

TRATAMIENTO DE MINERALES DE URANIO DE BAJA LEY

R. C. Coppa, A. Cecchetto, E. Macchiaverna y A. Licha

C. N. F. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1974

El presente trabajo hace referencia a los métodos que se han estudiado en la República Argentina para el tratamiento de los minerales nucleares pobres. Por ello es adecuado discutir brevemente el concepto de menas de uranio de baja ley.

a) Primariamente ha de entenderse como mineral de uranio de baja ley aquel que no puede ser tratado a un costo competitivo en una instalación ya existente o que no puede soportar sobre igual base económica la creación de una nueva planta para su tratamiento (tanto sea éste individual como acompañando un material de alta ley).

b) Supletoriamente puede considerarse también bajo igual denominación, aquellos minerales de muy bajo contenido, contándose también en este grupo los resultantes de la explotación y tratamiento de minerales de mayor ley (escombreras, colas, etc.), así como las aguas de minas que pueden contener concentraciones importantes de uranio.

c) Finalmente y de modo muy poco limitativo, puede considerarse la mineralurgia del uranio como dentro del capítulo del tratamiento de minerales de baja ley, ya que en la casi totalidad de los casos está relacionada con menas que no superan los 3 kilogramos de metal por tonelada de mineral.

RECURSOS ARGENTINOS DE BAJA LEY

Dentro del territorio argentino existe un número de depósitos uraníferos, en los que a causa de la incidencia desfavorable de diversos factores no se hace posible la concentración económica de la totalidad o parte de sus minerales por debajo de 10 U\$S lb. U308 aplicando los métodos convencionales de procesamiento, por lo que los mismos no resultarían aprovechables en el presente. Al respecto, se distinguen tres casos fundamentales:

a) Yacimientos de volúmenes discretos o grandes, con menas de baja ley, las que no soportan los costos de tratamiento ni la amortización de las plantas clásicas.

b) Yacimientos con menas de ley normal o aún altas y aptas para su proceso por las vías convencionales, pero cuyas reservas no justifican la instalación de plantas en sus cercanías, a la vez que sus distancias hasta los centros de concentración impiden su transporte, por la fuerte incidencia de los fletes.

c) Yacimientos parcialmente aprovechables en sus sectores con leyes normales, cuyas menas soportan los gastos de explotación minera, transporte y procesamiento convencional, pero en los que se hace necesario dejar en mina cantidades importantes de uranio, contenido en minerales de baja ley, los que no pueden hacerlo si inciden los tres factores citados en toda su extensión.

Ejemplos típicos del primer caso lo constituyen los yacimientos de los distritos de Tinogasta (Catamarca) y Punilla (Córdoba), en los cuales las reservas uraníferas alcanzan cifras de consideración, pero sus minerales, por su baja ley, no resultan económicamente aprovechables en la actualidad, ya que no pueden soportar los costos totales de procesamiento.

Otros yacimientos con leyes normales, como los distritos Sierra Cuadrada y Río Chico, en Chubut ("Sierra Cuadrada", "Cañadón Gato", "Cañadón Kruger", etc.); Rahueco y Chihuidos, en Neuquén ("La Primera", "María Teresa", etc.), Jachal, en San Juan ("Cerro Aspero", "La Cuesta", etc.) y "San Roque", en la Rioja, no podrían ser explotados en el presente, pues sus respectivos minerales llegarían a las plantas más cercanas con un valor complejo por flete y costo propio, oscilante entre 10 y 22 dólares por kg. de U308 recuperable, aún para el caso de menas con tenores uraníferos elevados (p. ej. "María Teresa", con 0,39 % U308).

En otro grupo de yacimientos, como los de los distritos Sañogasta ("San Victorio", "Santa Brígida", etc.) y Guandacol ("Sonia", "La Martita", "Urcal", etc.) en la Rioja; San Isidro ("Soberanía", etc.) en San Luis, sólo resultarían aprovechables los minerales más ricos, con leyes por lo general superiores a 0,2

por ciento U308, debiendo dejarse en mina, sin extraer, volúmenes importantes de uranio, contenido en menas con tenores discretos y aún normales (0,1 a 0,2 % U308).

Finalmente, otro ejemplo típico lo constituyen los depósitos del grupo Huemul, en Mendoza ("Huemul", "Agua Botada", "Arroyo Seco", etc.), los que abastecen de mineral a Planta Malargüe, con ley media de entrada a la mina de 0,18 % U308. Para alcanzar tal contenido, el tenor de corte mínimo en boca mina no puede bajar de 0,06 % U308 lo que obliga a desechar proporciones elevadas de material ya extraído con valores que oscilan entre 0,04 y 0,06 % U308, o bien dejar de explotar paños enteros del yacimiento con leyes del mismo orden.

Generalizando las observaciones precedentes diremos que las diferentes estimaciones sobre recursos uraníferos prevén un aprovechamiento de las reservas recuperables a costos menores o iguales a 10 U\$S/lb U308 para cumplir los planes nucleenergéticos hasta mediados de la próxima década.

Las apreciaciones que llegan hasta el fin de siglo son naturalmente poco precisas, pero de todos modos ellas reflejan la necesidad de hallar menas beneficiables a costos semejantes o de recurrir a aquellas que se encuentran en la categoría de hasta 15 U\$S/lb U308. Las que oscilan entre 15-30 U\$S/lb U308 no entran en general en estas previsiones, pero una adecuada metodología de trabajo hace aconsejable el estudio de su aprovechamiento para incluirlas en las categorías anteriores.

Ello significa optimizar, modificar o crear nuevas técnicas tanto de explotación minera, como de metalurgia extractiva, que permitan reducir los costos de tratamiento integral hasta la obtención del concentrado o del producto de calidad nuclear.

Independientemente de los métodos clásicos que optimizados puedan lograr esos objetivos, como por ejemplo la precencentración y concentración física; la eliminación de etapas completas de tratamiento, o la obtención directa de productos nucleares en la misma planta de concentración, la Gerencia de Materias Primas, a través de los grupos técnicos adecuados, consideró las posibles vías de interés que se enumeran a continuación y que podrían operar en forma individual o combinadas:

- 1 — Lixiviación del mineral "in situ".
- 2 — Lixiviación del mineral "en pila";
- 3 — Lixiviación bacteriana;
- 4 — Recuperación de aguas uraníferas y empleo de sorbentes especiales.

1) Lixiviación "in situ"

Consiste en lixiviar el mineral directamente en los paños abatidos, es decir en el interior de la mina, permitiendo recuperar a un precio razonable el uranio contenido en minerales marginales ya que se economiza —entre otros factores incidentes— el movimiento y transporte del mineral dentro y fuera de la mina.

Este método tiene por el momento una aplicación limitada y ha sido experimentado con éxito en Francia (1). En nuestro país no ha encontrado todavía aplicación, pero se prevé en el futuro su ensayo en el distrito minero de Tonco Amblayo.

2) Lixiviación "en pila"

Esta metodología ha recibido en la Argentina una atención particular creando al efecto una sección especializada para el estudio de un número elevado de minerales uraníferos sea por tratamiento ácido, alcalino o mediante sales hidrolizables, investigando en cada caso la influencia de diversos factores que afectan la lixiviación, así como las formas de recuperación final del concentrado. Este grupo de trabajo ha procurado definir las condiciones de tratamiento de cada mineral mediante procedimientos químicamente afinados, en instalaciones simplificadas, que permitan su aplicación en las proximidades de la boca de la mina a fin de obtener preconcentrados que admitan el transporte hasta plantas de refinación o bien, directamente concentrados de valor comercial.

La tecnología aplicada en el método de la lixiviación en pilas es la siguiente: el mineral, reducido al grado óptimo de granulometría y dispuesto en pilas de 3-4 m. de altura, es regado desde la superficie superior por la solución lixivante constituida generalmente por soluciones débiles de ácido sulfúrico o carbonato de sodio según sea el método elegido. La solución se difunde a través de la masa del mineral (sin anegararlo) recogiendo al pie de la pila donde es reajustada en su concentración de reactivo y reciclada nuevamente a la superficie de la pila. A través de sucesivas recirculaciones se produce el ataque progresivo del mineral y la disolución del Uranio y otros elementos acompañantes. Las recirculaciones se continúan hasta la máxima solubilización del uranio pudiendo durar desde algunos meses hasta 1-2 años de acuerdo con las características físicas y mineralógicas del mineral, caudal de riego, concentración del reactivo, etc.

La recuperación del U solubilizado puede realizarse al final del proceso —oportunidad en que la solución lixivante alcanza la mayor concentración— o en etapas intermedias con soluciones de concentración inferior. Para esta recuperación son aplicables cualesquiera de los métodos convencionales: resinas de intercambio, solventes aminados, precipitación cálcica, etc. La elección del método dependerá de la magnitud de la operación, condiciones geográficas, disponibilidad de personal adiestrado, proximidad a plantas de refinación, etc.

Por este procedimiento es posible reducir substancialmente los costos de tratamiento en razón de:

a) el menor consumo de reactivo dada la baja concentración del mismo en las soluciones lixiviantes;

b) la eliminación de la etapa de molienda. Generalmente una etapa de trituración primaria puede ofrecer la granulometría óptima (solución de compromiso entre superficie libre del mineral y permeabilidad de la masa). En los casos de minerales areniscos o escasamente consolidados puede utilizárselos tal cual salen de mina;

c) el bajo consumo de agua. Una relación sólido-líquido = 4 : 1 parece suficiente, aunque en las regiones áridas el volumen a reponer por evaporación puede ser elevado.

d) el bajo consumo eléctrico puesto que en las recirculaciones de las soluciones son espaciadas y de poco volumen;

e) la eliminación de la etapa de separación sólido-líquido, bastando la clarificación final por filtros de arena convencionales antes de recuperar las soluciones;

f) eliminación de la neutralización y transporte del mineral agotado el cual puede abandonarse en el mismo lugar. Las nuevas pilas se construyen en las vecindades teniendo en cuenta la abundancia de terrenos en las proximidades de las boca-minas;

g) un índice muy bajo de amortización por tratarse de instalaciones muy simplificadas;

h) una mayor simplicidad en las operaciones y medios de control, factores que pueden revestir importancia en los lugares donde no se dispone de mano de obra calificada;

i) utilización de materiales rústicos y baratos disponibles generalmente en la zona.

Contrariamente, el tiempo de tratamiento puede ser un factor negativo. Sin embargo escalonando un número suficiente de pilas podrá mantenerse una producción regular compensando los diferentes grados de extracción de las mismas.

2-1) Algunos ejemplos

Estación de Lixiviación "Don Otto"

(Pcia. de Salta)

En esta instalación se ha procesado a la fecha un total de 100.000 t. de mineral con los siguientes resultados:

ley media del mineral (U308 %):	0,10
rendimiento de extracción:	80-85%
consumo de SO_4H_2 :	30kg./t.

Inicialmente el uranio fue recuperado por precipitación integral con cal bajo forma de preconcentrado (de ley variable entre 2 y 4% de U308) refinado posteriormente en la planta de tratamiento Córdoba.

En la actualidad se practica la recuperación mediante resinas de intercambio para la obtención de un concentrado de ley 65-70 % de U308. Entre otros beneficios de este método de recuperación se señala el de un mejor aprovechamiento del reactivo (SO_4H_2) cuyo consumo descendió a 20-25 kg/t.

Mineral "Los Adobes" (Pcia. de Chubut)

A la fecha se han completado los estudios a escala de laboratorio. El mineral, por su característica arenisco-conglomerádico escasamente cementado no requiere molienda previa para su tratamiento. La lixiviación de este mineral con soluciones de SO_4H_2 en concentraciones variables (desde 2 gr./l hasta 150gr. por litro) asegura un rendimiento razonable sin modificar el índice de consumo de reactivo. Un promedio de resultados indica:

ley media de la muestra:	(U308%) 0,130
rendimiento de extracción:	85-90%
consumo de SO_4H_2	16-18kg/t.

Se ha estudiado asimismo la recuperación del uranio mediante resina de intercambio.

3) Lixiviación bacteriana

Hace ya tiempo que es conocida la posibilidad de lixiviar minerales uraníferos por la acción de algunos tipos de bacterias (2), (3), (4). Son de interés especialmente las del tipo **Thiobacillus thiooxidans** y **Thio bacillus ferro oxidans**, cuyas colonias son frecuentes en las aguas de las explotaciones mineras de uranio. Actúan sobre los sulfuros del mineral o bien sobre fuentes de azufre agregadas produciendo ácido sulfúrico y sulfato férrico que son reconocidos agentes de lixiviación. Algunos de los parámetros que controlan el proceso son el grado de exposición o de subdivisión del mineral al tratamiento, temperatura, humedad, presencia de nutrientes o de venenos. La eco-

nomía del proceso es generalmente muy interesante ya que lográndose la disolución, tanto por combinación con la lixiviación en pila, o el tratamiento "in situ" el costo de producción queda limitado a la obtención de un concentrado con una instalación auxiliar de resinas de intercambio aniónico.

En la C. N. E. A., se han realizado ya ensayos orientativos, tendientes al beneficio de las escombreras de las explotaciones mineras de la zona de Malargüe (Mendoza), permitiendo los resultados obtenidos (5), (6), prever para los próximos años la realización de trabajos de aplicación a igual mena que ofrece la ventaja de la presencia de sulfuros.

Igual posibilidad se ha demostrado para el mineral "Los Adobes": experiencias en curso han permitido alcanzar rendimientos del 80-82 % a partir del mineral nutrido con azufre y regado periódicamente con agua. Con todo, la lentitud de la lixiviación bacteriana limita por el momento su aplicabilidad a los minerales argentinos.

4) Recuperación de aguas uraníferas y empleo de sorbentes especiales.-

Puede verificarse la existencia de concentraciones interesantes de uranio en diversos tipos de aguas, principalmente aguas de minas, aguas de ríos o vertientes y agua de mar.

La presencia de uranio en dichas aguas puede deberse a la acción de diversos agentes lixiviantes naturales: sales, gases en solución, acción bacteriana, etc. El uranio migra normalmente en la naturaleza bajo la forma de anión complejo, muy estable, el uranil tricarbonato $[(UO_2)(CO_3)_3]^{4-}$ por la acción de las aguas carbonatadas sobre los minerales secundarios o aún en los primarios en condiciones adecuadas.

La explotación de estas fuentes está condicionada a: a) la existencia de un caudal adecuado a la concentración de uranio en las mismas; b) un modo económico de concentración.

Supuesto que se logre la primera condición, la segunda se relaciona con el empleo de alguna técnica que permita la obtención de un concentrado comercial en una etapa —en general difícil de realizar— o en dos etapas empleando un paso intermedio de preconcentración, con lo cual se logre un producto procesable en una planta convencional. Se ha recurrido a esos fines:

- 1 — Precipitación cálcica integral
- 2 — Concentración sobre resinas de intercambio iónico.

- 3 — Concentración sobre sorbentes especiales, tanto inorgánicos como orgánicos.

4-1). Recuperación de aguas

La recuperación industrial de las aguas de minas ha sido resuelta satisfactoriamente. Así en Francia (7), se recuperan de aguas con unas 100 ppm. de uranio unas 50 t/año empleando indistintamente y en función de la distancia de esas fuentes a una planta de tratamiento, la precipitación cálcica integral de las mismas o el pasaje por resinas de intercambio. En USA se recuperan no sólo de las aguas de minas nucleares con un contenido de hasta 15 ppm., sino también de las soluciones provenientes del tratamiento en pila de minerales de cobre de baja ley o de escombreras, con concentraciones de unos 10 ppm. Se emplean normalmente columnas de resinas de intercambio operando algunas en contracorriente y otras con un diseño especial para favorecer la sorción a partir de soluciones de tan baja concentración (8).

En la C. N. E. A., se han realizado ya diversos estudios sobre las posibilidades de algunas fuentes de estos tipos, si bien no se ha realizado aún ningún aprovechamiento industrial debido al bajo caudal de las mismas (9).

En la tabla 1 se hace mención a algunas de dichas fuentes,

TABLA I
CARACTERISTICAS DE ALGUNAS AGUAS
URANIFERAS

Origen	U308 mg/m ³	pH
Los Molles V.1	3,6	6,8
Los Molles V.2	4,0	7,2
Los Molles V.3	340	6,9
Los Molles V.4	10	7,4
Mina Agua Botada		
Chiflón Agua Botada	600	8,3
Mina Agua Botada		
Chiflón Sur	300	8,3
Mina Huemul		
Chiflón Huemul	2.700	7,2
Mina Huemul		
Vertiente A. Botada	500	7,8

4-2) Aplicación de sorbentes naturales

Para estudiar las formas económicas de recuperación, se ha ensayado (10), el empleo de sorbentes naturales de bajo precio: turbas de diversos tipos, glumas de cereales, aserrines de distintas maderas, polvo de hueso, etc. Es

obvio que estos materiales no tienen ni la estabilidad, ni la selectividad de los modernos polímeros sintéticos del comercio, pero en los casos especiales que se están considerando, pueden ser competitivos al permitir una pre-concentración económica. Ha de tenerse en cuenta que en la mayor parte de los materiales es posible la recuperación del elemento de interés por quemado. Si bien sólo se informa aquí los resultados logrados a la recuperación de uranio, también se estudió la aplicación de estos sorbentes a la recuperación de cobre, molibdeno y vanadio.

Utilizándose como sorbente para el uranio dos tipos de turbas: "Arroyo Yaucha" y "Turbera El Plata" (Pcia. de Mendoza), glumas de cebada cervecera (*Hordeum vulgare*) y polvo de hueso (vacuno), de los resultados obtenidos puede concluirse que es factible la sorción del uranio en turbas y glumas de cebada entre pH 4 y 6 y en huesos a pH 2. Las primeras pueden presentar entonces aplicación para el caso de ciertos tipos de aguas uraníferas.

5) Conclusiones

El mercado mundial del uranio presenta dos panoramas para la década actual. En este momento y en el futuro más cercano, producción superior a la demanda y en la segunda mitad de la década, equilibrio de las dos fases o aún inversión de la relación.

Así por un lado los precios han entrado en un período de alza, y por otro el aumento de requerimientos en relación a los recursos conocidos provocará la necesidad de echar mano a aquellos cuyo tratamiento por los métodos clásicos supera los 10 U\$S/lb es decir a menas marginales o pobres. Ello motiva la búsqueda de soluciones que permitan valorizarlos dentro de los márgenes económicos actuales, de modo tal que su costo no incida profundamente en el del kilowatt nuclear.

Dadas las necesidades uraníferas argentinas para cumplimentar los planes nucleenergéticos conocidos, así como las características de distintas manifestaciones nucleares en el país se han estudiado y aplicado técnicas no convencionales de tratamiento que permitan el aprovechamiento de esas fuentes calificadas como pobres.

En este informe se ha presentado una descripción de los métodos que se estudian y utilizan en la C.N.E.A. Argentina: lixiviación "in-situ", lixiviación "en pila", lixiviación bacteriana, recuperación de aguas uraníferas y empleo de sorbentes especiales.

La conjunción de los mismos y las mejoras que se aporten a los procesos ya ortodoxos que se emplean normalmente en el tratamiento de las materias primas nucleares, han de posibilitar el tratamiento de algunos minerales de baja ley ajustado a las actuales condiciones económicas.

1. M. M. HAREL et M. P. SUGIER: "Lixiviation en place de mineral d'uranium". Symp. on the recovery of uranium from its ores. Sao Paulo, 1970. SM/135/4.
2. K. F. HARRISON, W. A. GOW and M. R. HUGHSON: "Factors influencing the application of bacterial leaching to a Canadian uranium ore". Mines and Resources Mines Branch. Ottawa. T. B. 85, 1966.
3. W. A. GOW et al.: "Bacteria based processes for the treatment of low uranium ores". Symp. on the recovery of uranium from its ores. Sao Paulo, 1970. SM/153/3.
4. R. C. GUPTA and B. R. SANT: "Beneficiation of low grade ores by microbial leaching". J. Scient. Ind. Res. 29, August 1970, pp. 372-377.
5. G. I. MERLO y A. MERZARI: "Lixiviación de cobre y uranio utilizando microorganismos autótrofos". CNEA. MP/E/Hd 31 y MP/E/Hd 32.
6. P. SUGIER: "Recuperation de l'uranium dans les eaux des mines". Processing of low grade uranium ores. Vienna 1966, pp. 96-100.
7. D. R. GEORGE and J. R. ROSS: "Recovery of uranium mine waters and copper ore leaching solutions". Processing of low grade uranium ores. Vienna 1966, pp. 227-234.
8. E. MACCHIAVERNA: "Recuperación de aguas de la zona de Malargüe" CNEA. MP/E/Hd 37.
9. A. SUÑER, E. MACCHIAVERNA, J. PINGRAY, E. LESACA: "Recuperación de uranio y otros elementos por sorción en materiales de bajo costo". XI Ses. Qcas. Argentinas. 7/171; CNEA MP/E/Hd 47.