismas, hecho que finalmente produce reducciones en los costos de elaboración.

En las complejas etapas siguientes de la industria del uranio se desarrollaron en igual sentido técnicas muy depuradas tanto para la fluoración del mismo como para la

reducción de sus óxidos, a la vez que el perfeccionamiento de los métodos de fluidización permitieron controlar una serie de características físicas de estos productos finales, las que resultan de imprescindible cumplimiento para entrar en los campos siguientes de la sinterización, producción de hexafluoruro, etc.

Todos los factores señalados hicieron que en sólo diez años naciera una nueva industria de importancia mundial, la que adquirió niveles de alta significación económica, hasta el punto de influir en forma sensible en la economía de algunos países productores, como el Canadá y Sudáfrica.

Así, en 1953 se descubren en Australia algunos yacimientos uraníferos de interés y casi de inmediato se ponen en evidencia enormes acumulaciones en Canadá, especialmente en el área de Blind River (Ontario), las que pronto entran en explotación y colocan en el año 1956 a este país a la cabeza de todos los productores de uranio del mundo.

En 1954 y 1955 se localizan en E.U.A. grandes depósitos con alto tenor en uranio (doble de los canadienses) y su aprovechamiento hace que este país desplace en 1960 a Canadá como principal productor mundial. Se debe destacar, en tal sentido, que en 1956 la U.S.A.E.C., debiendo cumplir un programa de inventario de sus recursos uraníferos, llegó a afectar al mismo más de 600 geólogos, destinando además U\$S 46.000.000 a exploración y perfeccionamiento de métodos explorativos y U\$S 12.000.000 para investigaciones hidrometalúrgicas.

También a partir de 1950 varios países iniciaron una intensa búsqueda de uranio, habiendo tenido éxito, en tal sentido, Francia, España, Portugal y Argentina, los que junto con Australia se colocan en un segundo grupo, por debajo

de aquellos países que poseen las mayores reservas uraníferas del mundo, aprovechables a los costos actuales. Al respecto, resulta ilustrativo el caso de Francia, que además de un gran esfuerzo cumplido en su territorio metropolitano, también emprendió un intenso programa exploratorio en Africa, en algunos países que antes fueron sus colonias. Así, por ejemplo, sólo en Niger y áreas vecinas, invirtió hasta el presente más de U\$S 100.000.000 con tales fines.

Los montos de los recursos uraníferos del mundo occidental conocidos hasta ahora se indican en el Cuadro II, donde los mismos aparecen agrupados por costos de obtención del "yellow cake" (< U\$S 10/lb U₃O₈; entre U\$S 10 y 15/lb U₃O₈ y entre U\$S 15 y 30/lb U₃O₈) y clasificados según el grado de certeza con que se conocen: Recursos razonablemente asegurados (R.R.A.) y Recursos adicionales estimados (R.A.E.).

Para tener una idea objetiva sobre el significado del mercado uranífero mundial, resultan ilustrativas algunas cifras correspondientes a la producción de este metal y a la demanda del mismo por parte del principal consumidor (E.U.A.). (Cuadro III).

Del Cuadro III, se desprende que en 1961, el solo mercado interno de E.U.A., con 17.760 t alcanzó un valor de U\$S 303.000.000 y que las compras totales de ese país, comprendiendo tanto la correspondiente a su producción local como la de proveniencia externa, superaron los U\$S 600.000.000 en 1959 y 1960. Entre 1955 y 1963, Canadá vendió uranio a E.U.A. por valor de 1.580.000.000 de dólares.

El momento de máxima producción mundial se registró en 1956, cuando se superaron las 40.000 t U₃O₈, siendo su valor superior a U\$S. 700.000.000.

VALORES EN 10^3 t U_3O_8

CUADRO II

RANGO COSTOS U\$S/lb U_3O_8	< 10		10-15		15-30	
	R.R.A.	R.A.E.	R.R.A.	R.A.E.	R.R.A.	R.A.E.
TIPOS DE RECURSOS PAISES						
Canadá	200	290	130	170	100	300
E.U.A.	180	325	100	200	100	440
Sudáfrica	205	-	-	-	-	-
Suecia	-	-	350	50	150	200
Francia	45	20	5	10	-	-
Argentina	8	19	10	29	14	60
Niger	12	13	13	-	-	-
Portugal	10	6	-	12	-	10
Australia	11	3	3	1	1	-
España	11	-	4	30	15	250
Gabón	4	4	-	-	-	-
Otros	15	22	29	18	101	74
TOTALES:	701	702	644	520	481	1.334

RECURSOS URANIFEROS MUNDIALES

CUADRO III

AÑOS	PRODUCCION INTERNA t U ₃ O ₈	PROCEDENCIA EXTERNA t U ₃ O ₈	TOTAL t U ₃ O ₈	VALOR APROXIMADO U\$S
1952	830	2.830	3.660	82.000.000
1953	990	1.910	2.900	77.140.000
1954	1.450	3.240	4.690	115.000.000
1955	2.140	3.800	5.940	149.000.000
1956	4.200	6.240	10.440	243.000.000
1957	7.580	8.580	16.160	323.000.000
1958	10.245	16.130	26.375	502.000.000
1959	15.160	18.165	33.325	616.000.000
1960	16.565	18.015	34.580	612.000.000
1961	17.760	14.500	32.260	548.000.000
1962	17.010	11.680	28.690	488.000.000
1963	14.218	8.802	23.020	391.000.000
1964	11.850	5.290	17.140	291.000.000
1965	10.490	2.650	13.140	223.000.000
1966	9.476	2.049	11.525	196.000.000
1967	2.450	-	8.450	144.000.000
1968	7.300	-	7.300	124.000.000

COMPRAS DE URANIO POR PARTE DE E.U.A.

Otro aspecto a considerar sobre la magnitud de la industria del uranio se refiere a las inversiones efectuadas en las plantas de concentración de minerales.

El costo de instalación de las mismas varía según su capacidad y oscila entre U\$S 4.000 y U\$S 8.000 por cada tonelada diaria de mineral que puede procesar. E.U.A. llegó a disponer de casi 25.000 t/día de capacidad de procesamiento y de cerca de 18.000 t de U₃O₈ de capacidad de elaboración de "yellow cake" por año, superando el costo total de sus fábricas los U\$S 150.000.000, las que beneficiaban minerales con tenores superiores a 0,21 % U₃O₈.

El volúmen bruto de las plantas canadienses fué mayor, ya que su capacidad anual de producción llegó a cerca de 15.000 t U₃O₈, pero las menas tratadas eran de menores leyes que las estadounidenses y sólo algo superiores a 0,12 % U₃O₈. En Sudáfrica se invirtieron 66.000.000 de libras esterlinas y se contó con capacidad de producción de más de 5.000 t U₃O₈, por año, a la vez que Australia estuvo cerca de las 1.000 t U₃O₈/año y Francia hoy supera las 2.000 t U₃O₈/año.

La importancia que adquirió la industria del uranio en el mundo occidental, en el cortísimo tiempo de su evolución, se evidencia teniendo en cuenta los valores que alcanzó su producción en 1958, es decir a menos de una década de su verdadero nacimiento, comparándola para la misma fecha con la de otros metales de larga tradición:

Cobre	U\$S 2.100.000.000
Aluminio	" 1.580.000.000
Oro	" 980.000.000
Plomo	" 705.000.000
Uranio	" 650.000.000
Cinc	" 620.000.000

Ya asegurado el aprovisionamiento de uranio para fines bélicos, en 1959 E.U.A. anunció que no renovaría sus contratos de compra de concentrados con Bélgica (Congo), Canadá y Sudáfrica, los que vencían en 1962, 1962 y 1965, respectivamente, ofreciendo en algunos casos extender los términos de entrega, disminuyendo los montos parciales de los mismos (stretch-out), a los efectos de permitir que un número de establecimientos mineros y fabriles pudieran seguir operando por algunos años siguientes. Como consecuencia de la aplicación de esta política, se registró un decaimiento en la producción mundial de concentrados a partir de 1961, el que en varios casos obligó a la paralización de algunos distritos mineros canadienses y australianos. Gran Bretaña, por su parte, a los efectos de aminorar este impacto, colocó contratos en Sudáfrica y Canadá, para aprovisionamiento a largos términos.

Como consecuencia de la disminución de la demanda, la producción canadiense se redujo a 1/10 con respecto a su máximo alcanzado en 1956, a la vez que se estima que para 1970 Sudáfrica estará trabajando a 1/4 de su capacidad máxima, nivel con el que puede cumplir el compromiso aludido con Gran Bretaña. El Congo belga suspendió su producción en 1961 con sus ricas minas ya prácticamente agotadas y también Australia paralizó sus actividades a partir de 1964. En cambio, se registró un paulatino pero constante incremento en los establecimientos franceses, que de 1.000 t U₃O₈ en 1958 pasarán a 2.000 t U₃O₈ en 1967.

Estas perspectivas de declinación del mercado uranífero mundial son transitorias, pues si bien la misma acusa

el fuerte impacto de la reducción para fines bélicos, ya se prevé que en el futuro inmediato se registrará un gran incremento en la demanda para dedicar el uranio a la fabricación de elementos combustibles de los grandes reactores de potencia, destinados a la producción de electricidad.

Tendiendo a tales fines, varios países intensificaron en los últimos años sus planes exploratorios, destacándose en tal sentido E.U.A. y Francia, que lo hicieron en gran escala, a la vez que en forma más reducida actúan Alemania, Japón, España, Argentina, India, etc., sea actuando en sus propios territorios o en los de otras naciones.

Un aspecto evidente de la cuestión es que el desarrollo de nuevos recursos uraníferos en áreas o países ya reconocidos con anterioridad se hace cada vez más difícil y costoso, por lo que se estima que las mejores perspectivas económicas se encuentran en aquellos territorios aún vírgenes y que presentan condiciones geológicas favorables.

Al respecto, hay varios ejemplos muy ilustrativos sobre el tema. En E.U.A. se perforaron hasta el año 1960 unos 16.000.000 de metros, los que permitieron ubicar reservas del orden de 160.000 t U_3O_8 , es decir que en la práctica cada tonelada de U_3O_8 medida requirió 100 m de sondeos. El programa intensificado de perforaciones para los años 1967-1970 comprende un mínimo de 16.500.000 m y ya cumplido más de la mitad del mismo, se evidencia que cada tonelada nueva de U_3O_8 requiere cerca de 500 m de perforaciones.

Como el incremento de los recursos uraníferos en Francia metropolitana resultaba muy reducido, este país lo buscó en Africa, y luego de varios años de intensos trabajos y de haber invertido cerca de U\$S 100.000.000, localizó los importantes depósitos de Niger, los que constituyen el mayor descubrimiento de las dos últimas décadas. En igual sentido,

en la Argentina se vienen cumpliendo programas exploratorios de magnitud mediana desde hace 15 años, y si bien en principio se localizaron cuerpos de discreto volumen, recientemente se encontró en Sierra Pintada (Mendoza) un distrito que parece revestir gran importancia.

Sobre todos estos temas, que se refieren a la futura -demanda de uranio en el mundo, destinada a satisfacer los requerimientos de las grandes centrales eléctricas nucleares, se referirá el Dr. Jim Cameron, quien además señalará el orden de magnitud de los trabajos exploratorios a realizar y las inversiones estimadas que harán falta para alcanzar los montos de recursos uraníferos que permitirán sostener los programas energéticos mundiales en los próximos treinta años.

BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

- 1.- COMMISSARIAT A L' ENERGIE ATOMIQUE, 1964. L' industrie minière de l' Uranium.- Lyon.
- 2.- DE WOLF SMYTH, H., 1946. La energía atómica al servicio de la guerra.- Espasa Calpe, Buenos Aires.
- 3.- DIRECTION DES RECHERCHES ET EXPLOITATIONS MINIERES, 1959. Les matières premières nucléaires.-Note C.E.A. N° 201.
- 4.- EL DORADO MINING AND REFINING LIMITED, 1964. Uranium in Canada.-Ottawa.
- 5.- GERWIN, R., 1964. L'énergie nucléaire en Allemagne.-Econ. Verlag Gmbh., Düsseldorf und, Vienne.
- 6.- GOLDSCHMIDT, B., 1962. L' aventure atomique.- Fayard Edit., Paris.
- 7.- HAASE, W., 1968. Uranverrate und Uranbedarf.- Taschenbuch für Atomfragen.
- 8.- O.E.C.D., 1967. Uranium resources. Revised Estimates. A joint report by the European Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency.-Organisation for Cooperation and Development.
- 9.- O.E.C.D., 1969. Uranium. Production and short term demand. A joint report. etc (Id. anterior).
- 10.- THE ASSOCIATED SCIENTIFIC AND TECHNICAL SOCIETY OF SOUTH AFRICA, 1957. Uranium in South Africa; vol. I y II.- Johannesburg.
- 11.- U.S.A.E.C., 1969, 1968, 1967, 1966, etc. Major activities in the Atomic Energy Programms.