

05.70.07

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1970

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS

LA INDUSTRIA DEL URANIO EN LA ARGENTINA
PRESENTE Y FUTURO

P.M. Stipanovic, R.C. Coppa, E.G. Macchiaverna y J.M. García Bourg

IV Jornadas Metalúrgicas
Sociedad Argentina de Metales
Córdoba, noviembre de 1970

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS

LA INDUSTRIA DEL URANIO EN LA ARGENTINA
PRESENTE Y FUTURO

P.M. Stipanovic, R.C. Coppa, E.G. Macchiaverna y J.M. García Bourg

IV Jornadas Metalúrgicas
Sociedad Argentina de Metales
Córdoba, noviembre de 1970

I N D I C E

RESUMEN

1.- INTRODUCCION

2.- ESQUEMA DE LA INDUSTRIA DEL URANIO

2.1. TECNICAS DE LIXIVIACION

2.1.1. Reactivos empleados

2.1.2. Clasificación de las técnicas

2.2. ECONOMIA DE LA INDUSTRIA DEL URANIO

2.2.1. Costos promedios de construcción de plantas

2.2.2. Costos totales de tratamiento

2.2.3. Incidencia de cada etapa en el costo de procesamiento

2.2.4. Consideraciones finales.

3.- LA INDUSTRIA DEL URANIO EN LA ARGENTINA

3.1. RECURSOS URANIFEROS

3.1.1. Principales distritos uraníferos

3.2. REALIZACIONES INDUSTRIALES

3.2.1. Planta Córdoba

3.2.2. Estación de Lixiviación de Don Otto (Salta)

3.2.3. Planta Malargüe (Mendoza)

4.- EL FUTURO DE LA INDUSTRIA DEL URANIO

4.1. MUNDIAL

4.2. NACIONAL

5.- CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

R E S U M E N

En el presente trabajo se describen diversos aspectos del desarrollo cronológico de la industria del uranio. Asimismo se consideran los recursos y posibilidades uraníferas argentinas, y los medios tecnológicos, mediante los cuales se los ha beneficiado hasta la actualidad.

Finalmente, sobre estas bases, se analiza la prospectiva de esta industria, condicionada a la ecuación: re-servas-requerimientos-capacidad de producción.

LA INDUSTRIA DEL URANIO EN LA ARGENTINA

PRESENTE Y FUTURO

P.N.STIPANICIC, R.C.COPPA, E.G.MACCHIAVERNA y J.M.GARCIA BOURG (*)

1. INTRODUCCION

La industria del uranio se inicia en el mundo en 1942, cuando en los E.U.A. se decide realizar la aplicación bélica del fenómeno de fisión nuclear descubierto en 1938 en Alemania por STRASSMAN y HAHN.

Hasta ese momento el uranio no se había producido en volúmenes significativos y en general solo se lo obtenía como sub-producto, no conociéndose técnicas para el beneficio de sus minerales ni de refinación final, por lo cual debió echarse mano a la extrapolación de métodos analíticos para cumplimentar la demanda naciente.

A principios de 1942 el Bureau of Standards de los E.U.A. llegó a producir 15 t/mes y en el último trimestre del mismo año, la Mallinckrodt Chemical Works en San Luis pudo superar la tasa de 1 t/día de UO_2 puro. Ya con esas etapas el precio del uranio había descendido de u\$s 2.000/kg U a u\$s 50/kg U.

En la postguerra se inició una amplia transformación para poner a esta industria en un plano adecuado a las necesidades. Así, en 1950, E.U.A. y Gran Bretaña destinaron 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 este metal 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.

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, obteniéndose así un gran rendimiento operativo en la etapa de prospección.

La industria del uranio fué, además, una de las primeras

(*) Comisión Nacional de Energía Atómica. Gerencia de Materias Primas.

//2.

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 de un yacimiento minero, con indicación del margen de error.

En el campo de la metalurgia extractiva, que hoy tratamos, el impacto 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 de las soluciones obtenidas, y así aparecieron toda una serie de extractantes (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 en concentraciones muy débiles y debiéndose hacer uso de grandes volúmenes de estas últimas. Muy pronto estas técnicas se aprovecharon para la recuperación del vanadio, cobre, níquel, circonio, hafnio, europio, etc.

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

Al respecto, basta expresar que las especificaciones para el uranio denominado de "pureza nuclear", que se destina 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 y para el total de impurezas valores que expresados en equivalentes de boro deben estar por debajo de 1 ppm (parte por millón).

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 permitió 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.

En la misma forma que los procesos químicos de concentración y purificación avanzaban a pasos acelerados, también se regis

//..

//3.

traba 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 se traduce en una reducción de los costos de elaboración.

Todos los factores señalados hicieron que en solo 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 Canadá y Sudáfrica.

2. ESQUEMA DE LA INDUSTRIA DEL URANIO

El esquema básico de esta industria es el siguiente:

- a) [?]Prospección (búsqueda de yacimientos).
- b) Exploración (estudio de los yacimientos).
- c) Evaluación de los yacimientos (determinación de sus reservas).
- d) Estudio para definir la factibilidad económica de la producción minera y del tratamiento hidrometalúrgico.
- e) Explotación minera.
- f) Procesamiento hidrometalúrgico (obtención de concentrados con grado "comercial" o standard).
- g) Refinación del concentrado comercial (obtención de productos con calidad o pureza nuclear).

Dejando de lado la obtención de productos de uranio enriquecido en el isótopo U^{235} y el retratamiento de combustibles irradiados o no, nos ocuparemos solo del uranio natural.

La etapa de metalurgia extractiva propiamente dicha, se puede ordenar del modo indicado en las Láminas 1 y 2.

Desde el punto de vista operativo son condiciones fundamentales y por ello claves en la economía y factibilidad de la operación, las etapas de lixiviación y de separación sólido-líquido, pudiendo acordarse con WOODY y GEORGE /1/ que "...como regla general las operaciones anteriores al circuito de lixiviación están diseñadas para producir una alimentación de tamaño de grano y densi-

//..

//4.

dad de pulpa óptima y las operaciones que le siguen lo están para manejar cualquiera de los productos que resulten de las condiciones de la lixiviación".

Se puede recurrir a cuatro formas básicas de disolución, de las cuales veremos en el capítulo siguiente que tres han sido utilizadas en las diferentes realizaciones argentinas.

2.1. TECNICAS DE LIXIVIACION

2.1.1. Reactivos empleados

En la hidrometalurgia nuclear se ha recurrido casi universalmente a dos reactivos de ataque: el ácido sulfúrico o el carbonato de sodio.

La decisión sobre el tipo de lixiviante a emplear está condicionada fundamentalmente por la naturaleza de la ganga y por la mineralización uranífera, siendo el tratamiento ácido el más utilizado.

Los principales parámetros que controlan la operación son, entre otros, en los físicos, la temperatura, la presión, la molienda y el tiempo de ataque y entre los químicos, la naturaleza del mineral, la concentración del lixiviante y el agregado del oxidante.

2.1.2. Clasificación de las técnicas

Pueden clasificarse del siguiente modo:

- Lixiviación con agitación.
- Lixiviación por percolación.
- Lixiviación "en pila".
- Lixiviación "in situ".

Lixiviación con agitación: es la forma más empleada hasta la fecha. Puede realizarse en recipiente abierto o a presión.

Se tiende a operar con suspensiones lo más concentradas posibles. Esto está condicionado por el grado de molienda y por la reología de la suspensión.

Con menas silíceas se puede trabajar con pulpas conteniendo un 65% de sólidos. En presencia de arcillas las suspensiones son viscosas y obligan a operar con solo un 35-40%.

//..

//5.

La lixiviación a presión puede emplearse en circuito al calino o ácido. En este caso, de existir sulfuros en la mena se pue de generar el agente lixivante, con la consiguiente economía para el proceso.

Lixiviación por percolación: para esta técnica se acumula el mineral en piletas adecuadas y se realiza la percolación del li xivante. Se efectúa así en una sola etapa la extracción y la sepa ración sólido-líquido. Requiere una molienda mediana o gruesa para permitir la circulación de las soluciones, obteniéndose merced al mayor tiempo de contacto la penetración de la solución. No puede em plearse con menas que rinden altos porcentajes de finos o con mate- riales arcillosos que impiden la circulación de los líquidos.

Lixiviación "en pila" ("heap leaching"): en esta técnica el mineral es apilado según cierta geometría y regado con la solu- ción lixivante que se recicla continuamente hasta obtener una con centración aceptable de uranio. Se diferencia de la percolación en que no requiere un "receptáculo" para la operación y fundamental- mente porque el mineral no está "inundado" por el lixivante sino solamente "empapado". La lixiviación se puede efectuar con cualquier de los reactivos clásicos o aún realizarse una lixiviación "natu ral" aprovechando la meteorización u otros factores. Es una técnica mucho más suave y por ello más selectiva.

Los parámetros que rigen este sistema, aún no perfectamen- te esclarecidos en su totalidad, pueden resumirse como una relación entre la porosidad, la superficie específica, la permeabilidad, la difusibilidad y la tensión superficial, además de las característi- cas químicas propias del lixivante.

Lixiviación "in situ": se aplica para la recuperación, den- tro de la misma mina, del uranio contenido en sectores mineraliza- dos con leyes marginales, los que no pueden pagar su extracción. En estos casos, con o sin demolición previa de los minerales y aprove- chando canalizaciones o apoyos impermeables naturales, se realiza un regado con el lixivante (fresco, proveniente de la recuperación de otras etapas de tratamiento, o agentes naturales).

En la Lámina 3 se comparan para los distintos procesos al gunas de las características de los mismos.

La elección final de la técnica está supeditada a igual- dad de condiciones por consideraciones económicas.

2.2. ECONOMIA DE LA INDUSTRIA DEL URANIO

La importancia que adquirió esta industria en el cortísi

//..

//6.

mo período 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 nacimiento, comparándola con la de otros metales de larga tradición.

Metal	u\$s
Cobre	2.100.000.000
Aluminio	1.680.000.000
Oro	980.000.000
Plomo	705.000.000
Uranio	650.000.000
Cinc	620.000.000

El mercado uranífero varió desde esa fecha y si bien se redujo la producción (40.000 t U_3O_8 en 1956, 25.000 t en 1969) debido al reajuste de la industria en relación a la demanda con fines bélicos, las previsiones de las necesidades futuras reafirman su importancia económica.

La reducción de la producción con fines de aplicación a artefactos nucleares explosivos, es reemplazada por la demanda para la fabricación de elementos combustibles para los reactores de potencia.

Ahora bien, si deseamos considerar los aspectos parciales de la economía de la industria del uranio, debemos aceptar previamente de que es difícil poder establecer valores promedios ya que influyen en esas cifras factores disímiles: variadas formas de extracción minera, locación geográfica, distintas leyes de los minerales tratados, así como diferentes modos y capacidades de tratamiento, etc.

A pesar de esa variabilidad, puede extraerse de la experiencia mundial algunos valores típicos que permiten dar una imagen económica de esta industria.

2.2.1. Costos promedios de construcción de plantas

Es natural que haya una relación costo-capacidad y los valores en general concuerdan razonablemente con el índice 0,75 propuesto por SCHOFIELD /2/ para extrapolar el costo de una planta, a partir de otra de capacidad y costo de instalación conocido,

//..

//7.

$$\left(\frac{TB}{TA}\right)^{0,75} \cdot C_A = C_B$$

donde T significa capacidad, C costo, A planta conocida y B nueva planta.

T A B L A 1

COSTOS PROMEDIOS DE CONSTRUCCION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO /2/ /3/

CAPACIDAD t/día	COSTO EN u\$/t
100	15.000
200	10.000
500	7.000
1.000	6.000
3.000	5.000

2.2.2. Costos totales de tratamiento

Es muy difícil dar valores representativos dados los factores ya mencionados. Como ejemplo se ofrecen valores para el tratamiento de minerales de ley 0,25% U₃O₈.

T A B L A 2

COSTOS TOTALES DE PLANTA, EN DOLARES POR TONELADA

CAPACIDAD DE LA PLANTA	200 t	400 t	1.000 t
COSTO DE PROCESAMIENTO	9,75	7,00	5,61
AMORTIZACION EN 5 AÑOS	5,56	4,31	3,01
COSTO TOTAL EN PLANTA	15,31	11,31	8,62

2.2.3. Incidencia de cada etapa en el costo de procesamiento

Con las salvedades indicadas, se tienen estas cifras:

T A B L A 3

INCIDENCIA DE CADA ETAPA DEL PROCESAMIENTO EN LOS COSTOS /2/ /4/ /5/

OPERACIONES PRELIMINARES	10 al 20%
LIXIVIACION	45 al 55%
SEPARACION SOLIDO LIQUIDO	5 al 10%

//..

//8.

EXTRACCION	7 al 10%
PRECIPITACION, SECADO, ENVASADO	3 al 10%
SERVICIOS	7 al 20%

2.2.4. Consideraciones finales

A pesar de toda la gama de condiciones particulares que influyen en el costo final de concentrado de uranio, esta industria tiene la peculiaridad de un precio fijado por el consumidor o sea por las condiciones mundiales derivadas del mercado de reactores nucleares de potencia. En 1968 se estableció en los Estados Unidos el precio de 8 dólares la libra de U_3O_8 . Sin embargo, para ciertas compras realizadas, por ejemplo, por el gobierno de los E.U.A., contratadas anticipadamente con plantas que operaban solo a gastos proporcionales, el precio fué menor a u\$s 6,70/lb U_3O_8 .

Así, los costos mundiales de producción, son variables y dependen, entre otras, de consideraciones estratégicas y/o políticas.

Mundialmente se ha adoptado una escala para clasificar los recursos uraníferos en función de los costos de obtención de los concentrados. La misma comprende tanto el laboreo minero como el procesamiento de la mena, pero en general, no incluye los costos de prospección y de riesgo minero.

T A B L A 4

CATEGORIAS PRINCIPALES DE RECURSOS URANIFEROS

HASTA LA OBTENCION DE CONCENTRADO DE URANIO

"STANDARD"

- A- A menos de 10 u\$s/lb U_3O_8
- B- Entre 10-15 u\$s/lb U_3O_8
- C- Entre 15-30 u\$s/lb U_3O_8

Estos recursos se dividen en dos categorías según el grado de "seguridad" o "presición" con que fueron determinados: a) Recursos razonablemente asegurados (R.R.A.) y b) Recursos adicionales estimados (R.A.E.).

Teniendo en cuenta el mercado actual y el inmediato, es lícito usar los costos en el orden de 10 u\$s/lb o sea 22 u\$s/kg U_3O_8 , a lo cual, y para el conjunto de la industria del uranio, debe adicionarse el costo de refinación para obtener el producto fi-

//..

//9.

nal destinado a la fabricación de los elementos combustibles. Esta etapa tiene un sobrecargo variable de 3 a 8 dólares por kilogramo, siendo los precios facturados, en general, los últimos.

Por lo tanto el costo total del uranio nuclearmente puro oscila entre 25-30 u\$s/kg U_3O_8 .

3. LA INDUSTRIA DEL URANIO EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Los primeros estudios sobre yacimientos uraníferos argentinos /6/ se iniciaron en 1945, por cuenta de la Dirección General de Fabricaciones Militares y tuvieron como finalidad revisar las pegmatitas radiactivas de las sierras de Córdoba y San Luis.

Después de dicho intento, orientado hacia depósitos sin interés económico, la Universidad Nacional de Cuyo tomó a su cargo la exploración limitada de algunos yacimientos de discreto interés, para pasar luego a colaborar con la entonces Dirección Nacional de Energía Atómica (Comisión Nacional de Energía Atómica a partir de 1956), institución que desde 1950 se constituyó en el organismo regulador de las actividades nucleares en la República Argentina.

Los trabajos de prospección y exploración, se siguieron cumpliendo en escala reducida hasta 1956 año en que se los intensificó, organizándose en la Comisión Nacional de Energía Atómica un sector geológico-minero encargado de tales tareas.

Paralelamente se constituyeron los sectores de estudios para tratamiento físico e hidrometalúrgico de los minerales y también los fabriles, para encarar la producción de concentrados y de refinados para abastecer las incipientes necesidades internas.

Puede decirse así, que hasta 1958 se integraron los plantales profesionales y técnicos y se adquirieron los equipos e instrumental básico necesarios. Luego se inició la etapa de perfeccionamiento avanzado en el exterior y a partir de 1961 se realizó la integración de estos sectores, para desarrollar en forma homogénea la industria del uranio, agrupándolos en una sola dependencia, la Gerencia de Materias Primas.

Dicha etapa señala para nuestro país el comienzo de los trabajos orgánicos de prospección, exploración, evaluación de yacimientos y los de factibilidad hidrometalúrgica y explotación fabril, realizados todos con criterio económico.

De este modo se valorizan para Argentina los recursos de un elemento de indiscutible valor estratégico, económico, energético, y se da el paso inicial para constituir una industria de exis-

//..

//10.

tencia imprescindible, si el país ha de mantenerse en el nivel internacional que le corresponde y si pretende aprovechar al máximo y eficientemente sus recursos naturales no renovables. Al respecto, debe señalarse que una tonelada de uranio se equivale con 10.000 t de petróleo ó 20.000 t de carbón, desde el punto de vista energético.

En la década del 60 el mercado nacional del uranio era pequeño, por lo cual casi toda la actividad aún recayó en un ente estatal como la CNEA.

La nueva década ofrece perspectivas promisorias pues con el reactor de potencia de ATUCHA se empieza a crear un verdadero mercado interno.

Dado que los países con conciencia energética encaran diversos programas donde la electricidad de origen nuclear juega un papel de importancia, es razonable concluir que las previsiones nucleo-energéticas argentinas -aún con hipótesis conservadoras- prevean una industria en crecimiento para abastecer las necesidades estimadas.

La década del 60 significó para la CNEA una inversión del orden de 25 millones de dólares, los que se emplearon para la creación de toda la estructura necesaria para esta industria, desde la prospección hasta la producción de concentrados.

Para el modesto mercado existente en esos años se han producido concentrados por más de u\$s 4 millones (Lámina 12), se obtuvo un equipamiento del orden de u\$s 5 millones y se establecieron reservas por aproximadamente u\$s 30 millones (reservas a menos u\$s 10/lb U_3O_8).

Estas reservas puestas en explotación significan para el futuro una producción potencial de uranio por un monto del orden de u\$s 250 millones y si se considera el total del uranio evaluado la cifra supera los u\$s 1.000 millones.

A todo esto habría que agregar un factor que no se puede expresar en valores económicos, pero que tal vez tenga aún más importancia para el país: la formación de un conjunto de profesionales, técnicos y obreros para encarar esta industria de avanzada.

A continuación resumiremos esa labor, dividida en dos capítulos:

- Recursos uraníferos.
- Realizaciones industriales.

//..

//11.

3.1. RECURSOS URANIFEROS

Un análisis crítico, basado en la composición geológica de la Argentina, en la densidad y distribución de los primeros hallazgos y en los modernos conceptos que rigen sobre génesis de yacimientos uraníferos, permitió definir que de los 3.000.000 km² del territorio continental del país, una tercera parte presenta posibilidades de albergar acumulaciones de minerales radiactivos, quedando desechadas, en principio, las extensas planicies centrales y mesopotámicas. (Lámina 4).

Dentro de la superficie a que se hizo referencia, la que supera 1.300.000 km², se estimó que distintas zonas, integrando 400.000 km², ofrecían un interés inmediato y con mejores perspectivas, sea por sus características geológicas como por sus ubicaciones geográficas más favorables o por poseer indicios o yacimientos uraníferos ya conocidos.

Prácticamente toda la actividad de la CNEA se concentró en esas áreas de "interés inmediato", habiéndose reconocido a la fecha, en forma preliminar, una superficie de 150.000 km², en su mayor parte mediante prospección aérea semi-regular, de los cuales unos 10.000 km² fueron explorados con prospección aérea detallada.

Los trabajos exploratorios cumplidos por la CNEA y en menor proporción por algunas empresas privadas, permitieron localizar más de 50 distritos con yacimientos uraníferos de variada importancia, los que albergan unos 400 depósitos reconocidos en distinto grado. (Lámina 5).

De acuerdo con los programas nucleares argentinos y los presupuestos disponibles, los trabajos de exploración física (mediante perforaciones y labores mineras) y de evaluación se limitaron a un número reducido de manifestaciones y anomalías, las que ofrecían mejores posibilidades y, en especial, condiciones operativas más favorables.

Los programas actuales están principalmente orientados a definir el emplazamiento de las futuras plantas de tratamiento de mineral, la primera de las cuales requiere reservas certificadas del orden mínimo de 2.000 t de U₃O₈.

3.1.1. Principales distritos uraníferos

Mediante la aplicación de las más modernas técnicas de prospección y exploración, entre las que cuentan la prospección aérea, la autotransportada, la geoquímica, la emanométrica y la exploración física mediante labores mineras y perforaciones, se han reconocido en el país varios distritos y yacimientos uraníferos,

//..

//12.

los que se localizan desde la provincia de Jujuy hasta la de Santa Cruz, destacándose los del Distrito Tonco, en Salta; los de Guandacol y Sañogasta, en La Rioja; los del Valle de Punilla, en Córdoba; los de Sierra Pintada y Malargüe, en Mendoza y los de Río Chubut, Sierra Cuadrada y Los Adobes, en Chubut. (Lámina 6).

La Gerencia de Materias Primas cumple actualmente trabajos de exploración física en cinco distritos mineros: Tonco, Punilla, Sierra Pintada, Malargüe y Los Adobes, en los que lleva ejecutados más de 60.000 m de perforaciones y alrededor de 20.000 m de galerías mineras.

Estos trabajos han permitido establecer el cuadro de reservas que se indica en la tabla 5.

3.2. REALIZACIONES INDUSTRIALES

1- Planta Córdoba

2 - Estación de lixiviación de Don Otto (Salta)

3 - Planta Malargüe

3.2.1. Planta Córdoba

Simultáneamente con la iniciación de los estudios de laboratorio en el Departamento de Química de la CNEA, sobre hidrometalurgia de los minerales de uranio, se instaló en Córdoba una pequeña planta experimental para el tratamiento de las primeras menas uraníferas provenientes de la zona de Mendoza.

Dada la escasa información obtenible en la época sobre este tema (período anterior a la Primera Conferencia de Ginebra, 1955) la metodología aplicada estaba basada exclusivamente sobre los conocimientos brindados por la química tradicional y mediante la extrapolación de algunas técnicas analíticas.

Se intentaron diversas posibilidades de puesta a punto de métodos de extracción y recuperación hasta concretar los actuales procesos.

//..

Tabla 5

RECURSOS URANÍFEROS ARGENTINOS

SEGÚN COSTOS DE ELABORACIÓN DEL CONCENTRADO ("YELLOW CAKE")
Y CATEGORÍAS DE LOS RECURSOS

(EN TONELADAS DE U_3O_8)

AL 30-IX-70

ESCALAS PRECIOS: lb U_3O_8		ENTRE U\$S 5 y 10		ENTRE U\$S 10 y 15		ENTRE U\$S 15 y 30		SUB TOTALES	
ZONA	TIPOS DE RECURSOS DISTRITOS	R.A.	A.P.	R.A.	A.P.	R.A.	A.P.	PARCIALES	PROGRESIVOS
NORTE	1 - TONCO AMBLAYO - CACHI	3.300	2.000	3.000	3.000	1.300	1.000		
	2 - ALEMANÍA	—	—	1.200	2.000	500	5.000		
	3 - LA BREA	—	—	—	—	—	500		
	4 - TINOGASTA	150	400	300	1.000	2.000	1.500		
	5 - ÁREAS NUEVAS	—	~2.000	—	~4.000	—	~7.500		
OESTE	6 - SIERRA PINTADA	2.500	4.500	1.000	4.000	500	2.000		
	7 - BARREAL-RODEO-JÁCHAL	—	—	—	—	1.500	5.000		
	8 - MALARGÜE	500	100	200	200	300	500		
	9 - VARIOS PRECORDILLERA	300	300	100	300	—	400		
	10 - ÁREAS NUEVAS	—	~2.000	—	~2.800	—	~10.000		
CENTRO	11 - PUNILLA	2.200	2.000	4.000	5.000	2.000	5.000		
	12 - SIERRAS CÓRDOBA-SAN LUIS	50	400	100	1.000	—	2.000		
	13 - ÁREAS NUEVAS	—	~500	—	~2.000	—	~3.000		
PATAGONIA	14 - GASTRE	—	—	—	—	100	1.000		
	15 - PASO DE INDIOS	250	1.000	—	1.000	—	2.000		
	16 - SIERRA CUADRADA	50	300	100	300	—	1.000		
	17 - RÍO CHICO	—	200	200	200	—	600		
	18 - TOBAS AMARILLAS	—	—	—	—	800	2.000		
	19 - ÁREAS NUEVAS	—	~2.000	—	~4.500	—	~13.500		
R.A.	RECURSOS RAZONABLEMENTE ASEGURADOS	9.300		10.200		14.000		33.500	33.500
A.P.	RECURSOS ADICIONALES POSIBLES		17.700		~31.300		~63.500	112.500	146.000
SUB TOTALES POR ESCALAS DE COSTOS		~27.000		~41.500		~77.500		146.000	

//13.

El establecimiento cumplió dos finalidades fundamentales:

1º) estudio y aplicación de métodos en escala piloto;

2º) aprovisionamiento en pequeña magnitud de material nuclear en forma de "yellow cake" para venta o de nitrato de uranilo como materias primas para la planta para Metalurgia de Uranio en Ezeiza.

Con respecto al primer punto, la tendencia ha sido convertir esta planta en un centro experimental con amplias posibilidades de ensayos semi-industriales en todo tipo de procesos.

En lo que se refiere al segundo punto, su capacidad es tuvo limitada al tratamiento de 20 t/día de mineral por su ubicación inadecuada, la excesiva distancia a yacimientos y el origen heterogéneo de los minerales; sin embargo fué adaptada para afrontar compromisos contractuales de la CNEA en forma de permitir el retratamiento de concentrados primarios provenientes de la Estación de Lixiviación de "Don Otto" para llegar a la obtención de "yellow cake".

Al hacer referencia a la antigua Planta para Metalurgia de Uranio de Ezeiza cabe mencionar que la misma cumplió la importante misión de proveer material nuclear (óxidos de uranio y uranio metal) que permitió el desarrollo de la tecnología metalúrgica aplicable a los requerimientos de reactores.

En la Planta de Córdoba se trataron minerales mediante lixiviación por percolación y agitación, sometiéndose los líquidos fértiles clarificados a una acción de complejamiento directo mediante carbonato de sodio. El complejo soluble uranil-tricarbonato de sodio se separaba de las impurezas y la solución filtrada era acidificada y sometida a ebullición dando lugar a la precipitación del diuranato de sodio.

Los requerimientos de pureza de la materia prima que alimentaba la planta de Ezeiza obligaban a una refinación posterior de este concentrado, repitiendo la operación de complejamiento pero por vía del carbonato de amonio. La destrucción del complejo soluble filtrado (uranil-tricarbonato de amonio) se reproducía por simple ebullición, con recuperación de los vapores desprendidos (agua, amoníaco, y CO₂) y precipitación de uranato amónico.

//..

//14.

El ataque de este concentrado con ácido nítrico, evaporación de la solución y cristalización del nitrato de uranilo, permitirían alcanzar un producto con una pureza del orden del 99,6 a 99,7% como $(\text{UO}_2) \cdot (\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Al constituirse en el año 1961 la Gerencia de Materias Primas, superada la etapa de formación y preparación y con vistas a la formación de una estructura de índole industrial, se revieron métodos y se modificaron instalaciones.

Manteniendo el concepto de planta experimental y al mismo tiempo la posibilidad de sostener una pequeña producción para abastecer los requerimientos propios de la CNEA y los de exportación, se instaló una planta de extracción por solvente aminado, la primera de su tipo en Latinoamérica. La misma se utilizó como etapa de estudio en escala piloto para obtener los datos de proyecto para una similar pero de mayor magnitud en la fábrica de Malargüe; simultáneamente permitió la operación de la Planta de Córdoba como sub-unidad de un complejo de producción para el retratamiento de los concentrados pobres provenientes de la instalación de lixiviación en pila de "Don Otto", Salta.

El esquema empleado en esta planta, tanto para el tratamiento del "preconcentrado" de Don Otto, como para el de menas de variados orígenes ha sido:

- lixiviación por percolación o por agitación;
- extracción del uranio de la solución clarificada con solventes en mezcladores-sedimentadores de tipo compacto, con iguales condiciones a las que se indican más adelante para la Planta Malargüe;
- recuperación final del uranio como diuranato de sodio, alcanzando en el producto seco un contenido del orden del 80-83% en U_3O_8 .

Esta instalación ha operado durante 7 años con un índice de producción del orden de 10.000 kilogramos anuales de U_3O_8 como "yellow cake".

Hoy esta planta está en vía de readaptación para encarar una nueva etapa, que comprende entre otras la de refinación de los concentrados por extracción con fosfato de tributilo.

//..

3.2.2. Estación de lixiviación "en pila" en Don Otto (Salta) /7/

Argentina participó activamente en el desarrollo de un método especial de recuperación del uranio de sus minerales -el de lixiviación en pilas o "heap leaching"-, ya que el alejamiento de algunos yacimientos de las plantas existentes, el volumen solo discreto de las reservas en otros o la demanda aún pequeña del mercado interno, no justificaban la instalación de una planta convencional.

Dicho método se aplica en escala industrial en el yacimiento "Don Otto" (Salta), sobre minerales de la zona oxidada ("minerales amarillos").

La mena, groseramente triturada (30% entre 12 y 50 mm y 70% de 12 mm), se dispuso sobre planchadas impermeabilizadas y con suave declive hacia uno de los ángulos, con una capacidad de carga de 2.000 toneladas cada una y con una altura media de 4 metros. El cerco perimetral se construyó con parantes de madera y con tejido de alambre y finalmente, sobre este último, se colocaron sucesivamente bandas de fieltro asfáltico.

Entre dos pilas consecutivas no existe ningún elemento de separación. Entre la superficie impermeabilizada de la planchada y el mineral apilado se dispuso un lecho filtrante de cantos rodados, que permite el drenaje de los líquidos. Estos se colectan en tanques de fibro-cemento recubiertos con pintura asfáltica.

En definitiva, cada pila tiene una forma paralelepípedica, de 36 metros de largo, 8 metros de ancho y una altura media de 4 metros.

La solución lixiviante (ácido sulfúrico diluido a pH 1,2), se vierte sobre la superficie de cada pila, regulándose la velocidad de percolación mediante una capa de arcilla de espesor variable, dispuesta sobre el mineral. La solución circula a través del mineral y se colecta en la base de la planchada, donde el lecho de cantos rodados facilita el drenaje normal. En el tanque colector se ajusta el pH de la solución y se recircula por bombeo a la superficie de la pila.

Este ciclo (ataque químico, ajuste de pH, bombeo, ataque químico) se repite sucesivamente hasta obtener la máxima solubilización del uranio presente en el mineral. En ese momento, se desplazan del sistema las soluciones ricas mediante lavados con soluciones frescas a pH 1,2. Las soluciones fértiles se precipitan con lechada de cal y el producto, escurrido y seco, se despacha como preconcentrado cálcico a la Planta Córdoba, para la obtención de "Yellow cake".

//16.

Actualmente se está terminando en "Don Otto" la instalación de una planta de resinas de intercambio iónico, la que permitirá la recuperación del uranio de las soluciones de lixiviación, obteniéndose un concentrado con un 50% U_3O_8 . /8/ /9/.

La capacidad de producción es de 15.000 a 20.000 t de mineral por año.

Dicho método, el que en condiciones especiales es ampliamente competitivo con respecto a una planta convencional, ha sido ensayado a escala de planta piloto y es extensivo a los yacimientos de Chubut "Los Adobes" y "Sierra Cuadrada".

En la Lámina 7 se presenta un esquema del circuito empleado.

3.2.3. Planta Malargüe

Esta planta es la instalación industrial más moderna con que cuenta el país para la elaboración de concentrados de uranio /10/. Inició su producción en 1965 y se halla situada en Malargüe, Pcia. de Mendoza, en el mismo lugar en que funcionó la primitiva Planta Malargüe que operaba en muy reducida escala, aplicando el método del fosfato uranoso /11/, que permitió satisfacer los requerimientos iniciales de la CNEA.

a) Introducción

Fábrica Malargüe opera con los minerales cupro-uraníferos de los yacimientos "Huemul" y "Agua Botada" y su capacidad de tratamiento supera las 100 toneladas de mineral por día. (Lámina 8).

Como en toda planta de procesamiento hidrometalúrgico por lixiviación con agitación, se inicia la operación con una reducción de tamaño de la mena, con el objeto de favorecer el íntimo contacto del ácido sulfúrico con el mineral y aumentar la velocidad de la reacción, de manera tal que se logre solubilizar el uranio en el menor tiempo posible. A continuación se separan los estériles (mineral tratado químicamente) de los líquidos de lixiviación con lo que se obtiene la clarificación de la solución portante, de la que luego se recupera selectivamente el uranio, mediante una operación de extracción líquido-líquido con solventes aminados. Finalmente se precipita el uranio como diuranato de sodio con lo que se llega al concentrado comercial ("Yellow cake").

Los líquidos portadores de cobre, remanentes de este proceso, se hacen reaccionar con hierro metálico, produciendo la precipitación de "cobre cemento", al que se obtiene como subproducto.

//..

b) Descripción de las Operaciones

La Planta es alimentada con un mineral mezcla -25% "Hue mul" y 75% "Agua Botada"- en tamaño inferior a 10", que se acopia en canchas o se lleva directamente a una tolva.

- Reducción de tamaño.

La primera operación que se realiza en planta es la trituración primaria, mediante una quebrantadora a mandíbulas, luego se hace la trituración secundaria, con un equipo similar de menores dimensiones y finalmente se lo muele con un molino a barras, hasta llegar a una granulometría con un 95% - 35 mallas (Serie Tyler) que equivale decir a un tamaño menor de 0,417 mm y 50% - 150 mallas, o sea menos de 0,104 mm.

- Flotación de Concentrados de Cobre.

En el "Flow-sheet" original se previó la inclusión de una sección de flotación /12/ y tostación de los concentrados de cobre así obtenidos, con el objeto de elevar los rendimientos de recuperación de este metal, pero en base a los resultados logrados en el procesamiento industrial de la mena, tal vez debidos a la meteorización del mineral durante su permanencia en cancha, surgió la conveniencia económica de operar el circuito con prescindencia de la flotación y posterior tostación programadas.

- Lixiviación.

El mineral finamente dividido se mantiene suspendido en forma de pulpa al finalizar la molienda, de allí se lo bombea a ocho cubas de lixiviación de 10.000 l cada una, donde se pone en contacto con solución diluída (pH 1) de ácido sulfúrico que junto al bióxido de manganeso agregado previamente, provocan al pasaje del uranio desde el mineral a los líquidos de lixiviación. Las condiciones y resultados de esta operación fueron estudiados oportunamente en escala de laboratorio y planta piloto. /13/.

- Separación Sólido-Líquido.

Una vez realizado el ataque del mineral se procede a la separación del mineral agotado y de los líquidos de lixiviación mediante un circuito combinado de espesadores y filtros rotativos que operan a contracorriente. De esta manera se elimina del proceso el material inerte que fué el portador del uranio y cobre. La clarificación de las soluciones portantes debe ser muy eficiente, pues de lo contrario provoca serias dificultades, por la emulsión que producen en la operación con solventes.

- Extracción Líquido-Líquido.

Mediante esta operación de extracción líquido-líquido en

//18.

contracorriente se logra recuperar selectivamente el uranio, a partir de las soluciones de lixiviación obtenidas en las anteriores etapas del proceso. El equipo empleado es del tipo de mezcladores-decantadores de diseño compacto y la circulación de sus dos fases líquidas (orgánica y acuosa) se logra mediante la succión que provocan los agitadores incluidos en los mezcladores.

El reactivo empleado es una amina terciaria, tipo tricapril amina, denominada "ADOGEN 368" (ASHLAND CHEMICALS Co., U.S.A.) en concentraciones aproximadas a 0,1 M. Este solvente va diluido en kerosene y adicionado con isodecanol, empleándose este último como agente sinérgico y antiemulsionante.

Las condiciones de operación para la aplicación de esta tecnología fueron estudiadas oportunamente /14/ /15/ en laboratorios e instalaciones piloto de Sede Central de esta Comisión Nacional.

Al final del tratamiento de los líquidos de lixiviación, por los solventes aminados, se logra una solución de uranio de buena concentración y pureza apta para la próxima etapa.

- Obtención del "yellow cake".

A partir de la solución de uranio provista por la sección de solventes, se precipita el uranio como diuranato de sodio mediante agregado de hidróxido de sodio, con fuerte agitación y en caliente. Se filtra el precipitado, se lo seca en un horno y se lo envasa con su correspondiente control de peso.

- Obtención de Cobre Cemento.

Los líquidos agotados en uranio provenientes de la sección de extracción por solventes, contienen cantidades interesantes de cobre, por lo que se lo precipita, al estado de "cobre cemento" /16/ mediante chatarra de hierro metálico.

Esta operación se realiza en dos cubas de una capacidad superior a los 5.500 litros cada una, provistas de agitadores mecánicos que provocan una circulación violenta de los líquidos respecto a la chatarra depositada en dichas cubas. Esta circulación es aprovechada para transportar las partículas de cobre cemento a sus decantadores, de donde se los retira como subproducto obtenido durante la elaboración de concentrados de uranio.

4. EL FUTURO DE LA INDUSTRIA DEL URANIO (mundial y nacional)

4.1. MUNDIAL

En un comienzo esta industria tenía un destino casi único

//..

//19.

de aplicación bélica. Pero hace 3 lustros se concretó la posibilidad de obtener energía de origen nuclear en escala comercial. Esta aplicación ha tenido una duplicación bianual, provocando ese crecimiento un mercado uranífero firme y en expansión.

El mismo tuvo premisas muy optimistas para mediados de la década del 60, y luego de diversos altibajos, permitió una revaluación que le ha otorgado un carácter más estable y del cual se pueden establecer ciertas bases de prospectiva.

Hay instalada actualmente una capacidad de producción nucleoeléctrica de 18.000 MWe, previéndose que la misma pasará, en 1980, a ser de 230.000 a 330.000 MWe. /3/ /18/ /19/ /25/.

Ello exige un planeamiento muy adecuado de la producción de uranio.

Dichas condiciones pueden resumirse del siguiente modo:

- a) El monto de los recursos uraníferos para el mundo occidental fué estimado, según lo indicado en la tabla 6. /17/ /18/ /25/.
- b) Las estimaciones sobre la demanda mundial de uranio, con destino a la producción de energía, son bastante coincidentes (según los distintos autores o grupos de trabajos), hasta el año 1980 e inclusive hasta 1985. /18/ /20/ /25/.

A partir de 1985 y con extensión hasta el año 2000 los pronósticos son menos seguros, pues entran en juego las especulaciones sobre los tipos de reactores que se usarán.

- c) Las estimaciones sobre demanda de uranio para el mundo occidental, con cifras acumulativas y redondeadas serían las indicadas en la lámina 9. /25/.
- d) Estos valores señalan que el abastecimiento de uranio está asegurado con las actuales reservas hasta el año 1984 para costos menores a u\$s 10/lb U_3O_8 . Recurriendo a concentrados más caros (hasta u\$s 15/lb U_3O_8), se llegaría presumiblemente a 1989.
- e) La tendencia mundial es conseguir el abastecimiento de uranio a costos menores de u\$s 15/lb U_3O_8 . Por ello, todos los esfuerzos se volcarán a transformar en "Recursos razonablemente asegurados" las cifras que figuran como "Recursos Adicionales Estimados" a tales valores.

Para costos inferiores a u\$s 10/lb, se podría llegar así

//..

//20.

T A B L A 6

RECURSOS URANIFEROS MUNDIALES

Valores en 10³ t U₃O₈

Rango costos u\$s/lb U ₃ O ₈	< 10		10 - 15		15 - 30	
TIPO DE RECURSOS	R.R.A.	R.A.E.	R.R.A.	R.A.E.	R.R.A.	R.A.E.
PAISES						
Argentina	9,3	17,7	10,2	31,3	14,0	66,0
Australia	19,7	6,0	8,4	6,0	1,4	—
Brasil	0,9	0,9	—	—	—	—
Canadá	209,9	208,7	117,9	154,3	100,0	300,0
Dinamarca	—	—	4,5	—	—	—
España	10,0	—	9,1	—	15,0	250,0
Estados Unidos	226,4	459,9	127,0	272,0	100,0	440,0
Francia	41,3	22,4	8,9	14,1	—	—
Gabón	11,9	5,9	—	5,9	—	—
India	—	—	2,7	0,9	—	—
Italia	1,4	—	—	—	—	—
Japón	2,5	—	4,1	—	—	—
Méjico	1,7	1,0	—	—	—	—
Niger	23,6	34,2	11,8	11,8	—	—
Portugal	8,7	7,1	—	27,2	—	10,0
Rep.Centro Afri cana	9,4	9,4	—	—	—	—
Sudáfrica	181,6	13,6	59,0	31,8	—	—
Suecia	—	—	317,6	45,4	150,0	200,0
Otros	3,3	10,0	1,4	—	96,6	72,0
TOTALES	761,6	796,8	682,0	600,7	477,0	1.338,0

//21.

hasta 1990 y para costos de hasta u\$s 15/lb U_3O_8 , se cubrirían las necesidades hasta el último quinquenio del siglo.

- f) En los últimos años se reinició en el mundo una etapa intensa de exploración, y así, E.U.A. planificó la perforación de 16.000.000 de metros entre 1968 y 1971. /3/ /24/.

Como dato ilustrativo, puede estimarse que para asegurar los valores R.A.E. que se indican en la tabla 6, deberán perforarse más 150.000.000 de metros. En E.U.A. el costo de perforación es de u\$s 13,5 por metro hasta 160 m de profundidad, y asciende a u\$s 54 por metro hasta 1.300 m. /3/.

Considerando profundidades medias del orden de 250-300 m, a costos de $\pm$ u\$s 20/metro, el asegurar las cifras indicadas de recursos (1.222.000 t U_3O_8) costará, sólo en perforaciones, u\$s 3.000.000.000.

- g) La capacidad mundial de producción actualmente instalada deberá aumentarse. La misma permitirá hacer frente a la demanda hasta fines de la década. (Ver Lámina 10). /21/.
- h) Para dicho aumento deberá tenerse en cuenta que desde el descubrimiento de una manifestación nuclear factible de ser aprovechada hasta iniciar la producción en una planta, se debe contar con un período de 6 a 8 años.
- i) Desde el punto de vista del tratamiento, hasta mediados de la década del 70 esta industria seguirá dependiendo de la tecnología actualmente conocida.
- j) Si bien serán tratadas primero las reservas conocidas con valores de menos de u\$s 10/lb, deberán desarrollarse los trabajos para obtener una tecnología que permita mejorar la actual y que pueda poner en un plano económico las reservas de mayor costo (minerales "pobres", uranio obtenido como subproducto de otras industrias -cobre, fosfatos, etc.-, extracción de uranio de otras fuentes como el agua de mar, etc.).
- k) Las líneas fundamentales a desarrollar en la metalurgia extractiva serían:

- Conseguir métodos de beneficio físico (que hasta el momento han sido de difícil aplicación) como para mejorar las leyes de entrada, y que permitan así disminuir los inmensos tonelajes de "ganga" y eviten el consumo excesivo de reactivos.
- Mejorar los procesos de ataque o aplicación de nuevas técnicas, como la lixiviación bacteriana, lixiviación "in situ", autoge-

//..

//22.

neración del lixivante, o introducción de nuevos reactivos de disolución; eliminar alguna de las etapas de separación sólido-líquido, permitiendo el tratamiento directo de "pulpas", etc.

- Mejorar los procesos de recuperación, permitiendo un tratamiento más eficiente de la solución portante, y eventualmente lograr condiciones tales que permitan lograr productos lo suficientemente puros como para suprimir la etapa de refinación.

4.2. NACIONAL

- a) Las estimaciones sobre la demanda para abastecer de uranio a los reactores de potencia locales, varían por la incidencia de diversos factores (tipo de reactores a instalar; tasa de crecimiento de la energía nuclear, etc.).

Pronósticos razonables, que toman en cuenta la instalación de una línea de reactores, con una tasa de duplicación de potencia comprendida entre 7 y 9 años, señalan que para el año 2000 la Argentina deberá disponer de 16.000 MWe de origen nuclear.

- b) La cantidad de uranio para satisfacer el requerimiento de estas centrales varía de acuerdo con los tipos de reactores que se instalen y las fechas en que los denominados reactores regenerativos (Fast Breeder Reactor) entren en juego.

Los pronósticos sobre necesidades de uranio se pueden plantear según dos variantes muy razonables:

1) de necesidad normal o media

2) de necesidad máxima.

Para la potencia de 16.000 MWe en el año 2000, se necesitarían entre 20.000 t U_3O_8 y 30.000 t U_3O_8 (aproximadamente), según las variantes 1) ó 2), y de acuerdo con los siguientes términos:

<u>Año:</u>	<u>Normal</u>	<u>Máxima</u>
1975	300 t U_3O_8	600 t U_3O_8
1980	1.000 " "	2.000 " "
1985	2.700 " "	4.500 " "
1990	6.000 " "	9.000 " "
1995	11.000 " "	16.000 " "
2000	20.000 " "	30.000 " "

//..

//23.

- c) Los recursos uraníferos argentinos, para costos de concentrados inferiores a u\$s 15/lb U_3O_8 son los presentados en la tabla 5 y que pueden resumirse del siguiente modo:

	<u>u\$s 10/lb U_3O_8</u>	<u>u\$s 10-15/lb U_3O_8</u>
- Recursos razonablemente asegurados	9.300 t U_3O_8	10.200 t U_3O_8
- Recursos adicionales estimados	17.700 " "	31.300 " "

- d) Dichas cifras se integran con todos los yacimientos o cuerpos uraníferos conocidos en el país, los que se distribuyen en la zona oeste, a lo largo de más de 2.700 km, desde Salta hasta Chubut.

Para el caso del abastecimiento uranífero inmediato y mediano (a costo término), corresponde tomar en cuenta solo aquellos distritos mayores o aprovechables en forma instantánea, en los cuales se justifique la instalación de plantas de procesamiento, o bien ya se disponga de ellas.

Estos recursos uraníferos, útiles o aprovechables de inmediato para una demanda a corto plazo, serían:

	<u>u\$s 10/lb</u>	<u>u\$s 10-15</u>
R.R.A.	6.800 t U_3O_8	7.900 t U_3O_8
R.A.E.	10.100 " "	11.200 " "

- e) Con las "reservas" evidenciadas a la fecha (Lámina 11), se aseguraría el aprovisionamiento de uranio para el plan energético nuclear hasta los años 1988 y 1991 (según tipos de reactores), si se hace uso de concentrados obtenidos a menos de u\$s 10/lb U_3O_8 .

Aprovechando aquellos comprendidos entre u\$s 10 y 15/lb U_3O_8 , el abastecimiento alcanzaría a los años 1994 y 1997.

- f) Sea con la variante de demanda "máxima" o con aquella "normal", se evidencia la necesidad de cumplir con una intensa etapa de exploración uranífera, que permita asegurar el abastecimiento hasta fines de siglo.

La mayor prioridad correspondería a los trabajos pendientes a transformar en "Reservas" las 10.100 t U_3O_8 estimadas a costos por debajo de u\$s 10/lb U_3O_8 . Esta meta puede alcanzar-

//..

//24.

se con un programa adecuado de exploración en el orden de 4-5 años.

Las 16.900 t U_3O_8 que así se cubicarían, permitirían llegar a los años 1994-1997 (según la variante), haciendo uso solo de concentrados con costos inferiores a u\$s 10/lb U_3O_8 , es decir que prácticamente se cubriría todo el resto del siglo.

- g) La capacidad de producción actual de 40 t U_3O_8 por año, deberá ser adecuadamente ampliada para cubrir las necesidades. Ese incremento deberá ser realizado en 1975, con plantas que aseguren un abastecimiento del orden de 200-300 t U_3O_8 /año.
- h) Dado que en el futuro deberán ser tratadas menas del tipo "pobres" -y ello involucra el consiguiente aumento de costos de explotación minera-, han de ser adecuadamente estudiados los métodos de tratamiento hidrometalúrgico para disminuir la inversión para esa etapa, de modo de valorizar económicamente dichas menas.
- i) Las metodologías de recuperación y refinación estudiadas en la Gerencia de Materias Primas de la CNEA y particularmente la de obtención del uranio como uranio carbonato de amonio, permiten preveer una disminución de los costos, por supresión de la etapa de refinación. /22/ /23/.

5. CONCLUSIONES

Se presenta un panorama mundial y particularmente nacional de la industria del uranio, destacándose que se entró en una etapa de aprovechamiento energético de esta fuente no tradicional, de la cual nuestro país no es ajeno.

Hasta la creación del verdadero mercado consumidor -los reactores nucleares de potencia- ha sido la CNEA quien prácticamente desarrolló todos los trabajos de formación de personal y creación de esta industria.

Las inversiones realizadas han valorizado recursos que permiten hacer frente con adecuado optimismo a un programa núcleo-energético conservativo. Al mismo tiempo ha desarrollado las instalaciones industriales así como la infraestructura de apoyo que permitieron brindar el abastecimiento necesario y crear las bases para las necesidades futuras de esta rama de la metalurgia extractiva.

Se han abierto así las puertas para el empleo de una nueva fuente energética, utilizando recursos nacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- /1/ - WOODY, R.J. and GEORGE, D.R. "Acid leaching of uranium ores", Uranium ore processing, Chap 6, p.125, Addison Wesley Publ. Co. Inc., Reading, Mass., U.S.A., 1958.
- /2/ - MUSGROVE, R.E. "Economics of uranium hydrometallurgy", Unit Process in hydrometallurgy, p.828, Gordon and Breach Sc Publ., New York, 1963.
- /3/ - CARTEW, D. "Uranium update", Engineering and Mining Journal, 169, 12, December 1968, pp 67-71.
- /4/ - SMITH, S.E. and WHITE, P.A. "Uranium ore processing", Engineering and Mining Journal, 170, 1, Jan. 1969, pp 113-115.
- /5/ - PINKNEY, E.T.; LURIE, W.; VAN ZYL, P.C.N. Chemical Processing of Uranium Ores, Review Series N° 23/24, Ed. International Atomic Energy Agency, Viena, 1962.
- /6/ - FRIZ, C.T.; RODRIGO, F.; STIPANICIC, P.N. "Recursos y posibilidades uraníferas argentinas", Actas Tercera Conf. Intern. Sobre Usos Pacíficos de la Energía Atómica, U.N., P/405, 12, pp 42-54, Ginebra, 1964.
- /7/ - CECCHETTO, A.; COPPA, R.C.; DEL BOCCA, R.; LICHA, A.; STIPANICIC, P.N. "Aplicación de la lixiviación en pilas ("heap-leaching") en el tratamiento de minerales argentinos", Actas Tercera Conf. Intern. Usos Pacíficos de la Energía Atómica, U.N. P/768, 12, pp 204-213. Ginebra, 1964.
- /8/ - CECCHETTO, A.; LICHA, A.; MACCHIAVERNA, E.G. "Ensayos de lixiviación del mineral de "Don Otto" y recuperación del uranio mediante resinas de intercambio iónico", Inf. C.N.E.A., MP/E/LN 61, 1968.
- /9/ - MACCHIAVERNA, E.G.; PINGRAY, J.F. "Estudios para la recuperación del uranio de lixivios sulfúricos de "Don Otto" con resinas de intercambio iónico", Inf. C.N.E.A., MP/E/Hd 62, 1966.
- /10/ - STIPANICIC, P.N. et al. "Anteproyecto de una planta para procesar el mineral cupro-uranífero de "Huemul-Agua Botada" (Pcia. de Mendoza). Inf. C.N.E.A., G.M.P., 1962.
- /11/ - BUHLER, M.F.; FERNANDEZ, O.; RODRIGUEZ, J.R.; POZZI, G. "Aplicación del método del fosfato uranoso a la recuperación del mineral argentino de Malargüe, Mendoza", Actas Segunda Conf. Intern. Usos Pacíficos de la Energía Atómica, P/1554, 3, pp 260-264, Ginebra 1968.

//26.

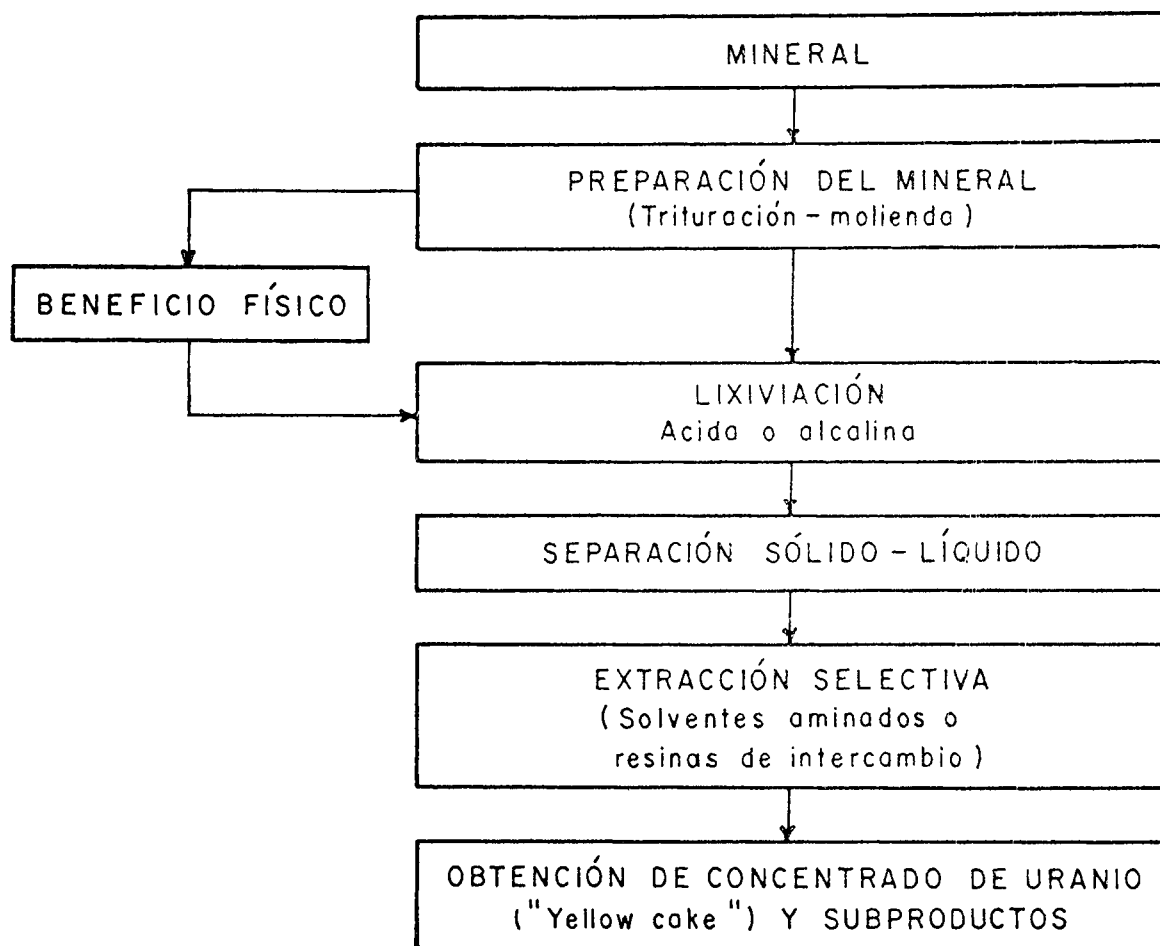
- /12/ - MOCHULSKY, M.; FINKELSTEIN, B.; ANDRES, R. "Flotación de menas de uranio y cobre de "Malargüe", XIas.Sesiones Químicas Argentinas, T/163, Bahía Blanca, 1964, Inf.C.N.E.A., MP/E/Hd 40, 1964.
- /13/ - GARCIA BOURG, J.M.; COSTARELLI, R.; OBERMAN, R.A. "Ensayos en escala piloto sobre procesamiento hidrometalúrgico de los minerales cupro-uraníferos del distrito Malargüe", Industria y Química, 26, pp 43-45, 1968.
- /14/ - GARCIA BOURG, J.M. "Extracción selectiva del uranio por solventes", Actas Primeras Jornadas Latinoamericanas en Minería, Univ.de Concepción, Chile, pp 293-302, 1966.
- /15/ - GARCIA BOURG, J.M.; WIEDMER, C. "Stripping de uranio disuelto en solventes aminados. Estudio del proceso con $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ y con ClNa acidificado". Com.XIas.Sesiones Químicas Argentinas, T/168, Bahía Blanca, 1969, Inf. C.N.E.A., MP/E/Hd 42, 1964.
- /16/ - GESTOSO, J.N.; GARCIA BOURG, J.M. "Recuperación de cobre por precipitación con hierro a partir de líquidos de lixiviación de un mineral argentino", Com.XIas.Sesiones Químicas Argentinas, T/167, Bahía Blanca, 1964, Inf.C.N.E.A., MP/E/Hd 43, 1964.
- /17/ - O.E.C.D. "Uranium resources". Joint Report by European Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, Dec. 1967.
- /18/ - O.E.C.D. "Uranium. Production and short term demand". Joint Report by European Nuclear Energy Agency and International Atomic Energy Agency, Jan.1969.
- /19/ - SHERMAN, J.T. "Uranium", Engineering and Mining Journal, 171, 3, pp 92-96, March 1970.
- /20/ - MABILE, J. "Prospection et tendance" a long term de l'uranium"; Energie Nucleaire, 10, 4, pp 242-248, Juin 1968.
- /21/ - NININGER, R. "Paneles sobre Recursos, Producción y Geología del Uranio", Organismo Internacional Energía Atómica, Viena, Abril 1970, Bol.Organismo Internacional Energía Atómica, 12, 3, p 10, 1970.
- /22/ - MACCHIAVERNA, E.G.; CADIROLA, R.J.C. "Estudio de la elución precipitante del uranio en solventes aminados", Com.XIas.Sesiones Químicas Argentinas, T/172, Bahía Blanca, 1964. Inf.CNEA MP/E/Hd 46, 1964.

//..

//27.

- /23/ - MACCHIAVERNA, E.G.; COSTARELLI, R.; VERCELLONE, J.A.; VIDAL, F.
"Aplicación industrial de la recuperación y refinación simultánea del uranio por elución precipitante directa". Inf. CNEA MP/E/P.C. 61, 1961 y Proc.Symposium on recovery of uranium from its ores and other sources", Int.At.Energy Agency, Sao Paulo August 1970, Com.I.A.E.A., SM-135/27, pp 5-7.
- /24/ - HAASE, W. "Uranverrate und Uranbedarf". Taschenbuch für Atomfragen, pp 192-199, 1968.
- /25/ - O.E.C.D. "Uranium, Resorces, Production and demand". Joint Report by European Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, September 1970.

OBTENCIÓN DE CONCENTRADO COMERCIAL ("YELLOW CAKE")



OBTENCIÓN DE PRODUCTOS NUCLEARES (con TBP)

DISOLUCIÓN DEL CONCENTRADO DE URANIO



REFINACIÓN POR EXTRACCIÓN LÍQUIDO/LÍQUIDO

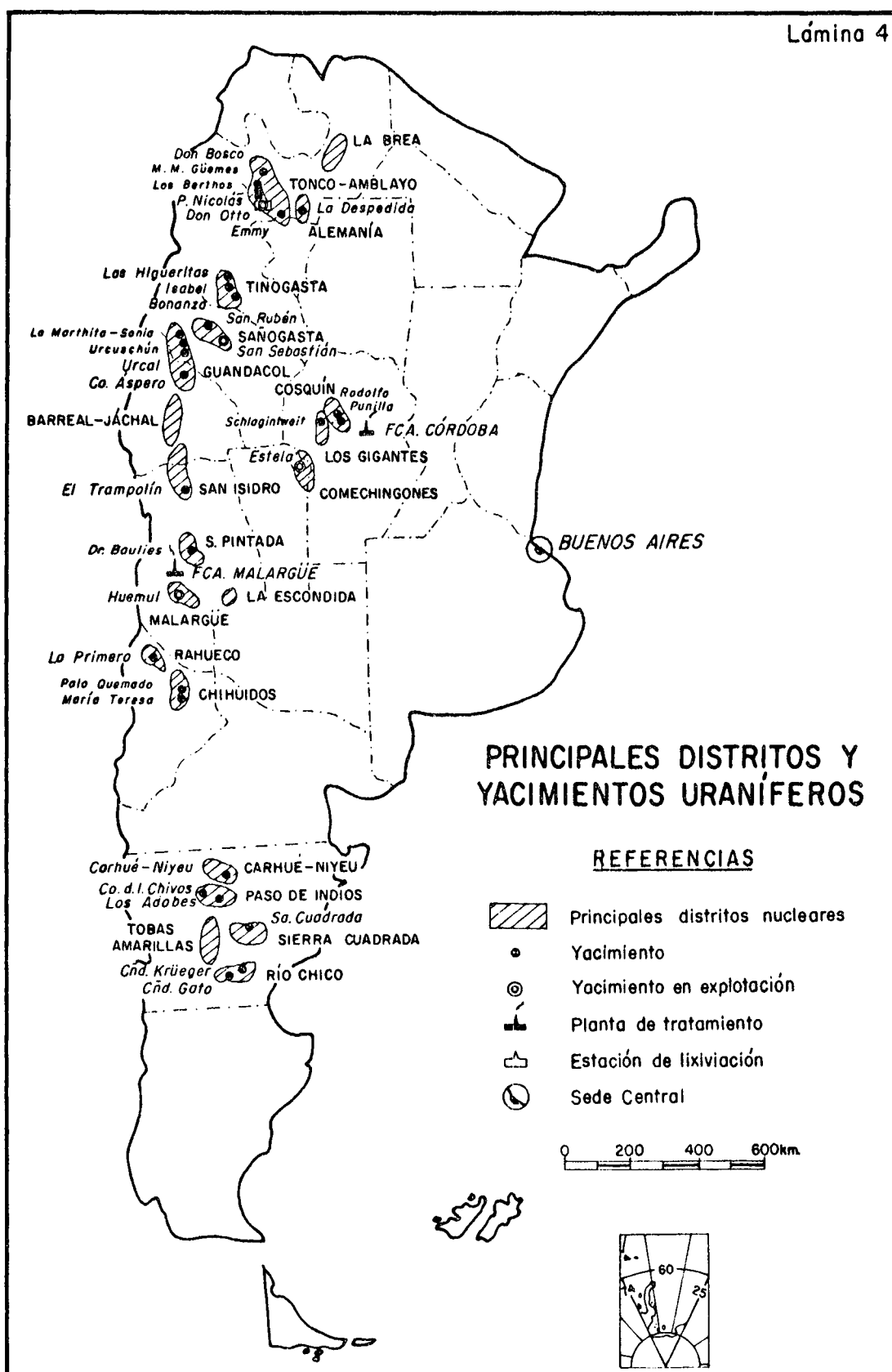


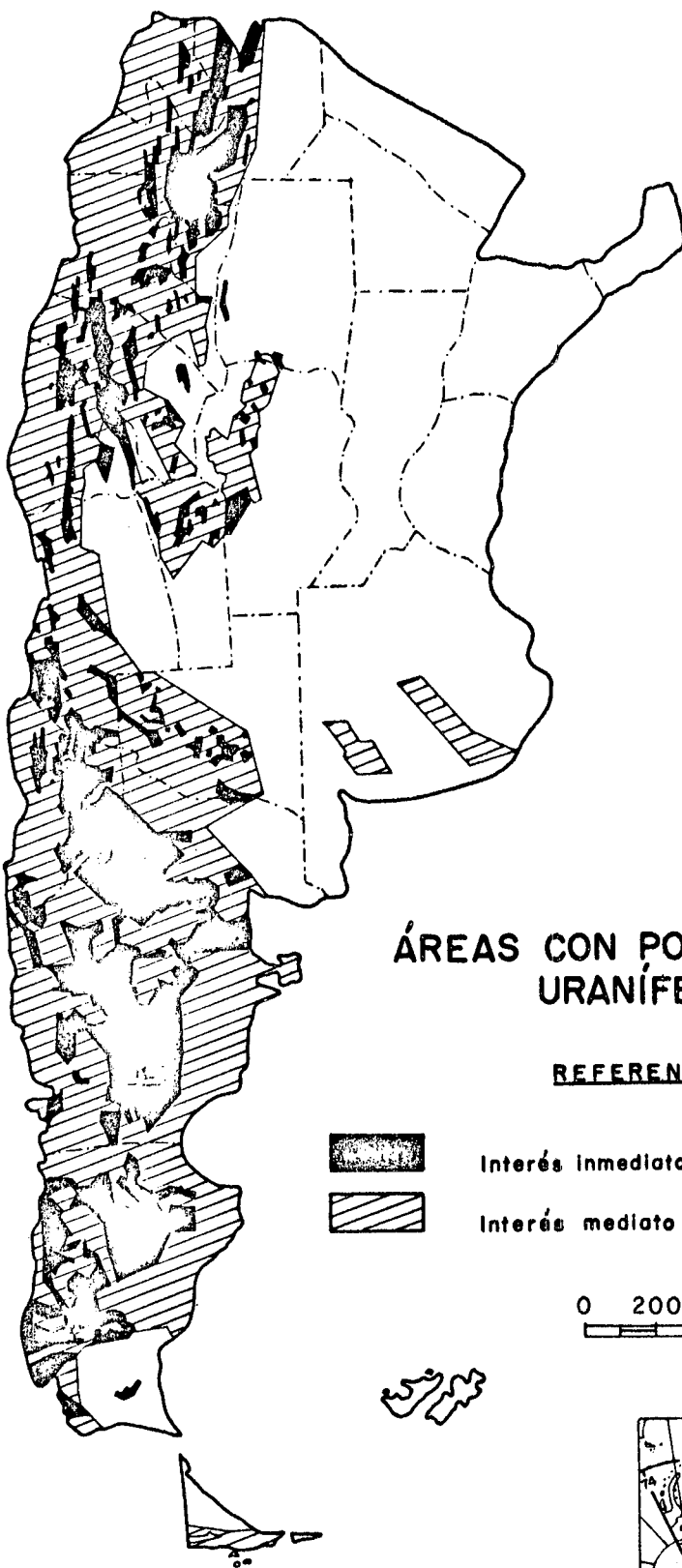
OBTENCIÓN DE PRODUCTO INTERMEDIO NUCLEAR



TRANSFORMACIÓN EN PRODUCTOS NUCLEARES FINALES
(U metálico , UO_2 , etc)

COMPARACIÓN DE LA INFLUENCIA DE ALGUNOS ASPECTOS EN LOS PROCESOS DE LIXIVIACIÓN					
VARIABLE	LIXIVIACIÓN				
	AGITACIÓN	PERCOLACIÓN	PILA	"IN SITU"	
MOLIENDA	MÚL. FINA	TRITURADO	QUEBRANTADO	ABATIDO	
TIEMPO DE ATAQUE	HORAS	DÍAS	M E S E S		
SELECTIVIDAD DE EXTRACCIÓN	BAJA	MEDIANA	A L T A		
RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN	ALTO	ALTO	MEDIANO	BAJO	
CONSUMO DE REACTIVOS	ALTO	MEDIANO	B A J O		
COMPLEJIDAD DE INSTALACIÓN	FÁBRICA CONVENCIONAL	INSTALACIÓN SIMPLE			





ÁREAS CON POSIBILIDADES URANÍFERAS

REFERENCIAS

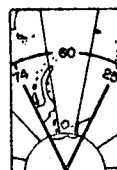


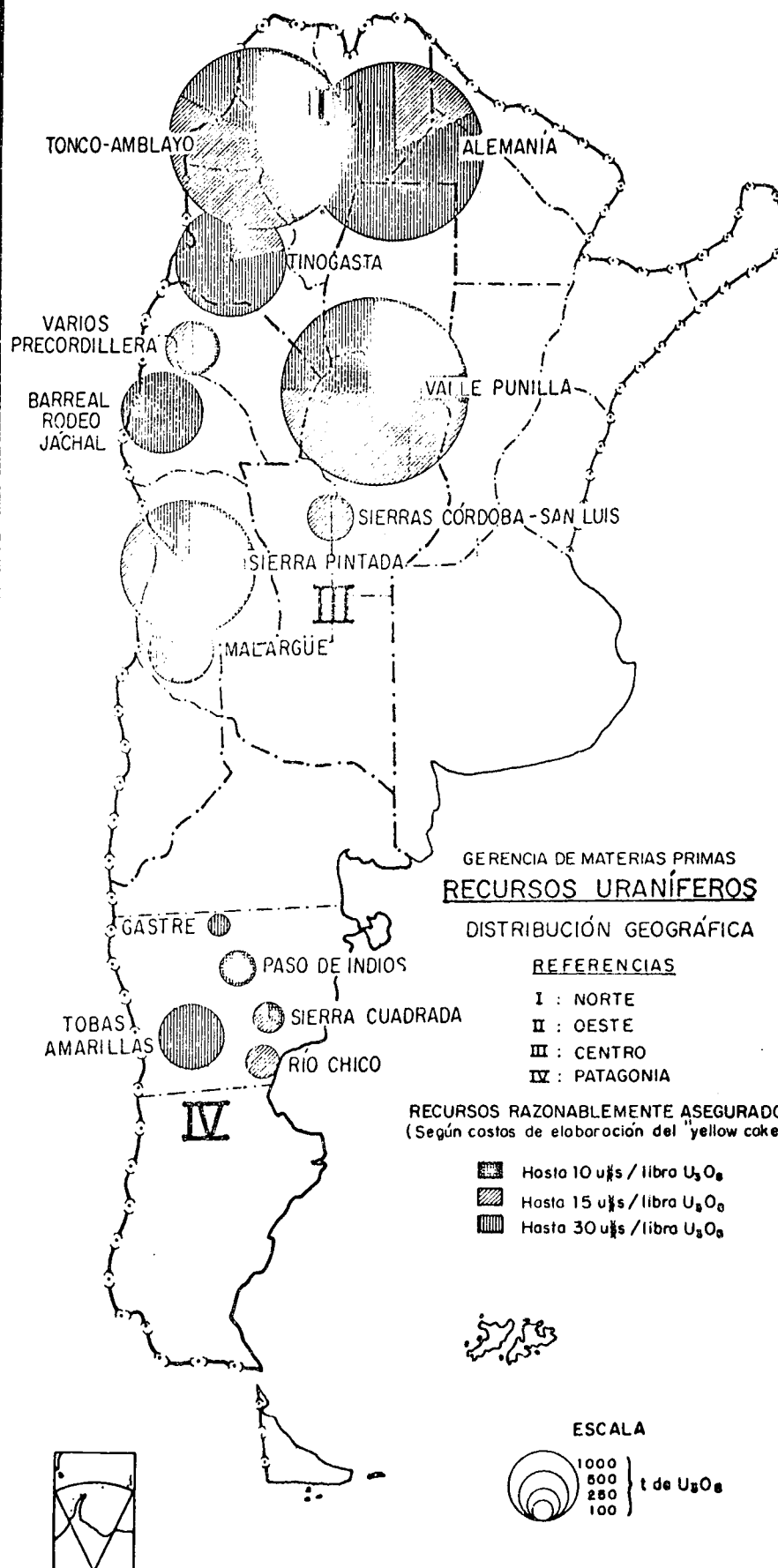
Interés inmediato - 400.000 km²



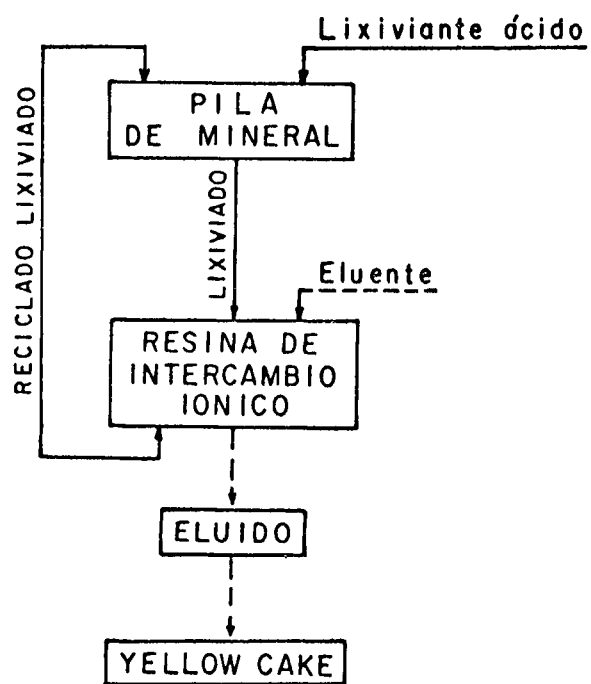
Interés mediano - 900.000 km²

0 200 400 600 km

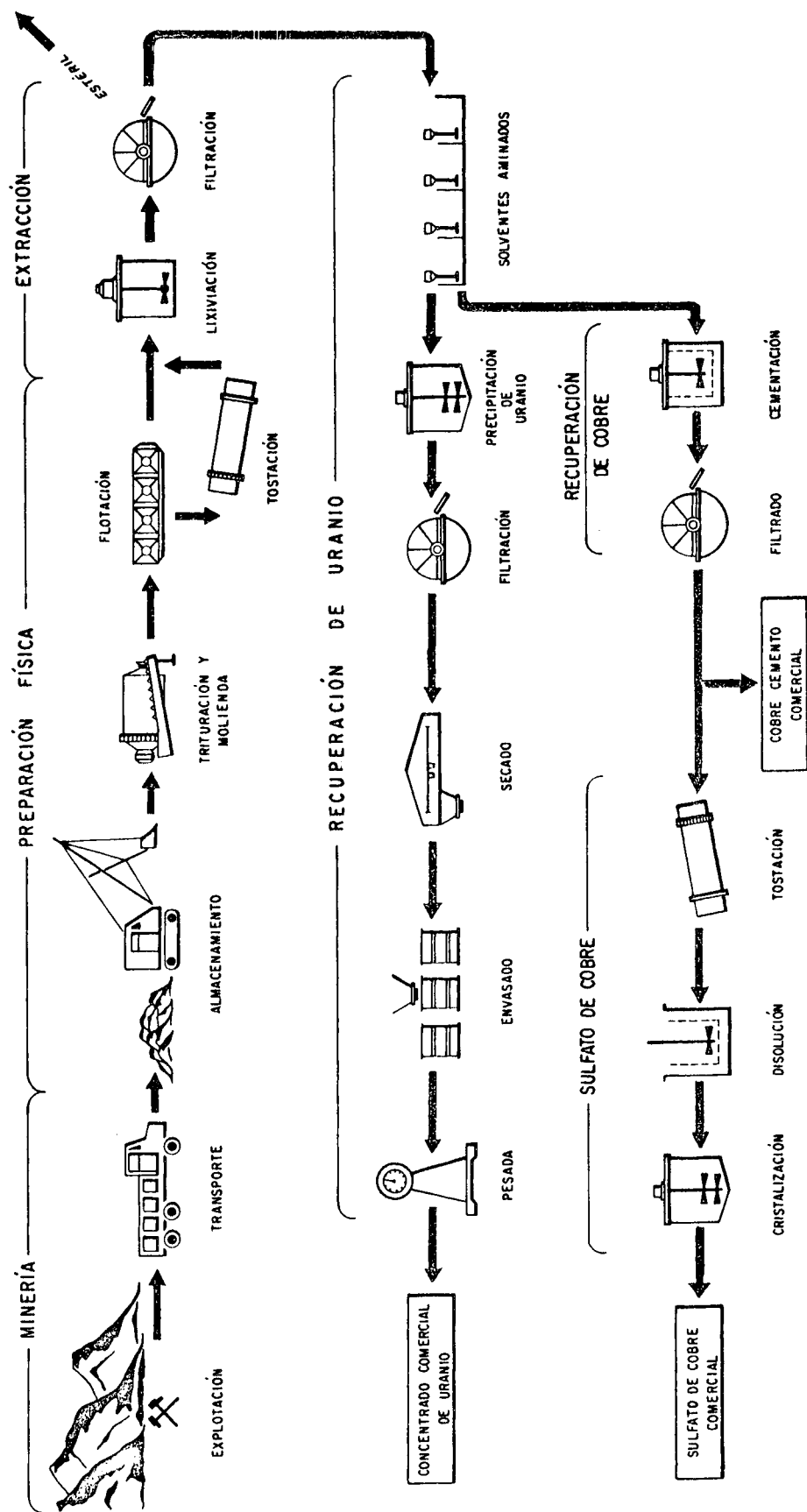


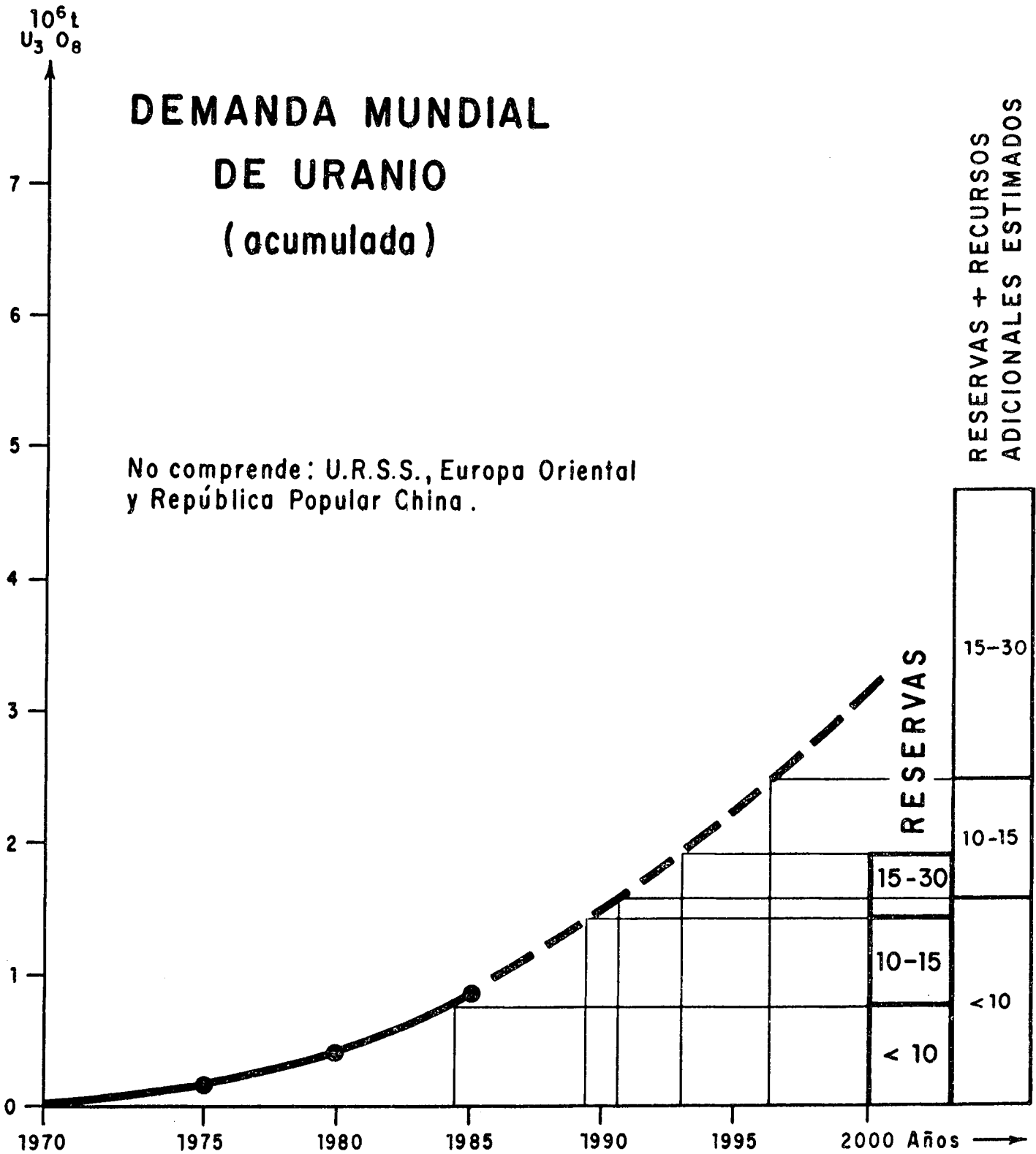


ESQUEMA DE PROCESAMIENTO EN "DON OTTO"



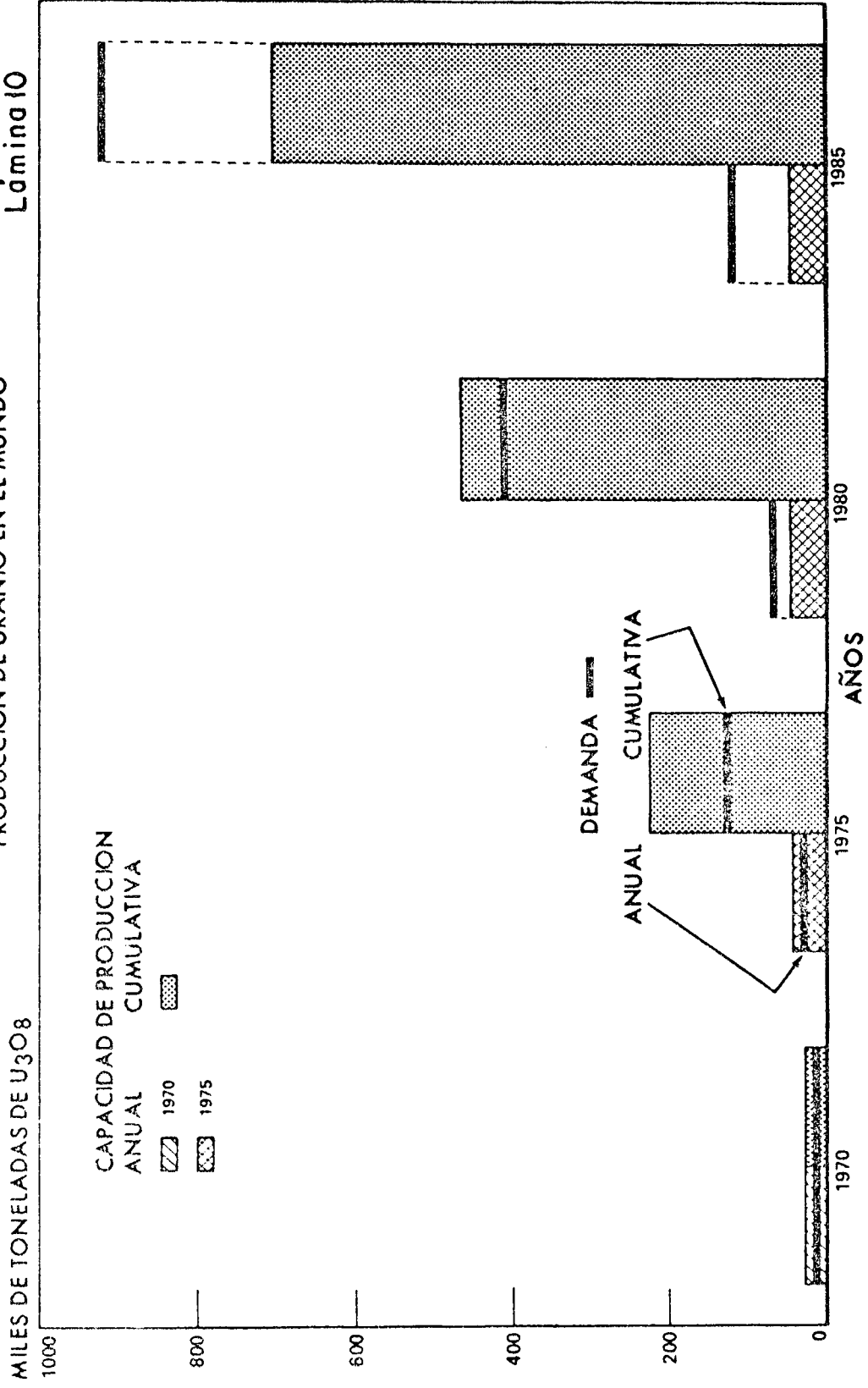
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
PLANTA MALARGÜE
FLOW - SHEET





DEMANDA Y CAPACIDAD DE PRODUCCION DE URANIO EN EL MUNDO

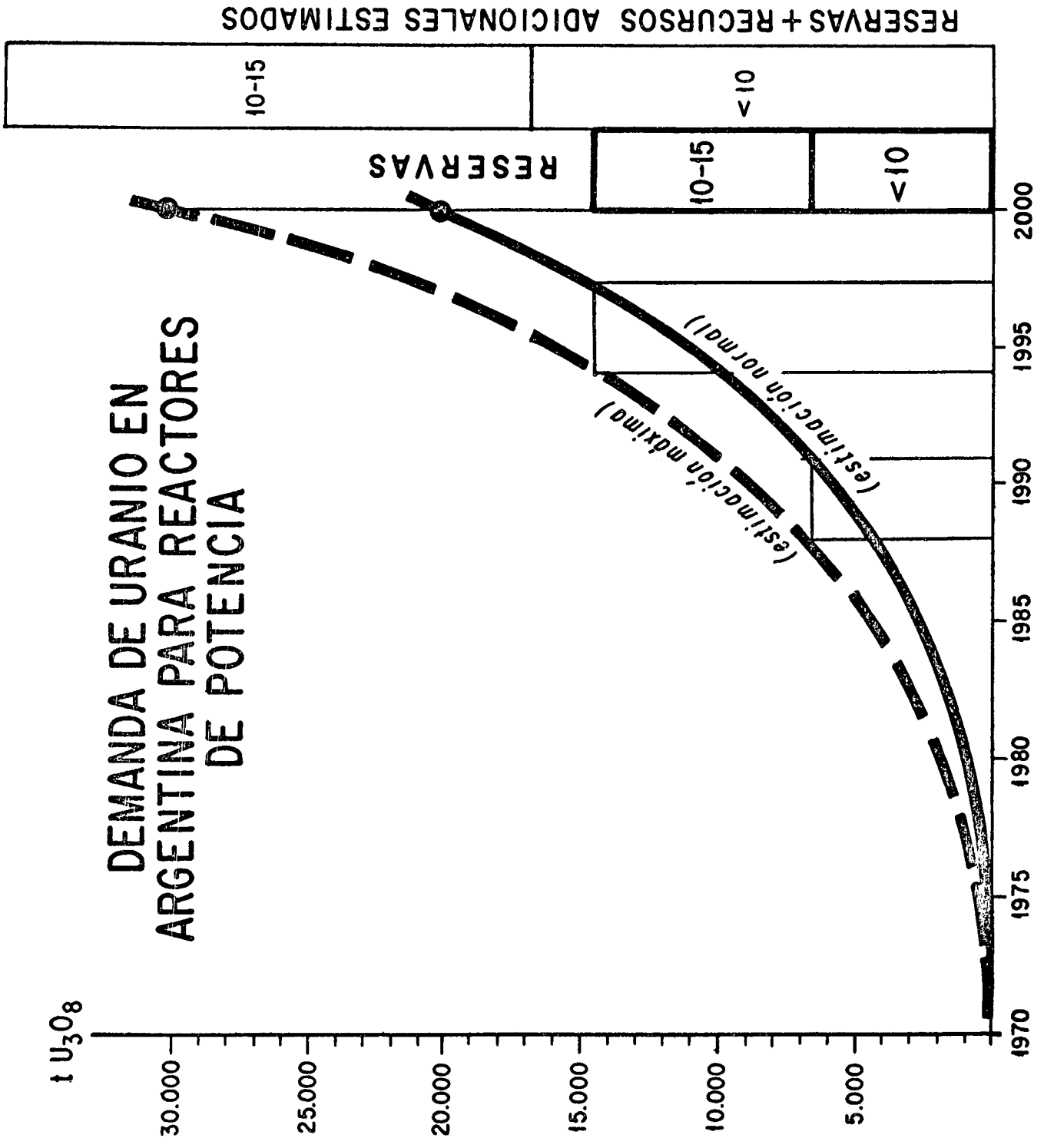
Lámina 10



t U₃O₈

DEMANDA DE URANIO EN ARGENTINA PARA REACTORES DE POTENCIA

Lámina #1



EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ARGENTINA DE URANIO

(Expresado en t U₃O₈ contenido en el concentrado comercial: "yellow cake")

