

### CONCLUSIONES

- 1) Podemos concluir que el año hipotético final de producción de crudo es el año 2015 (Fig. 2).
- 2) La mitad del desarrollo de los recursos petrolíferos en las áreas tradicionales se llevó a cabo entre 1955 y 1960 y de allí en adelante la rata de producción excedió la rata de descubrimiento, excepto en 1972.
- 3) El mayor incremento en la rata de descubrimientos ocurrió en 1957 y la mayor rata de producción fue en 1970.

### REFERENCIAS

- Crow, L. E. and others, 1960, Statistical Manual: New York, Dover Publishing Ing. p. 147-194.
- Hubbert, M. K., 1969, Energy Resources, in Resources and Man San Francisco, W. H. Freeman and Company, p. 157-242.
- \_\_\_\_\_, 1967, Degree of Advancement of Petroleum Exploration in the U. S: Am. Assoc. Petroleum Geologist Bull., V.51, N° 11, p. 2207-2227.
- \_\_\_\_\_, 1965, National Academy of Sciences report on Energy Resources: Reply: Am. Assoc. Petroleum Geologist Bull., V.51, N° 11, p. 2207-2227.
- M.M.H., Varios años, Petróleo y otros Datos Estadísticos: Ofic. de Economía Petrolera.
- Mason R. D., 1970, Statistical Techniques in Business and Economics: Homewood, III, Richard D. Wrwin, Inc., p. 399-427.
- Martínez, A. R., 1966, Our Gift, Our Oil: The Netherlands, M. V. Drukkerij, D. Reidel - Dordrecut, 199 p.
- Ryan, J. H. 1965, National Academy of Sciences Report on Energy Resources, Discussion of limitations of Logistic projections: Am. Assoc.
- Sandrea, R., 1972, Una evaluación económica del potencial de los Recursos Petrolíferos en las áreas activas de las concesiones de Venezuela: IV Jornadas Técnicas de Petróleo, 1972.

### ASPECTOS GEOLOGICOS DEL URANIO Y SU APLICACION

EN VENEZUELA<sup>1</sup>

Jean Pasquali Z.<sup>2</sup>

### RESUMEN

La energía nuclear está empezando a competir favorablemente con las fuentes tradicionales de energía.

Las reservas mundiales de uranio son insuficientes para atender a la gran demanda prevista de este elemento.

Las naciones vecinas están desarrollando activamente programas de aprovechamiento de la energía nuclear, incluyendo ambiciosos proyectos de exploración.

En la naturaleza el uranio es concentrado en las rocas graníticas, las cuales sirven de fuente para las aguas meteóricas que lo solubilizan. Estas aguas pueden concentrar luego el uranio precipitándolo en lugares que tengan un ambiente reductor o con iones de fosfatos y vanadato.

Se presenta una clasificación de los depósitos de uranio conocidos y se indica en donde puede iniciarse su búsqueda en Venezuela para cada uno de ellos.

Se presenta una organización para un programa general de exploración mineral adaptado a uranio.

Se recomienda crear un grupo exploratorio de uranio en Venezuela con libertad administrativa razonable.

### INTRODUCCION

Se ha estimado que para el año 2.000 (Nininger, 1974) la mayor parte de la energía eléctrica será producida en plantas nucleares en donde se utiliza uranio (y probablemente torio) como combustible. Más recientemente Hibbard (1974) concluyó que la energía nuclear de los Estados Unidos para el año 2.000

<sup>1</sup> Estudio recibido en noviembre de 1974.

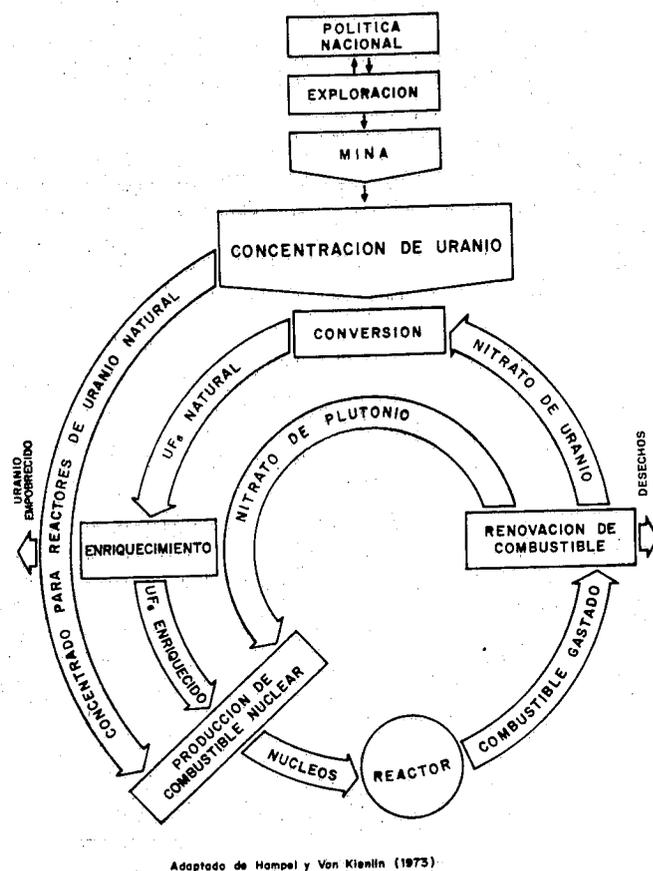
<sup>2</sup> Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología, División de Recursos Minerales, Caracas.

suplirá el 60 por ciento del consumo total de energía de ese país. Con lo anterior se quiere expresar la magnitud e importancia que representa la energía nuclear en un futuro próximo.

Hay que recordar que nuestra civilización y nuestro progreso están fundamentados en energía, materias primas y conocimientos técnicos para aprovechar las mismas. Las naciones se pueden clasificar según su bienestar general en la medida en que sepan aprovechar conjuntamente los tres factores mencionados.

Las fuentes tradicionales de energía, el carbón, el petróleo y el gas, representan de 25 a 40 por ciento del gasto de producción de la energía eléctrica. El uranio en las plantas nucleares, en cambio, representa del 3 al 5 por ciento del costo total. Este hecho indica que, con los aumentos en los precios del carbón, petróleo y gas, la producción de energía se desplazará inexorablemente hacia los combustibles atómicos que, aunque aumenten considerablemente de precio, su contribución al costo total de la energía que producen es menor.

La cadena de actividades que lleva a la producción de energía nuclear se ilustra (Fig. 1), partiendo de la decisión de hacerlo, siguiendo por un programa de exploración, beneficio de mena, enriquecimiento isotópico del uranio, reacción nuclear y reprocesamiento y desecho de combustible.



Adaptado de Hampel y Von Kienlin (1973)

Fig. 1. Ciclo del uranio como combustible.

En este trabajo se considera solamente la parte inicial de un programa de exploración dirigida a depósitos uraníferos. Se utilizan los conocimientos derivados de la bibliografía actual sobre este tipo de depósitos para aplicarlos en forma general a la geología de Venezuela.

Nininger (1974) ha estimado que entre los años 1974 y 2000 se necesitarán 4 millones de toneladas de  $U_3O_8$  para satisfacer la expansión de la producción de energía eléctrica producida por reactores nucleares. Esta cantidad puede aumentar considerablemente si otras fuentes de energía continúan aumentando de precio.

Las reservas de  $U_3O_8$  a un costo de \$ 15/libra son

actualmente de 2 millones de toneladas y a un costo mayor de \$ 15/libra hay unos 2 millones de toneladas más.

Sin embargo, para mantener la tasa de producción requerida, para fines de siglo se necesitarán tres veces más de uranio de lo que se ha evaluado hasta ahora. Se espera además que, aunque se desarrollen los llamados "breeder reactor" para los años 1980, el uranio siga aumentando su demanda más allá del año 2000.

El crecimiento de la minería de uranio que supone lo expresado anteriormente (Fig. 2) se le compara con el desarrollo de la producción de petróleo,

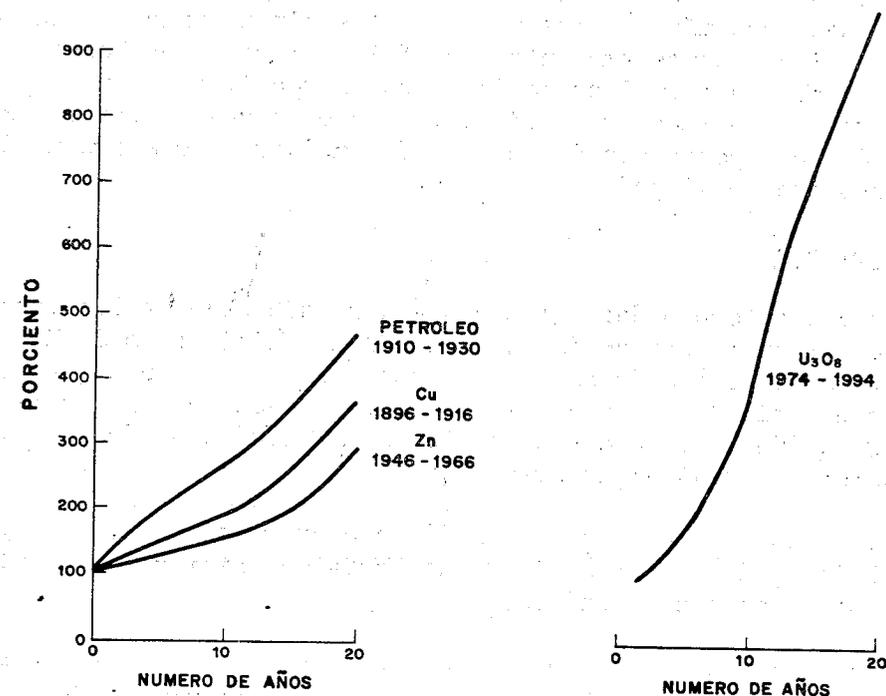


Fig. 2. Comparación del crecimiento de la producción de petróleo, Cu y Zn con U.

cobre y zinc en los primeros 20 años de las respectivas industrias.

Este crecimiento de la minería del uranio representa un reto para los geólogos del mundo. Se ha estimado que los posibles descubrimientos de los tipos de depósitos conocidos será insuficiente para abastecer las necesidades. Será imprescindible encontrar los depósitos de los tipos conocidos que no han sido descubiertos, más nuevos tipos de depósitos, preferiblemente equivalentes a los pórfidos de Cu, o sea de bajo tenor pero de grandes reservas.

Con el fin de informar sobre la situación de dos de nuestras naciones vecinas, se menciona que México tiene 2000 personas trabajando en su Comisión de Energía Nuclear y 40 de ellos son geólogos de exploración. Brasil tiene 15 años llevando a cabo su programa de energía nuclear, 12 de ellos empleados en formar personal y el restante explorando, habiendo localizado ya un depósito y varios buenos proyectos; a la vez que ya está capacitado para fabricar localmente el 60% de una planta nuclear para energía eléctrica y estima que dentro

de pocos años la pueda fabricar totalmente. Para el año 1975 Brasil tiene presupuestado 1.000.000 de metros de sondeos dedicados a la evaluación y explotación de U exclusivamente.

Los países desarrollados, muy concientes de que el progreso moderno está basado en un alto consumo de energía, están instando a los países menos desarrollados y, paralelamente menos explorados, para que se dediquen a encontrar sus depósitos de uranio para ser vendidos a las naciones que los puedan utilizar.

Es posible que en los próximos 50 años el uranio, y probablemente el torio, sirvan de arma económica en desfavor de aquellos países que no tienen reservas de esos elementos o que teniéndolos no puedan mantener su soberanía frente a naciones más poderosas. En estas circunstancias mundiales, y porque Venezuela tiene buenos ambientes geológicos para la exploración de uranio (ya se han encontrado anomalías radimétricas aéreas), y con un probable yacimiento de torio de enormes proporciones, se piensa que merece la pena se tenga conciencia de la importancia de la energía nuclear y se apoye un inventario de estos recursos en el país.

Reconocimiento

Es placentero poder agradecer a los asistentes a las charlas dirigidas por el autor en la Dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, por su contribución en las discusiones que enriquecieron la aplicación de los conocimientos generales a las situaciones geológicas de Venezuela. Esta contribución, por supuesto, no les hace partícipes de los errores que puedan haberse cometido en la presentación.

Las ilustraciones fueron hábilmente preparadas por el Sr. Rodolfo Ramírez, dibujante de la Dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Este hecho se agradece.

Finalmente se agradece a las autoridades del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, en especial al Director de Geología por haberle proporcionado al autor la oportunidad de asistir al simposio sobre depósitos uraníferos organizado por el Organismo Internacional de Energía Atómica, en Atenas, en el mes de mayo de 1974. En este simposio fue donde el autor cobró conciencia plena de la importancia del tema tratado en este trabajo.

CICLO GEOQUIMICO DEL URANIO

El uranio es un elemento fuertemente litófilo, o sea que es concentrado preferentemente en las rocas silíceas de la corteza terrestre. Entre esas rocas (Rankama y Sahama, 1954) es concentrado en las rocas graníticas donde alcanza un promedio de 4 ppm, mientras que las rocas intermedias y básicas tienen promedios respectivos de 2,6 y 1 ppm. En la actualidad, dependiendo en la forma en que se encuentra un depósito de mineral de uranio es económico cuando tiene por lo menos 1.000 ppm de uranio ó 0,1%.

El ciclo geoquímico del uranio (Fig. 3) partiendo de la concentración del uranio en las rocas graníticas y sieníticas, en pequeñas vetas, en pegmatitas, o en facies biotíticas de grano grueso, este elemento se moviliza por

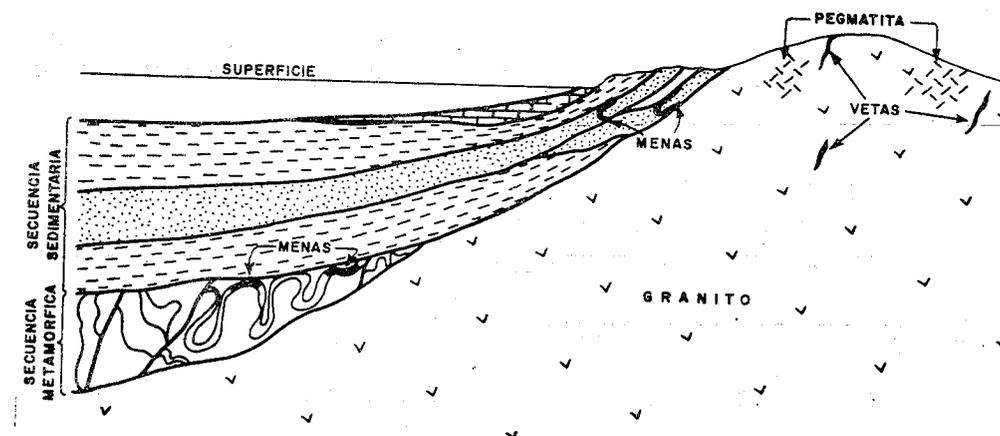


Fig. 3. Esquema del ciclo geoquímico del uranio.

meteorización química pasando a solución.

El principal mineral de uranio formado a altas temperaturas es la uraninita,  $UO_2$ , en la cual el Th puede substituir al U y generalmente lo hace. La uraninita es inestable en presencia de aguas que contienen iones de carbonato,  $CO_3^{2-}$ , ya que se disuelve lentamente para formar el complejo soluble  $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ . Este complejo a su vez precipita el U en presencia de un ambiente reductor dando lugar a una variedad de uraninita llamada pitchblenda que se caracteriza por tener poco Th y estar mejor representada por la fórmula  $U_3O_8$ .

El complejo  $UO_2(CO_3)_3^{4-}$  también puede precipitar el U en presencia de iones  $PO_4^{3-}$  y  $VO_4^{3-}$  dando lugar a una gran variedad de minerales tales como torbernita,  $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8-10 H_2O$ ; autunita,  $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10-12 H_2O$ ; carnotita,  $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ ; y tyuyamunita,  $Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot nH_2O$  (Berry y Mason, 1959).

Incluyendo los reductores más comunes, los agentes precipitantes del U en la naturaleza son la materia orgánica, piritita,  $H_2S$ ,  $PO_4^{3-}$  y  $VO_4^{3-}$ . Estos agentes pueden concentrar el U formando depósitos minerales en una variedad de circunstancias geológicas que se detallan más adelante. Es de notar que, de los estados de oxidación conocidos del U (Cotton y Wilkinson, 1967) +3, +4, +5 y +6, solamente los estados +4 y +6 se presentan en la naturaleza, y es justamente, en muchos casos, este cambio de estado de oxidación que determina las reacciones del ciclo geoquímico.

El U generalmente concentrado en rocas sedimentarias, es movilizado por soluciones hidrotermales y precipitado por cambios de temperatura, presión o ambiente químico. El metamorfismo puede ser superimpuesto a estos procesos, haciendo posible el cierre del ciclo debido al aumento de este metamorfismo hasta confundirse con la formación de magmas y la subsecuente concentración del U en las rocas graníticas.

TIPOS DE DEPOSITOS MINERALES DE URANIO

A continuación se examinan los principales tipos de depósitos de uranio conocidos (Tabla 1), a la vez que se indica (Fig. 4) la importancia relativa de los diversos tipos de depósitos.

**A. EN ARENISCAS**

1. INTERFASE DE OXIDACION - REDUCCION..... ("ROLL ORE")
2. PENECONCORDANTE..... (VANADATOS Y COMPLEJOS ORGANICOS)

**B. EN CONGLOMERADOS ( PRECAMBRICOS )**

**C. EN ESQUISTOS CLORITICOS Y CARBONOSOS ( PRECAMBRICOS )**

**D. EN ROCAS FOSFATICAS**

**E. EN LUTITAS CARBONOSAS**

**F. ORTOMAGMATICOS**

1. PEGMATITAS O LEUCOGRANITOS PEGMATITICOS
2. GRANITOS BIOTITICOS DE GRANO GRUESO
3. CARBONATITAS
4. SIENITAS

**G. HIDROTHERMALES**

Tabla 1. Clasificación de los depósitos minerales de uranio.

Depósitos en Areniscas

1. Mediante la solución de los minerales primarios de U en un ambiente oxidante de superficie y su fijación, por reductores presentes en las areniscas tales como materia orgánica, pirita y H<sub>2</sub>S, en forma de pitchblenda, en una interface limitada de oxidación-reducción. Se forman así los depósitos de interfase denominados "roll ore".

Se ha esquematizado la formación de estos depósitos (Fig. 5). En este caso el reductor representado es la pirita. Típicamente estos depósitos se encuentran en areniscas depositadas en un ambiente fluvial. Ejemplos de estos depósitos se encuentran en el estado de Wyoming, Estados Unidos.

Una variante interesante de estos depósitos se han encontrado en el estado de Texas, Estados Unidos donde el ión uranilo, UO<sub>2</sub><sup>++</sup>, ha sido reducido por emanaciones de H<sub>2</sub>S procedentes de concentraciones petrolíferas que se han llevado a cabo a lo largo de fallas menores.

2. Mediante la solución de los minerales primarios de U en un ambiente oxidante de superficie y su fijación a lo largo de una parte considerable de una arenisca en aquellos lugares donde haya concentraciones de reductores o iones VO<sub>4</sub><sup>-3</sup> o PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>. Estos depósitos se denominan peneconcordantes y están representados por los depósitos del Colorado Plateau, Estados Unidos.

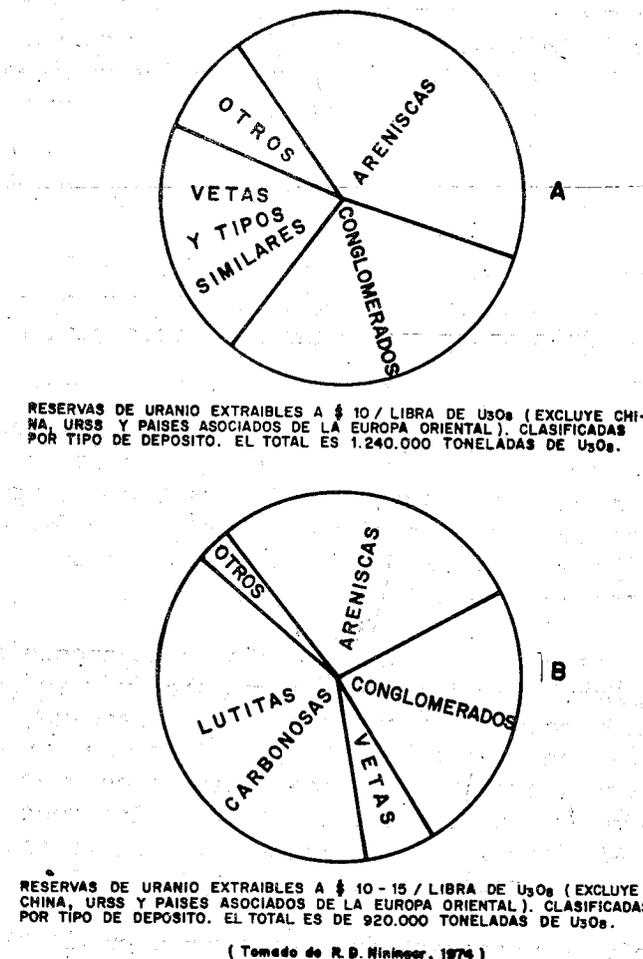


Fig. 4. Reservas mundiales de uranio.

método comúnmente utilizado para explorar por ellos es la perforación junto con los cambios mineralógicos hematita-pirita.

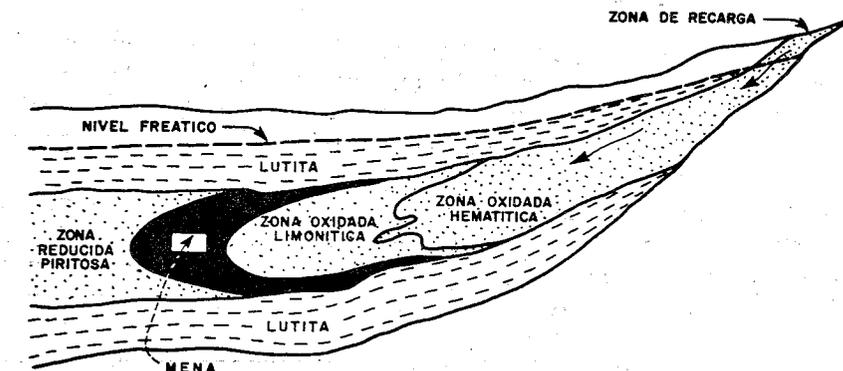


Fig. 5. Depósito de U de interfase; oxidación-reducción, según Adler, H. H., 1974.

En estos depósitos en areniscas se ha postulado que el U proviene de terrenos graníticos o de rocas piroclásticas interestratificadas con las areniscas. La edad de las rocas en que se encuentran es típicamente Triásico-Jurásica o Terciaria, cuando ha habido una extensa sedimentación en ambiente terrestre.

En Venezuela estos depósitos pueden ser prospectados principalmente en la Fm. La Quinta de los Andes y Perijá y en las areniscas del Grupo Roraima en el Estado Bolívar y Territorio Federal Amazonas. Quizás puede agregarse a estas dos localidades la Fm. Mesa en su distribución al sur del río Orinoco.

Los indicios para encontrar depósitos en estos ambientes son los cambios de color, o sea en el límite de rojo a crema que presenta la interfase de oxidación-reducción. Con excepción de los depósitos que tienen una expresión superficial de radiactividad, el

El tipo de depósito formado en areniscas por reducción de  $UO_2^{++}$  por  $H_2S$  asociado a petróleo es mucho más difícil de prospectar, pero sería de gran utilidad comenzar con la medición de la radiactividad natural de los núcleos de las perforaciones petroleras, en especial, aquellos que están situados en el borde de cuencas.

#### Depósitos en Conglomerados

Se caracterizan estos depósitos de uranio por haberse formado en la atmósfera reductora del Proterozoico. La edad de los conglomerados está comprendida entre 2.200 y 2.800 millones de años, y contienen abundante pirita y algunas veces oro (Robertson, 1974).

Debido a que estos sedimentos se depositaron bajo una atmósfera reductora, sus colores incluyen los grises, pero no los rojos. Como guía para su prospección se utiliza la base de los sedimentos rojos en los sedimentos precámbricos, haciendo incapié en los conglomerados piritosos. Este tipo de depósito está representado por Elliot Lake, Canadá; Jacobina, Minas Gerais, Brasil; Witwatersrand, Sur Africa y otros en Australia.

Estos depósitos representan un caso de especial interés para Venezuela, ya que su edad los sitúa debajo del Grupo Roraima que incluye sin duda sedimentos rojos. Tienen especial interés porque recientemente H. M. Aarden\*, R. S. Sifontes\* y el autor, han observado sedimentos clásticos grises, de grano fino a medio y posiblemente de carácter terrestre, en una posición estructural que indica que son más viejos y están en discordancia angular con las rocas del Grupo Roraima en el cerro Yaví del Territorio Federal Amazonas. Se espera proseguir prontamente el estudio de estas rocas.

Este tipo de depósito es también de especial interés porque Brasil tiene la tercera parte de sus reservas U en rocas sedimentarias más viejas que Roraima y porque los vuelos radiométricos realizados en el Territorio Federal Amazonas (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1973, informe interno) han revelado varias anomalías interesantes cercanas a la base de los sedimentos de Roraima, pero un poco alejadas de ésta hacia las rocas más viejas.

#### Depósitos en Esquistos Cloríticos y Carbonosos

Los depósitos de uranio en esquistos cloríticos y carbonosos de edad precámbrica se han descubierto en su mayoría en Australia. Están asociados a silicificación y cloritización con introducción masiva de  $MgO$ . La relación U/Th en estos depósitos es alta indicando un origen secundario del uranio.

La búsqueda de estos depósitos es difícil, costosa y requiere comúnmente estudios estratigráficos regionales. Los depósitos encontrados son generalmente de alto tenor y se encuentran en varios lugares equivalentes dentro de una misma cuenca. Un ejemplo de ellos se encuentra en Jabiluka, Australia.

Los depósitos en esquistos cloríticos y carbonosos podrían encontrarse en los terrenos metamórficos de los Andes, Perijá y partes del Escudo Guayanés. Sería aventurado emitir por ahora, una opinión acerca del potencial de estos

\* Dirección de Geología, Ministerio de Minas e Hidrocarburos.

depósitos en Venezuela.

#### Depósitos en Rocas Fosfáticas

Las rocas fosfáticas, según hemos visto antes, por su abundancia de iones  $PO_4^{-3}$  tienen la habilidad de precipitar los iones  $UO_2^{++}$ . El contenido de U de las rocas fosfáticas es comúnmente bajo, alrededor de 100 ppm, por lo que el U sólo puede ser extraído de este tipo de roca como un subproducto.

Los depósitos de U en rocas fosfáticas pueden encontrarse en Venezuela en los horizontes fosfáticos de las formaciones La Luna y Colón de los Andes y La Guajira.

#### Depósitos en Lutitas Carbonosas

Ciertas lutitas carbonosas presentan contenidos de U de algunos centenas de ppm. El U en ellas se encuentra en forma de complejos orgánicos que lo hacen de difícil extracción; sin embargo, las reservas que presentan estos depósitos son enormes por la extensión de las rocas que los contienen. Muchos expertos piensan que el U en estas rocas no será extraído por razones de contaminación ambiental.

Los depósitos de U en lutitas carbonosas también son dignos de ser investigados en Venezuela. Trabajos de los geólogos C. Carmona\* y H. Lavié\*, detectaron la presencia de contenidos variables de U entre 240 y 510 ppm en un miembro lutáceo de la Fm. Querecual (Carmona y Lavié, 1959). Estos contenidos son altos y la formación que les dio origen es un blanco exploratorio.

#### Depósitos Ortomagmáticos

Los depósitos ortomagmáticos de uranio son considerados como concentraciones primarias de U debidas a la diferenciación magmática y enriquecimiento de este elemento en las rocas graníticas y sieníticas. El tamaño del ión  $U^{+4}$  y su relación tamaño/carga son desfavorables para que sea incluido en las estructuras de los minerales comunes de las rocas ígneas, por lo tanto es concentrado en los residuos de la diferenciación magmática, en especial en las pegmatitas (Armstrong, 1974).

La concentración de U en este tipo de roca enriquecida es relativamente baja y varía entre 300 y 500 ppm. Sin embargo, las reservas son potencialmente enormes. Expertos en la exploración de uranio piensan que este es el tipo de depósito que a la larga suplirá la mayor parte del consumo del uranio. Para que esto suceda, es necesario que el precio actual del U suba considerablemente, pero las mayores compañías explotadoras de U ya están explorando activamente y han encontrado depósitos de este tipo en Africa Suroriental, Canadá y Australia.

Los depósitos ortomagmáticos de U en la forma de pegmatitas graníticas pueden encontrarse en el Estado Bolívar y Territorio Federal Amazonas. En el Estado Bolívar han sido investigadas someramente en las cercanías de El Manteco (J. R. González Escobar, comunicación personal, 1967).

Un estudio regional llevado a cabo en el Estado Bolívar y Territorio

Federal Amazonas (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1973, informe interno), ha mostrado muchas anomalías que pueden representar depósitos o mineralizaciones de este tipo. Se considera que el potencial de Venezuela para este tipo de depósito es geológicamente excelente.

Cabe mencionar aquí la posibilidad de encontrar U asociado a carbonatitas, tal como en el cerro Impacto. Bohse (1974) ha estudiado la diferenciación magmática del uranio en rocas asociadas a carbonatitas y ha establecido un enriquecimiento considerable de U como para postular depósitos de bajo tenor de este tipo en Groenlandia.

Depósitos Hidrotermales

Los depósitos hidrotermales de U están representados por vetas o zonas de cizallamiento en donde el U está asociado a Cu, Pb, As, V, Mo, Ba, Sr y Sn. Estos depósitos presentan alteraciones hidrotermales típicas y sus reservas, aunque localmente importantes, globalmente son menores. Un ejemplo de estos depósitos lo constituye Midnite, Spokane, estado de Washington, Estados Unidos (von Backstrom, 1974).

Aunque hay aguas termales de considerable radiactividad en Venezuela, como las de Las Trincheras, Estado Carabobo, los depósitos hidrotermales de uranio no tienen, por ahora, mayor importancia en el país.

ORGANIZACION DE UN PROGRAMA DE EXPLORACION DE URANIO

Un esquema en donde se indican los pasos a seguir para establecer un programa de exploración de uranio (Tabla 2) para ser aplicado a cualquier tipo de mineral aunque en este caso sólo se ha hecho una adaptación a la búsqueda del uranio en Venezuela.

El primer paso, que no está indicado (Tabla 2), es la decisión de llevar a cabo una exploración de uranio para el país. Esta decisión pertenece posiblemente a la recién fundada Comisión Nacional para Asuntos Nucleares, la cual coordina todas las actividades relacionadas con sustancias radiactivas.

A continuación de una decisión favorable para la exploración, sigue la selección de áreas. Esta selección se fundamenta en el conocimiento de la geología del país, de los depósitos uraníferos en general y de discusiones que se encarguen de relacionarlos. El resultado de la selección son una o más áreas de considerable tamaño, 20.000-200.000 Km<sup>2</sup>, en donde se van a concentrar las fases posteriores.

En cada una de las áreas seleccionadas, en un orden prioritario pre-establecido, se llevan a cabo estudios regionales tendientes a reconocer zonas de interés. Estos estudios regionales requieren de la coordinación precisa de diversos métodos de exploración regional que se adapten al tipo de depósitos explorados. Los resultados de esta fase delimitan áreas promisorias de un tamaño entre 100 y 1.000 Km<sup>2</sup>.

En cada una de las áreas promisorias, en un orden prioritario establecido en discusiones de los datos obtenidos, se llevan a cabo estudios detallados tales como cartografía geológica, geofísica, geoquímica, sondeos, calicatas y

**A. SELECCION DE AREAS**

1. CONOCIMIENTO DE LA GEOLOGIA DEL PAIS
2. CONOCIMIENTO DE DEPOSITOS URANIFEROS
3. INTEGRACION DISCUTIDA DE LOS ANTERIORES
4. DECISIONES ( EJ.: LOS ANDES, TERRITORIO FED. AMAZONAS, ETC. 20.000 - 200.000 Km<sup>2</sup>.)

**B. ESTUDIOS REGIONALES**

1. SELECCION DE METODOS PARA CADA REGION
2. COORDINACION DE LOS METODOS:
  - GEOLOGIA REGIONAL
  - GEOFISICA AEREA
  - GEOQUIMICA
  - SENSORES REMOTOS
3. SELECCION DE AREAS PROMISORIAS (100 - 1000 Km<sup>2</sup>.)

**C. ESTUDIOS DETALLADOS**

1. CARTOGRAFIA GEOLOGICA
2. GEOFISICA DE SUPERFICIE
3. GEOQUIMICA DETALLADA
4. SONDEOS EXPLORATORIOS
5. CALICATAS Y TRINCHERAS
6. SELECCION DE "DEPOSITOS" MINERALES (0,1 - 1 Km<sup>2</sup>.)

**D. ESTUDIOS DE EVALUACION**

1. PERFORACION PARA CUBICAR
2. ANALISIS QUIMICOS
3. ANALISIS MINERALOGICOS
4. BENEFICIO DE LA MENA
5. FACTIBILIDAD ECONOMICA

Tabla 2. Exploración de uranio.

La figura 6 ilustra las fases de una exploración de uranio tomando como base el territorio nacional

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De lo expuesto anteriormente se concluye que:

1. La energía nuclear está compitiendo favorablemente con las fuentes de energía tradicionales.
2. Los países desarrollados y algunos de los países vecinos están adelantando un programa de inventario y utilización de sus recursos nucleares.
3. Es posible que las reservas de uranio en los próximos 50 años sean utilizadas por los países que las tienen, como arma económica.
4. La geología de Venezuela indica que el país tiene un potencial uranífero por desarrollar. De especial importancia, como blancos exploratorios, se consideran las rocas de la Fm. La Quinta en los Andes y Perijá; las

trincheras. Es especialmente importante un alto grado de flexibilidad en estas actividades; mientras un método da una respuesta definitiva en un caso, en otros requiere de la asistencia de otros métodos. La eficiencia general de un programa exploratorio depende, no tanto de la excelencia de un método, sino de la coordinación y variedad de los métodos utilizados. Este último hecho tiene implicaciones administrativas importantes.

El producto de los estudios detallados son mineralizaciones con posibilidades de convertirse en depósitos económicamente explotables. Estas mineralizaciones son luego sometidas a evaluaciones de reservas y tenor, ensayos de beneficio de menas y estudios de factibilidad económica cuyos resultados indican si la explotación es económicamente provechosa.

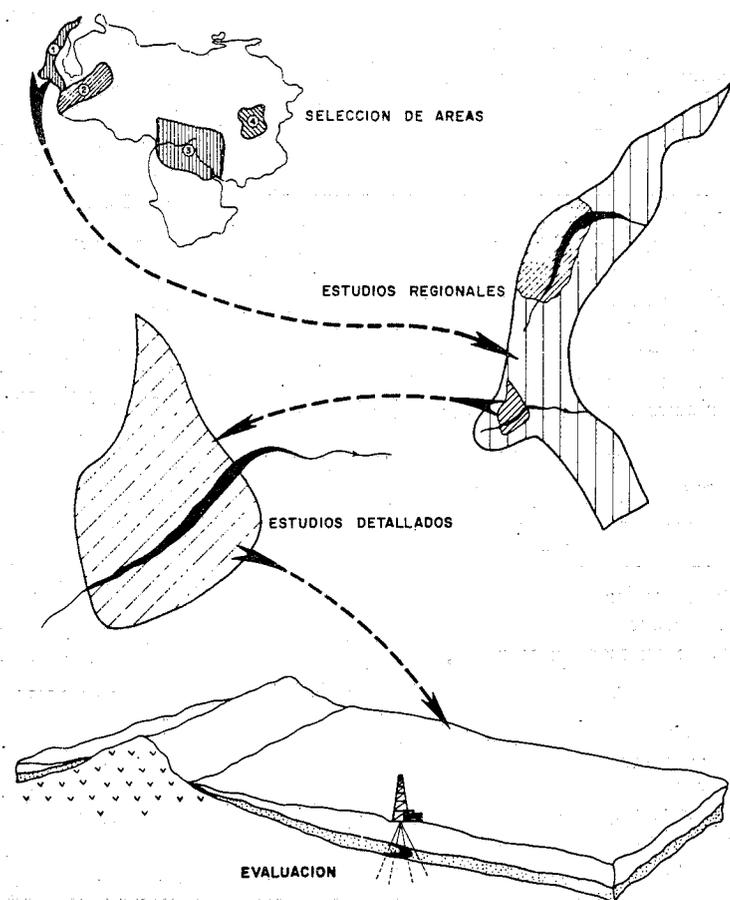


Fig. 6. Etapas en la exploración de uranio.

areniscas del Grupo Roraima; la Fm. Mesa en su distribución en el extremo sur; los sedimentos clásticos de origen continental más antiguos que el Grupo Roraima; las lutitas de la Fm. Querecual y las pegmatitas o granitos de grano grueso del Escudo Guayanés.

Como consecuencia única se indica la formación de un núcleo de trabajo formado inicialmente por unos cinco geólogos que se dediquen a estructurar un plan de exploración de uranio y a comenzar en llevarlo a cabo. Este núcleo de trabajo debería estar favorecido por una razonable libertad administrativa.

REFERENCIAS

Adler, H. H., 1974, Concepts of uranium-ore formation in reducing environments in sandstones and other sediments: Atenas International Atomic Energy Symposium, SM-183/43, p. 36.

Armstrong, F. C., 1974, Uranium resources of the future "Porphyry" uranium deposits: Atenas, International Atomic Energy Agency Symposium, SM-183/12, p. 12.

Berry, L. G., y Mason, Brian, 1959, Mineralogy: San Francisco, Freeman and Company, p. 630.

Bohse, H., Rose, Hansen, J., Sørensen, H., Steinfeld, A., Løvborg, L., y Kundzendorf, H., 1974, On the behaviour of uranium during crystallization of magmas-with especial emphasis on alkaline magmas; Atenas, International Atomic Energy Agency Symposium, SM-183/26, p. 12.

Boletín de Geología, 1970, Léxico estratigráfico de Venezuela: Boletín de Geología, Publicación Especial N° 4, p. 756.

Carmona, C. L., y Lavié, H. J., 1959, Exploración terrestre de minerales radiactivos: Lutitas uraníferas en los Estados Anzoátegui y Monagas: Caracas, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, informe interno (19-2-59), p. 4.

Cotton, F. A., y Wilkinson, G., 1967, Advanced inorganic chemistry: New York, Interscience Publishers, p. 1136.

Hample, H. R., y von Kienlin, A., 1973, The supply of uranium: Metallgesellschaft AG, n. 16, p. 40-50.

Hibbard, D. S., en Metals Week; 1974, Nuclear fuel will produce about 60% of all power: Metals Week, v. 45, n. 22.

Mining Journal, 1974, Uranium talks linked with coup: Mining Journal, April 19, p. 297.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos (TECROCA), 1973, Estudio geofísico aéreo en el Territorio Federal Amazonas: Ministerio de Minas e Hidrocarburos, tres volúmenes, informe interno.

Nininger, R. D., 1974, The world uranium supply challenge-An overview: Atenas, International Atomic Energy Agency Symposium, SM-183/42, p. 15.

Rankama, K., y Sahama, Th. G., 1954 Geoquímica: Madrid, Aguilar, p. 862.

Robertson, D. S., 1974, Basal Proterozoic units as fossil time markers and their use in uranium prospecting: Atenas International Atomic Energy Agency Symposium, SM-183/42, p. 15.

von Backstrom, J. W., 1974, Other uranium deposits: Atenas International Atomic Energy Symposium, SM-183/27, p. 20.

Wyant, D. G., Sharp, W. N., y Ponte Rodríguez, Carlos, 1952, Radioactive source materials in los Estados Unidos de Venezuela: Caracas, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, informe preliminar, p. 181.