

05.78.11



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION
PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION
DE YACIMIENTOS URANIFEROS**

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1978

CNEA-AC-11/78

II. YACIMIENTOS URANIFEROS

4. PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS
URANIFEROS MUNDIALES:

- a) Vetiformes y de Ambiente Cristalino

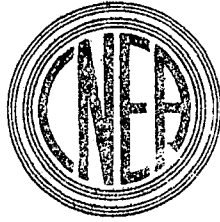
HUGO N. LUCERO

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES
OCTUBRE 1978



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION
PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION
DE YACIMIENTOS URANIFEROS**

CONFERENCIA II-4

PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS URANIFEROS MUNDIALES :

a) VETIFORMES Y DE AMBIENTE CRISTALINO

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

Dr. Hugo N. Lucero

I. INTRODUCCION

Un tema tan vasto como el del epígrafe puede ser tratado con un criterio sintético y disyuntivo como el empleado en el apretado y meduloso trabajo de Angelelli (1969) o en una forma tan lata detallada y acumulativa como en el de Heinrich (1966) del que se ha tomado buena parte de la información aquí volcada. En el presente caso el desarrollo se limitará al espacio disponible aun a costa de incurrir en inevitables mutilaciones y omisiones.

En esta relación, aparte de la tentativa de encasillamiento yacimien-
tológico según los cánones de la metalogenia clásica, se efectuará un modesto e
incompleto intento de ubicación de algunos de los depósitos tipo dentro de los
cuadros de la clasificación de raíz estructural de Geffroy-Sarcia (1960).

II. COMPORTAMIENTO DEL URANIO EN LOS PROCESOS DE DIFERENCIACION MAGMATICA

Es conocido el papel que juega este elemento tan comunmente presente en las soluciones residuales de magmas que han sufrido procesos de elaboración se-
lectiva ligados a escisiones de términos sucesivamente diferenciados según un gra-
diente de sentido básico-ácido, que le comunican un carácter de catión propio de
soluciones residuales.

Como lo hace notar Angelelli (op.cit.) se trata de un elemento geo-
químicamente muy persistente y sumamente difundido en pequeñísimas proporciones
dentro de la corteza terrestre y que participa como tetravalente en las rocas íg-
neas, asociado y como sustituyente del Th, Zr, Ca y Fe bivalente.

II.4.2

Sorensen (1975) resume una serie de rasgos referentes a la distribución del uranio y torio en series de rocas comagmáticas, de la siguiente manera :

- los más elevados contenidos de U y Th se encuentran en la mayor parte de los casos en los miembros de las series de rocas comagmáticas más jóvenes, más felsíticas y más silícicas.
- El Th y a veces también el U muestran correlaciones de signos positivo con el K y negativo con el Ca y el Mg en muchas series de rocas.
- En una serie de rocas, los miembros felsíticos muestran los más acentuados registros de dispersión y contraste entre los contenidos de U y Th.
- La relación de Th/U suele ser bastante constante o evidenciar un incremento hacia los miembros felsíticos de series de rocas; el caso inverso es menos común.
- Las series de rocas alcalinas son comúnmente más ricas en U y Th que sus equivalentes subalcalinas.
- Las rocas volcánicas son frecuentemente más ricas en U y Th que sus equivalentes plutónicas.

Algunos balances efectuados sobre rocas ígneas norteamericanas, arrojan los siguientes contenidos de uranio (Heinrich, 1966)

roca	U en ppm
ultramáficas	0,03
gábricas	0,94 - 0,96
intermedias	0,3 - 1,4
graníticas	2,8 - 4,0

En cuanto a la relación Th/U, se han determinado valores de entre 3 y 3,5 para rocas ígneas en general y de 3,4 y 4,0 para rocas graníticas e intermedias, respectivamente (Keevil, 1944).

Las tres principales fuentes de la radiactividad emanada del U y Th en rocas ígneas se debe en primer lugar a minerales accesorios moderadamente activos, en segundo a minerales esenciales ligeramente activos y en tercero, a materiales intersticiales alojados entre los granos de aquellos minerales y en microfracturas existentes en ellos; estos materiales generalmente no pueden ser mineralógicamente identificados.

En un granito de Essonville (Ontario) se determinó que la casi totalidad del uranio existente se hallaba contenido en sus minerales accesorios (un 87% en el zircón, un 10% en la titanita y un 3% en la apatita); en el feldespato potásico solo había $7 \cdot 10^{-3}\%$ U. La misma roca albergaba también casi el 100% de su torio en los accesorios (29% en el zircón y 71% en la titanita); en el feldespato alcalino había solamente $5 \cdot 10^{-3}\%$ Th.

III. LAS ASOCIACIONES MINERALOGICAS URANIFERAS CONSIDERADAS COMO DEPOSITOS

Cabe señalar la circunstancia de que una buena parte de los emplazamientos de rocas extrusivas e intrusivas—especialmente las de carácter ácido—podrían ser considerados como yacimientos uraníferos potenciales (con tenores de // por ejemplo, hasta 20 ppm o más) actualmente no tratables desde el punto de vista económico.

En otro orden de cosas ha sido posible certificar la existencia de muchos depósitos pirometasomáticos de reacción entre cajas químicamente competentes e irrupciones ígneas de variado género, que en contados casos han llegado a dar lugar a yacimientos capaces de consentir explotaciones rentables.

En la fase de diferenciación pegmatítico-neumatolítica, rica en productos móviles hidrosilicatosos, el catión de referencia se hace presente en determinados grados de concentración que dan lugar a la formación de minerales accesorios al estado de óxidos simples (Angelelli, op. cit.) acompañados por torio y tierras raras; el uranio llega también a participar en la composición de óxidos complejos de titanio, niobio y tantalio.

Sin embargo, son las soluciones acuosas residuales de los magmas esquizolíticamente elaborados, las destinadas a ser portadoras de las mayores concentraciones de uranio; los depósitos de esta manera formados son los de carácter hidrotermal en sus tres categorías de la clasificación genética convencional en hipo, meso y epitermal, aclarándose que la mayor significación relativa recae en las dos últimas.

Si bien no respondiendo a ninguna de las categorías genéticas mencionadas, no pueden dejarse de lado como depósitos de ambiente cristalino, algunos de carácter "descendente" emplazados en rocas graníticas eopaleozoicas, tales como parte de las mineralizaciones del Distrito Sañogasta (La Rioja-Argentina) y la totalidad del potencial uranífero hasta ahora evidenciado por el yacimiento "Schlagintweit" (Córdoba-Argentina).

En las siete provincias uraníferas en que se ha convenido dividir la superficie terrestre favorable en ese sentido, los ciclos metalogénicos principales que engloban la casi totalidad de los depósitos más representativos conocidos, serían el precámbrico, el variscico y el tércico.

IV. DEPOSITOS PIROMETASOMATICOS

No son frecuentes, como lo hace notar Heinrich (op.cit.) y en algunos casos llegan a constituir concentraciones explotables, pudiéndoselos dividir en los siguientes subtipos :

- Yacimientos pirometasomáticos de torianita-uraninita en mármoles, etc. en zonas de contacto con intrusiones ácidas, con desarrollo de asociaciones minerales de tipo "skarn" integradas por diópsido, pistacita, granates cálcicos, pirita, etc.;

II.4.4

pueden citarse como ejemplos los presentes en la region de Bancroft (Ontario-Canadá), en Easton (Pensylvania-E.U.) en Madagascar, etc.

- Yacimientos ortíticos de contacto entre mármoles preexistentes y advenimientos ígneos ácidos con formación de "skarns" portadores entre otros minerales típicos, del mencionado epidoto cérico.
Como ejemplos de este tipo de mineralizaciones pueden citarse las concentraciones de Whalen (region centro-occidental de Alaska), las del Distrito de Kyshtymsk (Montes Urales, Union Soviética) en zona de contacto con sienitas, etc.

Como resultados de las actuales campañas exploratorias que realiza la Delegación Centro en la región de Copina (Córdoba) sobre la continuidad meridional de las estructuras que alojan la mineralización uranífera del yacimiento "Schlagintweit" (Daziano O, 1978) se han encontrado algunas asociaciones minerales de este tipo, altamente radiactivas en zonas de contacto de techos batolíticos del granito de Achala con calizas cristalino-granulosas; se trata de restos de "colgajos" metamórficos atacados por la endogenita de referencia, sobre cruces con cuerpos probablemente doleríticos de extensión regional.

Cabe también mencionar en este punto, el interesante yacimiento austriaco de Mary Kathleen constituido por una asociación mayormente granatífera portadora de alanita con pechblenda, diópsido y apatita, aparte de algunos sulfuros ferrocúpricos; se trata de productos de reacción entre granitos y los estratos cálcico-silíceos de Corella, que dieron lugar a la formación de un cuerpo mineralizado fungiforme que hasta los 40 m de profundidad presenta evidencias de oxidación.

- Yacimientos pirometasomáticos de magnetita, que normalmente llevan hipógenos de uranio tales como pechblenda, uraninita y uranotorita, aparte de otros minerales radiactivos. Varios depósitos de este tipo se escalonan entre el S de los Montes Adirondack y Carolina del N (E.U.), en Lone Mountain (N.Méjico-E.U.) etc. Entre otros puede citarse en Europa, el yacimiento metamórfico de contacto de magnetita con uraninita de Schmiedeberg (Alemania), etc.
- Yacimientos de contacto de molibdenita-pechblenda. Suelen presentarse como tactitas granatíferas con molibdenita y uraninita diseminadas en hematita en ganga de calcita, silicatos cálcicos, clorita, cuarzo y fluorita, como en el caso del macizo granítico de "tipo circunscripto" de Azegour en los Atlas Marroquíes. Otros yacimientos pertenecientes al mismo tipo han sido encontrados en el S de Marruecos, donde se caracterizan por llevar brannerita.
- Yacimientos de uraninita-cobre. Siempre de acuerdo a Heinrich, se conocen muchos casos de hipabisales asquísticas portadoras de diseminados de cobre que suelen llevar entre otros minerales, uraninita. El depósito de Bisbee (Arizona-E.U.) pertenece al tipo, tratándose de rocas paraefusivas riolíticas precratácicas que han sido intensamente alteradas y mineralizadas a fines del Cretácico Inferior, siendo la uraninita el primer mineral que se depositó, seguido por fases piritosas, galeno-esfaleríticas, cuarzo-carbonáticas y finalmente por otra de sulfuros cupríferos. Otros yacimientos en algun grado similares, son los

de Moonta Wallaroo (Sur de Australia) que poseen complejos de hidrocarburos radiactivos.

- Yacimientos oxidados de contacto. Hay un grupo de depósitos también originados pirometasomáticamente que se caracterizan por la inexistencia de testimonios sobre la verdadera identidad de los minerales uraníferos originales, los que pasaron, debido a procesos de acentuada alteración, a fosfatos y arseniuros hidratados de ese catión; tales los del área de Spokane y de Austin (E.U.) entre otros.

V. DEPOSITOS PEGMATITICOS

Las pegmatitas, consistentes en productos esquizolíticos diferenciados en sentido ácido a partir de magmas mayormente sílico-alcalinos, son rocas frecuentes en, y alrededor de casi todos los macizos tipo granítico de naturaleza intrusiva, es decir los presentes como unidades circunscriptas en oposición a los macizos de "anatectitas paraganíticas" que normalmente no las llevan; tampoco son portadores de estos tipos de diasquistitas leucocráticas, algunos cuerpos batolíticos de tipo circunscripto tales como el de Azegour (Atlas Marroquí) y la Srra. Norte de Córdoba (Argentina) entre otros, que se caracterizan por llevar hipabisales asquísticas en su lugar, en obsecuencia a una regla petrológica de exclusividad antinómica existente entre exteriorizaciones filónicas de rocas porfíricas y esquizolíticas ácidas derivadas de una misma fuente magmática.

Las pegmatitas constituyen de este modo, una manifestación litológica muy frecuente y capaz de caracterizar petrológicamente a las muy difundidas "provincias granítico-diasquistíferas".

Estas manifestaciones que por su posición con respecto al emplazamiento de sus rocas madres pueden calificarse como internas, marginales y aun externas, en atención a su estructura íntima, son divisibles en pegmatitas homogéneas, y heterogéneas o dotadas de zonalidad.

Por otra parte, pueden ser de magma granítico-granodiorítico, sienítico, nefelino-sienítico y aun diorítico, siendo las primeras las más abundantes; las derivadas de magmas sieníticos suelen ser más conspicuas portadoras de minerales radiactivos, pero se encuentran menos difundidas.

De acuerdo a Heinrich (op.cit.) los minerales de torio son más frecuentes en las unidades sieníticas y nefelino-sieníticas, y los de uranio, en las de tipo granítico.

Como lo señala Angelelli (op.cit.) sus minerales radiactivos hipogénicos consisten mayormente en óxidos simples tales como la uraninita y la torianita y también en otros de tipo complejo como la euxenita, fergusonita, pirocloro, davidita y brannerita, samarskita, etc. También suele haber torita, monacita, zircón, ortita, etc.

II.4.6

Aparte de los hipógenos, las pegmatitas llevan frecuentemente compuestos deutéricos tales como gummita, óxidos hidratados, fosfatos (autunita, torbernita) carbonatos (schroekingerita) y silicatos (uranofano).

- En las pegmatitas zonadas o diferenciadas (petrológicamente más elaboradas) la uraninita suele presentarse solamente en las zonas externas o en alguna intermedia. (fig.3).

Un depósito de este tipo, ubicado en Conger Township (Ontario-Canadá) presenta cristales de uraninita en zonas micáceo-feldespáticas externas, parcialmente reemplazada por tucholita; también aparece samarskita cálcica, cirtolita y ortita.

Puntualiza Heinrich que el tipo de pegmatita radiactiva más común es el de las que poseen óxidos complejos asociados con otras especies tales como monacita, alanita, gadolinita, etc.; un ejemplo tomado de Lukwengule (África oriental) ilustra el hecho de que la uraninita se presenta parcialmente alterada en rutherfordina y asociada con monacita, samarskita y euxenita.

Las pegmatitas diferenciadas de la Srra. de Comechingones (Córdoba-Argentina) son esencialmente sílico-alcálicas y llevan concentraciones erráticas de uraninita, fosfatos (triplita, etc.) gahnita y zircón (Angelelli, 1958); comportan también productos secundarios como gummita, uranofano, autunita, etc.

Pueden citarse muy especialmente los depósitos de la mina "Angel", la "Cerro Blanco de Tanti" muy rica en fosfatos radiactivos y en hipógenos de uranio, y que ha efectuado varias entregas de minerales de alta ley en Planta Córdoba (CNEA) en el último decenio.

En la Provincia de San Luis (Argentina) pueden citarse las pegmatitas berilíferas de la mina "Santa Ana" que lleva uraninita, y triplita y plagioclasa también radiactivas, las de la mina "San Fernando", etc.

Existen pegmatitas del mismo tipo en las Srras. de Ambato (Catamarca-Argentina), Velazco (La Rioja-Argentina), etc. (fig.4).

- Las pegmatitas no diferenciadas, si bien no han sido tan estudiadas como las del tipo anterior, parecen ser potencialmente las más conspicuas portadoras de mineralizaciones uraníferas explotables en un futuro próximo.

Se caracterizan por uniformidades locales del tamaño del grano, la carencia de fajas diferenciadas mineralógicamente, por su forma irregular como unidad, por su hábito lenticular y por la frecuente presencia de xenolitos enalógenos en los contactos con sus cajas.

Los minerales uraníferos más comunes son la uraninita y la uranotorita, asociados con titanita, ortita, zircón, etc. y sus concentraciones suelen presentarse en "bolsillos" saltuariamente ubicados dentro de cualquier sector

de su masa.

Los yacimientos más conocidos pertenecientes al tipo tratado y que han podido ser objeto de explotaciones rentables, son los del Lago Charlebois y Bancroft (Saskatchewan y Ontario resp.-Canadá).

Transcribiendo una cita de Angelelli (op.cit.) las unidades de Bancroft son de naturaleza "granítica y sienítica, contienen uraninita y torita en granos diseminados o en concentraciones racimosas; molibdenita, piritita, pirrotina, calcopirita, fluorita, turmalina, granate y calcita, son también minerales accesorios de dichas rocas". "Se trata de un conjunto de diques y sills de 3 a 10 m de espesor con recorrido de algunas decenas hasta centenas de metros, Los "clavos" u "ore shoots" uraníferos poseen un desarrollo longitudinal de 10 a 60 m. Su ley media es de 1% U_3O_8 . Durante el año 1959, cuatro empresas mineras operantes en Bancroft produjeron alrededor de 1100 t de concentrados de uranio". Similares depósitos se han encontrado en Idaho Springs (Colorado-E.U.) y en España, se ha descrito una alaskita (identificable con una verdadera pegmatita sienítica) portadora de zircón y ortita en la región de Fuenteovejuna (Arribas, 1963, en Heinrich, 1966).

Un caso muy particular y difícil de encasillar inequívocamente dentro de los cuadros metalogénéticos, es el de los gigantes depósitos de Rössing (Sudáfrica); muchos de sus rasgos participan de los propios de mineralizaciones generadas durante la cristalización de los magmas en sus fases pegmatíticas (Soensen, 1975), habiendo sido también descritos específicamente como yacimientos intramagmáticos originados a niveles cronológicos rayanos en el Proterozoico cuspidal.(Dahlkamp-Uranerzbergbau-Bonn-Alemania,1976).

Este depósito consiste en una masa irregular de alaskita de alrededor de 0,7 km de diámetro, probablemente formada por procesos palingenéticos actuantes sobre antiguos metasedimentos cuarzo-feldespatíticos; la misma se encuentra semiconcordantemente emplazada a lo largo del contacto entre rocas de la Formación Nosib (cuarcitas gneisificadas) y sectores basales del Sistema Damara (carbonatitas, etc., que buzcan entre 60 y 80° al Sur).

La mineralización uranífera se integra de minerales tanto primarios como secundarios, que se presentan íntimamente asociados con la alaskita; los metasedimentos contiguos son prácticamente estériles.

Estas alaskitas, que desde otros puntos de vista petrológicos pueden ser también consideradas como granitos pegmatíticos (cuarzo y feldespatos potásicos exclusivamente) son las únicas rocas portadoras de la mineralización uranífera que se presenta finamente diseminada en su seno (a veces también como finas venillas) y que consiste esencialmente en uraninita (un 55% del total de los minerales uraníferos), rössingita (un 40%) y betafita (5%). Es interesante la presencia de davidita entre los hipógenos. Como secundarios de uranio se presentan también gummita, carnotita y metatorbernita.

VI. DEPOSITOS HIPOTERMALES

Se identifican con los de carácter hidrotermal formados por la acción de las soluciones residuales hidrosilicatadas en niveles relativamente profundos en los que dominan condiciones de fuerte temperatura y presión capaces de favorecer las asociaciones del uranio con el torio dando lugar a la formación de uraninitas toríferas, así como con el titanio para generar davidita y brannerita; se les asocian comunmente ilmenita, magnetita, hematita, molibdenita y piritita y otros acompañantes termófilos. En algunos casos aparece también hübnerita, arsenopiritita, casiterita y cobaltita, siendo los minerales de ganga generalmente silicatos de alta temperatura.

No siempre es posible diferenciar inequívocamente un depósito hipotermal de algunas asociaciones minerales semejantes, de tipo pegmatítico-neumatolítico y aun de otras de carácter pirometasomático, a causa de la existencia de ciertos rasgos de similitud genética y de innegable hecho de las realidades objetivas transicionales comunes a todas las manifestaciones y fenómenos enraizados al orden natural.

Puntualiza Heinrich con respecto a este problema, que los criterios basados en la naturaleza de las rocas portadoras de la mineralización uranífera, pueden ser más decisivos que los ligados a las condiciones genéticas mismas.

Este tipo de depósitos hidrotermales de minerales radiactivos no son tan comunes como los de carácter meso y epitermal.

Como ejemplo típico puede mencionarse el conocido yacimiento de Radium Hill (Australia meridional) ubicado a un centenar de km al S.O. de Broken Hill; de acuerdo a Heinrich, el basamento arcaico de la zona (gneises y cuarcitas parcialmente granitizadas) fué intruido en dos etapas por rocas anfibólicas y posteriormente por diversos tipos de pegmatitas entre las cuales se encuentra una variedad aplítica de naturaleza sódica que podría hallarse genéticamente relacionada con la mineralización uranífera. La misma se hallaría controlada por diaclasas y fallas que afectan a todo el conjunto.

El yacimiento consta de tres cuerpos mayores, de longitudes polihectométricas, y cinco menores que componen concentraciones tabulares dispuestas a lo largo de fajas de shear; estas unidades se integran desde afuera hacia su interior, de bandas de materiales sericitizados, seguidas de otras portadoras de agregados de ilmenita, rutilo y hematita que a veces llevan también minerales uraníferos, llegándose finalmente a la zona central que posee davidita, ilmenita, rutilo, biotita y cuarzo. Los cuerpos mineralizados se hacen más potentes en los sectores más brechados (Angelelli, op.cit.). La edad de la davidita sería de 1730 m.a.(fig. 4).

Otros yacimientos semejantes serían los de Mount Painter, también ubicados en la región de Radium Hill. Se trata de un grupo de depósitos alojados en zonas brechosas de rocas metamórficas y graníticas del basamento del miogeosinclinal.

II.4.9

nal de Adelaida (South S.A., 1972); la edad del metamorfismo sería "carpentaria media". La mineralización uranífera hipogénica consiste básicamente en davidita, observándose también uranio secundario que se encuentra alojado en zonas de shear contiguas a los depósitos primarios de donde fué previamente lixiviado.

Tanto estos depósitos como los de Radium Hill arriba mencionados han sido irregularmente explotados por "radio" hasta 1930.

Otros filones también portadores de davidita y susceptibles de ser explotados, han sido señalados en el área de Crockers Well.

En Mozambique se han encontrado depósitos análogos a los descritos, en la región de Mavuzi, que posee un basamento precámbrico integrado de gneises, mármoles y granitos, conjunto que ha sido intruido por gabros noríticos, filones desde básicos hasta sieníticos, pegmatíticos y de cuarzo, etc. Una intensa alteración hidrotermal convirtió parcialmente a las noritas en "epidioritas" y gneises hornblendíferos. La davidita se encuentra relacionada con los siguientes tres distintos tipos de ganga : escapolítico-calcítica, piroxénica y plagioclásico-calcítica.

En la región de Cabra Alta (Badajoz-España) se han señalado (Arribas, 1963, en Heinrich, 1966) unas aplitas de sienita de naturaleza sódica, portadoras de davidita que como uno de los minerales accesorios de la roca es acompañada de piritita, titanita y cuarzo. El mineral radiactivo se presenta disperso en la masa aplítica en forma de pequeños cristales o bien como nódulos formados por agregados de los mismos.

No son tampoco infrecuentes los depósitos hipotermales portadores de brannerita, tales como el presente en un sector de la mina California (Colorado, E.U.); se trata de un cuerpo filoniano de cuarzo de alta temperatura enclavado en monzonitas cuarcíferas y que lleva molibdenita, berilo, hübnerita, turmalina, fluorita, sericita, molibdenita secundaria, etc. según Heinrich. La mineralización descrita parece hallarse ligada genéticamente con un advenimiento pegmatítico eocenoico.

Otros depósitos de óxidos complejos uranotoríferos estadounidenses han sido señalados en el río West Walker y en los montes de S. Bernardino (California, E.U.).

En Château Lambert (Vosgos-Francia) aflora toda una serie de filonaciones de cuarzo grisáceo localmente ferruginoso, portadoras de cristales de brannerita superficialmente muy alterados, acompañados por uraninita bien cristalizada y de bajos contenidos toríferos.

En Blind River (Ontario-Canadá) área que contiene una de las reservas potenciales mayores del planeta, los minerales de uranio se alojan preferencialmente dentro de la Formación Mississagi (conglomerados, arcosas, grauvacas, etc.). La mineralización principal se encuentra entre los rodados de cuarzo de origen fluvial como también a lo largo de la discordancia que separa a esta formación, del basamento pre-huroniano que le sirve de sustrato. El cemento de estos conglomerados oligomícticos está constituido por cuarzo, sericita, clorita y piritita, que coexisten con

Los minerales uraníferos: brannerita, uraninita, monacita y tucholita; por otra parte, se encuentra presente casi toda la gama de los sulfuros, oro, hematita, magnetita, titanífera, zircón, scheelita, etc.

Manifestaciones de casiterita uranífera como asociaciones hidrotermales típicamente termófilas, aparecen también en la Malaya Central, en las cercanías del Monte Frasers, evidenciando una mineralización de fosfatos de uranio probablemente derivados de la alteración secundaria de alguna pechblenda original; yacimientos análogos han sido mencionados en Queensland (Australia) y en Miyoshi (Japón), etc.

Una curiosa mineralización uranífera presente en la mina Ceilhes, en Rabasse (Hérault-Francia) evidencia poseer caracteres transicionales entre los términos hipo y mesotermales; lleva sulfuros de Pb, Fe, As, minerales de bismuto y pechblenda, según Heinrich.

VII. DEPOSITOS MESOTERMALES

Los más ricos y productivos yacimientos uraníferos del mundo pertenecen genéticamente a este escalón secuencial en la diferenciación selectiva de sectores residuales de primitivos magmas sucesivamente escindidos y elaborados. De acuerdo a Heinrich, estos depósitos de uranio pueden dividirse en los siguientes tipos principales: el clásico portador de asociaciones de ese elemento con Ni, Co y Ag; el caracterizado por el par pechblenda-pirita que puede también llevar sulfuros de Pb, Cu y Ag, y finalmente otro menos representado que suele portar monacita o torita.

El mineral de uranio más corriente es la pechblenda que en estos tipos de depósitos es de bajo contenido en torio pero suele llevar tierras raras y determinadas cantidades de Zn y Mo; la pechblenda aparece generalmente como esférica y botroidal con frecuentes estructuras radiales y concéntricas. Algunos autores aceptan que las pechblendas de formación precoz se presentan como coloides y las de constitución tardía en forma granular. A veces se ha dado el caso de hidrocarburos uraníferos. La coffinita es un mineral raro en las asociaciones mesotermales.

Hay un grupo de metales básicos que pueden presentarse en cantidades significativas, tales como el Bi, Cu, Pb, Co, Ni, y en menores proporciones también Zn y Mo. El primero de los nombrados aparece como nativo o bajo la forma de bismutita; el segundo como calcopirita constituyendo el representante mineralógico de ese metal, más ubicuo y abundante, juntamente con bornita y otros minerales cupríferos.

En cuanto al Co y Ni se caracterizan por componer la más variada gama de minerales entre los que se mencionan la niquelina, cobaltita, gersdorffita, skudderudita, esmaltina, cloantita, safflorita, polidimita, etc., etc.

Algunos depósitos llevan también selenio en forma de sulfoseleniuros de Co, Ni y también seleniuros de Cu y Pb; también se ha encontrado telurio y vanadio.

II.4.11

En cuanto a los materiales de ganga, suelen tener naturaleza carbonática, presentándose como calcita, dolomita, siderita, y más raramente como magnesita o rodocrosita; también las hay de tipo silíceo presentándose con frecuencia como cuarzo en cristalización de grano grueso y muy pocas veces como sílice cristocristalina. Son comunes las impregnaciones ferríferas de tipo hematítico que se presentan coloreando acentuadamente las gangas cuarzo-carbonáticas asociadas. Algunos yacimientos llevan bastante clorita, siendo raras las baritina y la fluorita, minerales estos más característicos de la fase epitermal que de la que aquí se describe.

En criaderos mesotermales es muy común la alteración en las cajas que se enriquecen con el amplio aporte de clorita, pistacita, pirita y calcita siendo también frecuentes la sericitación y la argilización; en cuanto a los procesos de silicificación, tan corrientes en los emplazamientos epitermales, son poco frecuentes en los mesotermales, así como los reemplazos en las rocas encajantes.

Como se ha mencionado, las alteraciones hematíticas parecen constituir un lugar común en muchos depósitos del tipo, extendiéndose su influencia también a las cajas que las albergan.

En general estos depósitos se emplazan en parametamorfitas o en bordes batolíticos, observándose casi siempre relaciones de cerrada obsecuencia a los lineamientos estructurales existentes en sus áreas de dominio.

Es frecuente la presencia de formaciones costriiformes de relleno de espacios en fracturas y estructuras brechosas abiertas; en efecto, al carecer este tipo de irrupciones de la energía penetrativa característica de los advenimientos hipabisales y pegmatítico-neumatolíticos, hubieron de encauzarse preferentemente por las vías de naturaleza traccional existentes.

Dentro de los cuerpos de vetas son comunes los procesos de reaperтурas iterativas de raíz tensional, seguidos de sendos aportes mineralizantes.

Seguidamente se hará una breve relación descriptiva de los principales depósitos o distritos del tipo, según un ligero ordenamiento por países o continentes y sin especial atención a las divisiones genéticas por subtipos.

- En el Territorio Norte de Australia, se encuentran, entre otros los interesantes depósitos uraníferos de la región de "South Alligator River Valley" cuyas principales minas son Rockhole y Sherana; se relacionan a vulcanitas ácidas del Carpentariano, de edad proterozoica media (Ayles y Eadington, 1975). Hay dos tipos de depósitos: los portadores de pechblenda, con y sin ocres de uranio, y los integrados totalmente por ocres. Los de pechblenda se localizan a lo largo de fracturas ubicadas en o cerca de la discordancia entre el Proterozoico medio y el Eoproterozoico, alcanzando la mineralización, profundidades máximas de hasta 90 m. Hay también uranio secundario, poca galena, clauthali

II.4.12

ta, piritita, marcasita, escasos arseniuros de Co y Ni y oro nativo, en ganga de trozos de la roca de caja, y en el caso particular de la mina Rockhole, también siderita. Se acepta que las aguas subterráneas lixiviaron parte del uranio primitivo redepositándolo previa reducción, en el seno de pizarras carbonáticas en virtud de una convergencia de trampas químicas y estructurales (fig.6).

Siempre en la región de Alligator River, se encuentran los muy conocidos depósitos de Rum Jungle (fig.6) a unos 100 km al S de Darwin. Se trata de vetiformes que intruyen a metasedimentos precámbricos (conglomerados, cuarcitas, calizas y pizarras muy plegadas y tectonizadas); un granito muy radiactivo se encuentra emplazado en estas rocas. Hay cinco grupos de yacimientos (Angelelli, op.cit.) distribuidos sobre un par de km de extensión a lo largo de una gran falla. Los cuerpos mineralizados encajan en pizarras carbonáticas, esquistos grafiticos y en metaconglomerados y brechas; hay casos de reemplazos en planos de foliación y de fractura, y de penetraciones vetiformes discordantes, en los esquistos. La potencia de algunos cuerpos llega hasta los 10 m y sus desarrollos longitudinales, hasta 150 m.

Los hipógenos consisten en pechblenda, calcopirita, bornita, bournonita, blenda, hematita y a veces también cobaltita, loellingita, tenantita, etc. La zona de oxidación, que lleva malaquita, azurita y torbernita, llega hasta los 30 m de profundidad.

Otros depósitos, en algún grado análogos a los descritos y también ubicados en la región de Alligator River, son los vetiformes de Jabiluka, Koongarra, Ranger y Nabarlek.

Finalmente se mencionarán otros yacimientos similares que se encuentran en Westmoreland, en la región de Mary Kathleen; aparecen en vulcanitas y metasedimentos del Proterozoico medio (Carpentariano) sobre una estrecha faja que se extiende desde Calvert Hill hasta Mary Kathleen, sobre una distancia de más de 500 km (South, 1972).

Contienen pechblenda alojada en una zona de shear adyacente a un dique de traquiandesitas condicionadas a planos de diaclasamiento existentes en el seno del conglomerado de Westmoreland; también se observa mineralización secundaria de uranio.

- Es muy conocido desde fines del siglo XV el distrito polimetálico de Jáchimov, ubicado en el cordón de "Krušné Hory"; sobre el lado checoslovaco del "Erzgebirge" alemán; se ubica a unos 20 km al NNE de los famosos baños de "Karlovy Vary". Explotado inicialmente por Ag, se trabajó posteriormente por Ci y Ni y por último, por uranio. El descubrimiento del radio y del polonio realizado por los esposos Curie se efectuó a partir de minerales uraníferos de estos depósitos (Angelelli). Consiste en dos sistemas de vetas (N-S y E-O) que intruyen a esquistos precámbricos, ubicándose en las intersecciones de aquellas las

mayores concentraciones de pechblenda. La longitud de estas vetas llega hasta los 2500 m y la mineralización se mantiene en buena ley hasta los 500 m de profundidad, siendo sus potencias máximas, de hasta 0,6 m. Las raíces de los vetiformes se encuentran enclavadas en los granitos subyacentes. Los minerales más notables son la pechblenda, plata nativa, argentita, cobaltita, nicolita, bismuto nativo, galena, blenda y calcopirita en ganga de cuarzo y dolomita. Hay dos períodos de deposición mineral, correspondiendo el primero a la mineralización portadora del uranio, que se presenta en agregados botrioidales pertenecientes a varias generaciones sucesivas.

Se nota una interesante zonación vertical, observándose una zona superior rica en plata, una central portadora de Ni, Co y As, y la inferior, que lleva pechblenda. (fig. 7 y 8).

Otros depósitos similares, ubicados en el Erzgebirge (Alemania oriental) aparecen en Schneeberg, en Johangeorgenstadt, etc.

En Margnac, región de Limousin (Francia) se ha señalado una mineralización mesotermal consistente en pechblenda diseminada dentro de granitos que localmente se hacen portadores de concentraciones relativamente más ricas del mismo mineral; lo acompañan también, pirita, marcasita, galena y calcita impregnada por hematita; hacia los sectores más superficiales, los hipógenos de uranio son reemplazados por gummita y autunita.

En Cornwall (Inglaterra) se citan depósitos de pechblenda en filones que rellenan fracturas en granito; son posteriores a otro grupo de penetraciones que llevan estaño y cobre y también uranio como componente de minerales accesorios. Otras manifestaciones semejantes se encuentran en South Terras, dentro de la misma región que las primeras.

En España se conocen yacimientos de tipo mesotermal, en las vecindades de Monasterio (Badajoz). Se alojan en rocas cámbricas metamorizadas en la orogenia hercínica, y la mineralización consiste en pechblenda, niquelina, cloantina, safflorita, sulfuros de Fe y Cu, calcosina, etc. en ganga de cuarzo y carbonatos (Arribas, 1963 en Heinrich, 1966).

- Shinkolobwe, el gigantesco yacimiento africano, se ubica en Katanga (Congo) a unos 130 km al SE Elisabethville. Geológicamente cabe mencionar la presencia de sectores basales del Grupo Katanga, sobre el borde occidental de una enorme estructura en arco que aloja también importantes depósitos de Cu, Co y Zn.

Se acepta que los aportes hidrotermales se llevaron a cabo siguiendo planos de fractura generados por el empuje de una unidad dolomítica esfenoforme perteneciente al Sistema Kundelungu.

Los compuestos hipogénicos consisten en uraninita masiva (en cubos de hasta 4 cm de lado), sulfuros y seleniuros de Ni y Co, asociados a molibde

nita, monacita, oro, sulfuros cupríferos, umanguita, sulfuros de Pb, Fe y Zn, etc. en una ganga de cuarzo, clorita, turmalina, carbonatos y fosfatos. De los siete embates mineralizantes reconocidos, los aportes uraníferos parecen corresponder al segundo, y los minerales de Ni y Co al tercero. La meteorización superficial dió lugar a la formación de abundantes supergenos (más de 30, entre hidróxidos, fosfatos, molibdatos, carbonatos y aun silicatos). La producción de estos yacimientos solo fué eclipsada al iniciarse la de las monstruosas acumulaciones de la región del Gran Lago de los Osos (Canadá). (fig.9).

Otros megadepósitos de proporciones poco comunes son los del distrito aurífero-uranífero de Witwatersrand (Sudáfrica); se trata de microconglomerados (1) pertenecientes al complejo precámbrico homónimo. Las reservas del distrito se estiman en unas 11.10^5 toneladas de mena. El mencionado conjunto litológico puede dividirse en dos grupos; el primero en el tiempo de 4,8 km de potencia y el segundo, de 32,2. La mineralización principal se encuentra en la Serie de Main Bird, perteneciente al primero, como parte integrante de la matriz y cemento de los microconglomerados, que se compone de pirita, oro, pechblenda, tucholita, sericita, clorita, cloritoides y cuarzo, además de algo de calcita, pirrotina, sulfuros varios, minerales de Co, arseniuros de Ni, rutilo, turmalina, monacita, etc.

Segun la teoría hidrotermal, la secuencia genética sería la siguiente, siempre de acuerdo a Heinrich : 1) deposición de Oro, Pb, Zn, Cu, Co, S, Ni, pechblenda y minerales de ganga; 2) introducción de hidrocarburos gaseosos con polimerización alrededor de los granos de pechblenda y disolución parcial de ésta; 3) consolidación del gel de hidrocarburos, con floculación en gotas de la pechblenda dispersa; y 4) sinéresis y redistribución de la pechblenda, Au y sulfuros a lo largo de fracturas. La edad de los minerales de uranio oscilaría alrededor de los 2000 m.a.

- El renombrado e importante distrito de Eldorado (NE de Canadá) se ubica muy cerca del Círculo Polar Artico, inmediatamente al E del Lago Gran Oso. Se emplaza en rocas precámbricas del Grupo Bahía Eco (metamorfitas, tobas cristalinas y pórfiros feldespáticos y anfibólicos, intruidos por granitos y algunas diabasas). Este complejo está afectado por fajas de brechas y fallas ocupadas por las vetas mineralizadas y grandes cuerpos filonianos de cuarzo también algo radiactivos. Se trata de vetas subverticales y arrumbamiento NE-SO alojadas en brechas silicificadas e impregnadas de hematita y también como stockwerks. Profundizan más de 500 m y poseen desarrollos longitudinales de hasta 1500 m, en potencias máximas de 3 m.

El tipo de mineralización es el propio de Uranio con Ni, Co, Ag,

(1) orden 31 a 32 de la escala de dimensionalidades absolutas : V. Němec - Checoslovaquia.

II.4.13

con Bi y Cu, habiéndose encontrado como minerales típicos, pechblenda, safflorita, rammelsbergita, cobaltita, cloantita y gran variedad de sulfuros. La pechblenda aparece en lentes elongados, de hasta 10 m de longitud integrando de masas botrioidales con textura de gel; se han distinguido cuatro fases de deposición, correspondiendo la pechblenda juntamente con sulfuros, arseniuros, Bi, cuarzo y calcita, a la tercera. (fig.10).

No puede dejarse de mencionar, siempre en Canadá, el importante distrito de Beaverlodge de la región de Goldfields, ubicado cerca del lago homónimo en Athabaska y Saskatchewan (N.de Canadá), con sus muy conocidas minas Ace, Fay y Gunnar. Hacia 1957, este distrito llegó a ser el más productivo del mundo, tratándose en planta hasta 4000 t/d.

Los principales depósitos, presentes como vetas, cuerpos tabulares, brechas, áreas de diseminación y aun "pipes", se encuentran a lo largo de casi 2 km muy cerca de la gran falla de San Luis, en rocas arcaicas o precámbricas del Grupo Tazin (esquistos clorítico-epidóticos) en contacto con gneises graníticos muy afectados tectónicamente y cloritizados; las cajas suelen hallarse hematitizadas.

La pechblenda se presenta con hematita, clorita y calcita, habiendo también pirita, blenda, calcopirita, galena, seleniuros de Cu y Pb y arseniuros de Ni y Co. Algunas veces el mineral de uranio se presenta como colofome y también de tipo "hollinoso" y parece haberse emplazado en varias generaciones.

La zona de meteorización llega hasta los 30 m en las minas Ace y Gunnar. (fig.11).

- En los Estados Unidos N.A. entre los yacimientos mesotermiales de la asociación Ni,Co,Ag, pueden citarse los de Caribou (Colorado) los del distrito de Black Hawk (N.Méjico) de Coeur d'Aléve (Idaho) etc. y entre los del tipo pechblenda-pirita, los del distrito de Central City y áreas vecinas, entre otros.
- En Brasil se citarán los interesantes depósitos de la meseta de Poços da Caldas, no muy definitivamente ubicables como mesotermiales dado que presentan un tipo de asociación que no se repite en ningún otro depósito conocido del mundo. Las rocas portadoras de la mineralización uranífera varían entre hipabissales y volcánicas del Cretácico superior. Han sido estudiados, entre otros por J.de Andrade Ramos y M.Fraenkel (1974). El distrito se ubica a unos 500 km al O de Río de Janeiro y casi 300 al N de San Pablo, siendo conocido desde 1952.

Consiste en una chimenea groseramente circular de sienitas alcalinas nefelínicas de unos 25 m de diámetro con abundantes diferenciaciones magmáticas y con zonas de brechas volcánicas (Rodrigo, F. 1978) las que en contacto con rocas básicas condujeron a la formación de caldasita englobando dos tipos de mineralización asociadas con zirconio o molibdeno. Los minerales de

II.4.16

zirconio son silicatos (zircón) y óxidos (baddeleyita); la mezcla de ambos minerales constituye la caldasita, con un 60-62 % de ZnO_2 y 0,3 % de U_3O_8 . La asociación del uranio con el zircón es muy refractaria al tratamiento por cuanto aquel se incluye dentro de la red cristalina de éste. De acuerdo a Sorensen (Viena, 1975) se trataría de una mineralización formada por lixiviación de rocas plutónicas o volcánicas a lo largo de fracturas y zonas de brecha, muy semejante a una manifestación de la región del Lacio en Italia Central. Dahlkamp (Uranerzbergbau-Bonn) califica a estos depósitos simplemente como de tipo filoniano hidrotermal. Andrade Ramos et al/74 opina que estos yacimientos serían el resultado de concentraciones de uranio lixiviadas a partir de cristales de zircón metamictizados, por procesos de alteración hidrotermal y meteorización.

Otra manifestación semejante es la de Agostinho, en la que el uranio se presenta como minerales amorfos dispersados en una brecha microsienítica, aunque también como coffinita y uranotorita en pequeñas cantidades, asociados a piritita, fluorita y minerales de molibdeno y torio; la mineralización uranífera se presenta en cuerpos filonícos subverticales, brechados y con potencias medias de $\approx 2,5$ encajantes en microsienitas en las proximidades del contacto con las sienitas nefelínicas.

En el yacimiento "Cercado", del mismo tipo, el mineral uranífero aparece en brechas tectónicas en el seno de microsienitas hidrotermalizadas, como cuerpos lenticulares subhorizontales (De Andrade Ramos, op.cit.) de hasta 8 m de potencia; los minerales son los mismos presentes en Agostinho, difiriendo sólo en el valor de los tenores medios. Aquí, la destrucción de los cristales ya afectados por la metamictización se habría acentuado por la acción del metamorfismo hidrotermal combinado con la meteorización. Probablemente la fluorita, también metamórficamente afectada habría desempeñado un papel en los procesos de removilización influyendo en la deposición del uranio y tal vez formando algo de ácido fluorhídrico durante la alteración hidrotermal. Los más elevados tenores de U y Mo se encuentran en fajas meteorizadas de entre 20 y 100 m de profundidad.

Resumiendo, la mineralización uranífera de toda esta región se presenta en las siguientes formas: 1) uranio ligado a fosfatos; 2) uranio ligado a molibdeno; 3) uranio como uraninita y coffinita, y 4) uranio como piritita uranífera descompuesta (uraninita en piritita).

- En Argentina se encuentran varios pequeños depósitos clasificables como mesotermiales, entre ellos, el de la mina San Santiago (La Rioja) que se emplaza en ambiente de pizarras, anfibolitas, mármoles y micacitas precámbricas (Angelilli) intruidos por filones de pegmatitas, aplitas y lamprófiro. El depósito consiste en una veta de 0,3-0,6 m de potencia y breve recorrido emplazada en cuarcitas piritizadas; la mineralización se integra de nicolita y pechblenda con participación menor de piritita, calcopirita, blenda y galena en ganga calcítica con escaso cuarzo. El mineral de uranio se presenta como delgadas películas que envuelven trozos de nicolita que se manifiesta en forma de bolsones;

en superficie puede observarse annabergita y escasos oxidados de uranio.

Otra manifestación similar se encuentra en la mina La Niquelina en la Srra. de S. Victoria, del N. Argentino. El yacimiento consiste en un grupo de filones de rumbo NNO-SSE con fuerte buzamiento al ENE, emplazados en estratos de esquistos cambro-ordovícicos en sus contactos con rocas cuarcíticas de la misma edad. La mineralización se compone de pechblenda, nicolita, galena, esferita, calcopirita y pirita en ganga de cuarzo y siderita.

Los depósitos del distrito Sañogasta (La Rioja-Argentina) con sus minas San Sebastián y Santa Brígida constituyen un buen ejemplo de la asociación pechblenda-pirita; hay dos tipos de mineralización, una de tipo ascendente, hidrotermal que es la que se identifica con el modelo mencionado y otra de tipo descendente formada parcialmente a expensas de la primera. La mineralización vetiforme, distinguible como "mena verde" por la acentuada participación de malaquita, etc. es fácilmente diferenciable de la descendente, que posee pegmentaciones castañas.

Los depósitos consisten en un grupo de formaciones vetiformes entroncadas en los granitos que marginan e infrayacen a toda una isla de metamorfitas de bajo grado probablemente pertenecientes a la Formación Negro Peinado; no profundizan más de 30-40m con mineralización, y se alojan en fracturas de tipo traccional, constituyendo un modelo muy definido en lo petrologico-estructural, que se repite en varios otros sectores de la Srra. de Famatina. La mineralización se compone de pechblenda, pirita, calcopirita, bornita, calcosina, umanguita, etc. en ganga hipogénica de calcita, fluorita y baritina. En los niveles oxidados hay gummite, abundante uranofano, tyuyamunita y otros minerales de uranio, aparte de malaquita, azurita, crisocola, etc. Ha producido unas 2300 t de "minerales verdes" en ley media de 8 % U_3O_8 .

Otros depósitos pertenecientes al mismo modelo genético y geológico-estructural se encuentran en las manifestaciones "La Represa", "Ciénaga del Quemado" y "Alelí" en la Srra. de Famatina.

VIII. DEPOSITOS EPITERMALES

Se trata de emplazamientos vetiformes llevados a cabo en condiciones de baja temperatura y presión, y caracterizados por constituir asociaciones de soporte silíceo, fluorítico o sílico-fluorífero, con muy escasa representación de variedades de sulfuros.

El mineral radiactivo más conspicuo es la pechblenda que se presenta en forma botrioidal en unidades desde gruesas hasta finamente granuladas y aun de individuos submicroscópicos; este mineral se caracteriza cuando es generado en las condiciones anotadas por su muy bajo contenido en Th y en tierras raras. No es muy infrecuente la presencia de parapechblendas fuliginosas, variedades de origen secundario que suelen aparecer en niveles cercanos a la superfi-

cie. topográfica.

Es raro encontrar uranotorita, variedad de carácter termófilo, y coffinita que en caso de presentarse lo hace en forma finamente granulada. Entre los minerales metálicos que generalmente son escasos, se presentan solamente la pirita y la marcasita; la galena, esfalerita y calcopirita, si bien son bastante ubícuas, siempre se presentan en muy pequeñas cantidades.

La fluorita se presenta como un componente desde accesorio a predominante y aparece en sus variedades oscuras y fétidas —que en caso de reaperturas y embates mineralizantes sucesivamente iterados, ocupan con frecuencia sectores centrales del conjunto— hasta las muy claras pasando por toda la gama intermedia. El cuarzo, otro conspicuo constituyente de las gangas, suele presentarse generalmente en bandas de grano fino y sólo como rareza, en forma cristalina de grano grueso, pudiendo variar las pigmentaciones desde blanco a rojo, gris y aun negro. Es muy común la sílice como calcedonia y aun como ópalo, especialmente en los aportes más tardíos.

A diferencia de lo que ocurre en los filones mesotermales, los de tipo epitermal no suelen llevar mucha hematita y los carbonatos son escasos o simplemente faltan.

La silicificación y argilización de las cajas son un fenómeno común en estos niveles de diferenciación y acercamiento relativo a la superficie, siéndolo en bastante menor grado la sericitización y la hematización.

Son comunes las formaciones costriformes y de drusas que ocupan vacíos originados por fenómenos de descompresión, y por las mismas razones oportunamente anotadas para las penetraciones mesotermales, este tipo de filonaciones muestra una acentuada tendencia estructural hacia los accidentes traccionalmente generados.

Se nota una preferencia de los emplazamientos epitermales por cajas de tipo magmático o bien, sedimentario, aprovechando fracturas de tensión y mucho menos comúnmente de shear; interesan cajas desde precámbricas hasta terciarias.

Estos depósitos suelen presentarse en forma de vetas múltiples, chimeneas de brechación y masas de reemplazo. Son comunes las concentraciones de tipo "ore shoot" a veces relacionadas a empalmes de estructuras de diferentes arrumbamientos y posiciones espaciales.

Otra característica bastante general es que este tipo de emplazamientos raramente se manifiestan como concentraciones uraníferas de alta ley.

Entre los variados tipos de asociación mineral determinados, se mencionarán los siguientes : (Angelelli).

II.4.19

- 1) Cuerpos filónicos de pechblenda y sulfuros, con soporte silíceo, de los que suministran buenos ejemplos los clásicos depósitos de Francia y Portugal.
- 2) Depósitos vetiformes y de tipo "pipe" potadores de fluorita radiactiva.
- 3) Depósitos de fluorita con sulfuros, y
- 4) Depósitos de fluorita, cuarzo y sulfuros.

A continuación se efectuará una apretada relación descriptiva de los principales exponentes de este tipo de depósitos a escala mundial, tratándose en primer término algunos de pechblenda-sulfuros con soporte silíceo.

- En Francia hay una serie muy numerosa de distritos uraníferos que pueden agruparse en una forma muy generalizada en las dos grandes regiones siguientes: Macizo de Bretagne y Macizo Central. En general se presentan como grupos de vetas y brechas de falla mineralizadas sobre los bordes de plutonitas sobresaturadas correspondientes al ciclo endógeno hercínico o bien en los contactos con las cubiertas cristalofílicas (Angelelli). En algunos casos estas manifestaciones están relacionadas a diques lamprofíricos de naturaleza preferentemente sienítica. Los rumbos varían en sumo grado, siendo los más repetidos, los E-O, NO-SE y N-S, con posiciones subverticales, desarrollos longitudinales de hasta 0,5 km y potencias entre decimétricas y decamétricas, en casos de fajas brechadas. En sentido vertical, la continuidad de la mineralización uranífera ha sido comprobada hasta los 300 m de profundidad. Geffroy y Garcia diferencian los siguientes tipos paragenéticos :

- | | | |
|--------------------------------|----|--|
| Tipo Limousin, | a) | pechblenda compacta, poco cuarzo, sulfuros varios como accesorios, baritina sólo localmente y fluorita como rareza; contactos netos algo argilizados a veces. |
| " " | b) | pechblenda menos desarrollada, cuarzo criptocristalino abundante, localmente fluorita, pirita diseminada; contactos silicificados. |
| Tipo Forez, | a) | pechblenda en ganga calcedónica hemetitizada y pirita; un segundo aporte de cuarzo ahumado, más grueso con sulfuros y localmente fluorita; contactos netos algo silicificados. |
| " " | b) | mineralización con parsonita. |
| Tipo del NE del Macizo Central | a) | pechblenda en agregados en filones delgados c/ganga dominante de fluorita y cuarzo grano fino rojo, baritina, sulfuros varios y hematita. |
| " | b) | filones potentes en ganga de cuarzo fino rojo y fluorita, sulfuros varios, pechblenda diseminada, ligada al cuarzo. |

II.4.20

En el Macizo de Bretagne la mineralización está relacionada al granito de Mortagne, alojándose principalmente en éste o en sus bordes en contacto con esquistos y muy raramente en el seno de las metamorfitas; las gangas suelen ser tanto fluoríticas como silíceas. Los cuerpos con fluorita componen los yacimientos de Clisson, siendo el de l'Écarpière el principal, que se integra de siete filones subverticales y de rumbo casi E-O; llevan fluorita oscura fétida y calcedonia, y la pechblenda aparece en venillas y nódulos entre las fajas fluoríticas y las silíceas.

Los cuerpos con sílice componen los yacimientos del grupo de La Chapelle-Largeau, alojados en granito en forma vertical y con rumbo NNO-SSE; llevan pechblenda, pirita, marcasita, galena y minerales de uranilo.

En el Macizo Central (Sector occidental) en la región de limou sin hay varios depósitos alojados en un granito rico en pegmatitas y lamprófiros. El grupo de yacimientos de Bessines, ubicado más al N abarca la conocida cantera de Brugeaud que posee dos fajas mineralizadas principales alojadas en fracturas; llevan pechblenda esferulítica y fuliginosa, gummita, autunita, cuarzo, pirita y otros sulfuros y calcita de deposición más tardía.

El grupo de La Crouzille aparece en granito grueso portador de lamprófiros y sus cuerpos de vetas poseen rumbos NE-SO y buzamientos de 70° al NE; los yacimientos más reconocidos son Henriette que lo ha sido hasta los 170 m de profundidad, y los del grupo Les Sagnes.

En el Macizo Central (Sector NE), la mineralización de los depósitos de Morvan y Autunois revelan la existencia de asociaciones de baja temperatura, siendo los principales yacimientos los de La Faye, Les Vernays, que se alojan en fracturas sobre el borde occidental del batolito de Luzy. Los cuerpos de vetas llevan en profundidad pechblenda "hollinosa" y maciza acompañada de sulfuros, pero en niveles más superficiales aparecen fosfatos; la ganga suele ser silíceas con sulfuros, calcedonia y fluorita. Los yacimientos de Bauzot son portadores de pechblenda, gummita, autunita y uranofano en fluorita, encontrándose también pirita, galena y baritina.

En el Macizo Central (Sector Centro-oriental) aparecen en la zona de Lachaux un grupo de filones caracterizados por ser conspicuos portadores de parsonita. El cuerpo de Bigay posee rumbo general ONO-ESE, es vertical y posee hasta 0,5 m de potencia. La pechblenda es esferulítica y se presenta parcialmente sustituida por cuarzo, habiendo también sulfuros, cuarzo ahumado, hematita y ópalo.

La región de Bois Noirs ubicada al E de Lachaux posee vetiformes uraníferos sobre el borde oriental de un cuerpo granítico tectónicamente limitado por la falla de Forez; hay allí seis yacimientos que han sido explorados hasta los 200 m mediante sondeos. En profundidad aparece pechblenda brechosa que es reemplazada hacia la superficie por fosfatos varios.

En el Macizo Central (Sector Sur) se encuentran los yacimientos de Losère y l'Herault que llevan pechblenda en venillas, una variada gama de sulfuros en ganga de cuarzo, baritina y carbonatos. (fig.12).

- En España hay toda una serie de importantes yacimientos distribuidos sobre la meseta hercínica entre la gran falla del Guadalquivir y la frontera con Portugal. Se trata en general de emplazamientos filonianos encajantes en rocas granodioríticas y monzonitas cuarcíferas sobre primitivos sistemas estructurales inicialmente receptores de filonaciones hipabisales de micro granitos, pórfiros, andesitas, diabasas, etc., es decir de asquistitas y diasquistitas. La mineralización uranífera hipogénica se encuentra representada por pechblenda y coffinita acompañada de diversos sulfuros metálicos, en gangas de cuarzo, fluorita y carbonatos; el primero se presenta en variedades desde criptocristalinas hasta jaspes hematíticos; en razón de las circunstancias climáticas reinantes, las zonas de oxidación suelen alcanzar profundidades de más de 100 m, por lo que una buena parte de los minerales aprovechables se presentan como fosfatos y uranotilo.

Los principales tipos paragenéticos diferenciados por Arribas (1964) son :

- 1) Depósitos c/pechblenda masiva, escasa ganga y sulfuros metálicos, y contactos metos con sus cajas granodioríticas hematizadas; caso de Los Ratonés y Carretona, en Cáceres.
 - 2) Depósitos silícicos con pechblenda y sulfuros de Fe. Sulfuros abundantes en gangas silícicas de cuarzo grueso a jasperiode; brechación acentuada. Caso de Valderrascón, en Badajoz.
 - 3) Depósitos silícicos y sulfuros B.G.P.C.- La pechblenda es un accesorio mineralógico, dentro de la gama de sulfuros dominante. Abundante ganga silícica. Caso de Valdemascaño en Salamanca, y Escalona, en Toledo.
 - 4) Depósitos silícicos con pechblenda y sulfuros de Cu. Pechblenda y coffinita se asocian sólo con los sulfuros de Cu y Fe; abundante ganga de cuarzo y calcita. Casos de La Virgen, en Jaén, y Cardeña, en Córdoba.
 - 5) Depósitos silícicos c/pechblenda y fluorita. Pechblenda y coffinita asociadas con abundante fluorita. Mucha piritita. Extensa brechificación y hematización de las cajas. Caso de Villar de Peralonso, en Salamanca.
 - 6) Depósitos secundarios hidrotermales con pechblenda y sulfuros de Cu. Incluye mineralizaciones del tipo encajantes en sedimentitas. Caso de Ca-zorla, en Jaén.
 - 7) Mineralización uranífera en pizarras que rodean a batolitos hercínicos. Escasa ganga y minerales metálicos. Caso de Salamanca, etc.
- En Portugal, se destacan cuatro distritos uraníferos principales localizados

II.4.22

en la zona montañosa del centro y norte del país. En general se trata de vetiformes encajantes en ambiente de granitos porfiroides hercínicos que a su vez intruyen metamorfitas eopaleozoicas. Las vetas y rellenos de brechas cortan a todas las otras manifestaciones filónicas según un complejo sistema de fracturas siempre traccionales; las potencias son de entre pocos decímetros hasta 8 m. Las cajas se encuentran en variado grado hematitizadas, sericitizadas, caolinizadas y silicificadas. Son comunes las concentraciones de tipo "ore shoot" de muy variadas dimensiones que han sido exploratoriamente reconocidas hasta una profundidad de 300 m. Los hipógenos principales son pechblenda, pirita, galena, blenda, calcopirita, arsenopirita, cuarzo microcristalino blanco y negro, jaspe y metatita. La pechblenda es microbotrioidal o pelicular. La zona de oxidación se extiende hasta los 100 m de profundidad siendo en ella comunes minerales tales como autunita, metaautunita, sabuganita, fosfuranilita, torbernita, uranofano, etc.

Los principales distritos uraníferos son los siguientes : Urgeirica, Reboliero, Guarda y Bendola (fig.13).

- En Yugoslavia, en un sector ubicado al NE de Macedonia se hace presente un grupo de emplazamientos vetiformes portadores de diferentes cationes que cortan a una serie de andesitas y tobas oligocenas y pliocenas. Algunos, que llevan minerales de Pb-y Zn parecen constituir transiciones entre depósitos meso y epitermales. Un caso particular estaría representado por las filonaciones que poseen rumbo NO-SE y buzamientos al NE, portadores de minerales uraníferos, que parecen constituir una reactivación tardía de los procesos mineralizantes, que se llevaron a cabo en condiciones ya epitermales. La mineralización consiste en pechblenda irregularmente distribuida en ganga de calcedonia oscura.
- En Checoslovaquia, sobre el cordón montañoso de "Brdy Hřeveny", a unos 50 km al SO de Praha se encuentra el interesante distrito uranífero controlado por la Empresa Estatal "Uranové Doly" con asiento en Příbram (Bohemia); en el mismo se presenta un caso muy análogo al arriba mencionado de Yugoslavia, en el que coexisten en la misma zona dos tipos de mineralización distintas; en este lugar de Bohemia se presenta una asociación portadora de minerales de Pb, Ag y Zn genéticamente ubicable en niveles prácticamente mesotermiales, y otra correspondiente a manifestaciones de fecha más tardía y operada en niveles de epitermalismo que lleva minerales uraníferos y gangas muy semejantes a los de Francia y Portugal, salvo las profundidades de laboreo que en este caso llegan a los 1800 m de la superficie.
- En los Estados Unidos de N.A. se han señalado algunas manifestaciones de este tipo portadoras de minerales radiactivos en el batolito de Boulder (Montana), generalmente desprovistas de significación económica. Componen filones y grupos de filonaciones de sustitución de galena, pirita y otros sulfuros en gangas cuarcíferas alojadas en cajas monzoníticas silicificadas, sericitizadas y caolinizadas. En la mina Gray Eagle aparece pechblenda que reemplaza

za parcialmente a la pirita observándose también parapechblenda y minerales amarillos de uranio. Otro yacimiento norteamericano es el de Los Ochos (Colorado) encajante en pelitas, areniscas y granito, silicificados y caolinizados; hay pechblenda "hollinosa" y granular con marcasita y otros sulfuros, en ganga de cuarzo, calcedonia, alunita y baritina; los minerales radiactivos secundarios son fosfatos y silicatos.

Siempre en los Estados Unidos, se han señalado manifestaciones del tipo de las descritas, en la Región de la Baja, con los yacimientos San Celestino, San Cristóbal, etc.

El yacimiento Soberanía (Mendoza-Argentina) constituye un buen ejemplo de depósito epitermal; se ubica a 18 km al O de la Ciudad de Mendoza sobre una faja de deformación en el contacto de sedimentos triásicos y terciarios. Consiste en una serie de vetas lenticulares portadoras de calcita, yeso y cuarzo de varios centímetros de m de desarrollo longitudinal y hasta 0,4 m de potencia. En profundidad se presenta pechblenda en finas películas y dendritas impregnando masas de cuarzo brechoso y hacia arriba, al entrar en la zona de oxidación, que profundiza hasta unos 15-20 m, aparecen schroëkingerita, uranofano, fosfuranilita y metaautunita (Angelelli).

Seguidamente se citarán descriptivamente algunos depósitos mundiales portadores de fluoritas radiactivas.

Como casos de fluorita presente en masas pueden citarse los depósitos de Thomas Range (Utah-E.U.). Se presentan como filones y chimeneas que intruyen a rocas dolomíticas eopaleozoicas. La mineralización predominante es una fluorita de grano fino a pulverulenta y colores entre blanco y púrpura, que lleva minerales de arcilla, calcita, dolomita, cuarzo, ópalo y poca carnotita. La proporción de minerales radiactivos es siempre baja, notándose que en niveles superficiales aumenta notablemente, tal vez debido a efectos supergénicos (Heinrich).

- En la Provincia de San Luis (Rep. Argentina) se presenta un buen ejemplo de este tipo de mineralización, en la mina La Estela. Se trata de un stockwerk fluorítico-uranífero emplazado en rocas graníticas de un gran batolito que hacia el Este pasa a la vecina Provincia de Córdoba en la Srra. de Comechingones. Como puede observarse en la fig. 14, el depósito se encuentra acentuadamente desmembrado por una serie de accidentes tectónicos de distinta factura y escalonados en el tiempo; en efecto, puede reconocerse un fracturamiento premineral traccional, otro posmineral de naturaleza compresiva y finalmente un tercero, también posmineral y de raíz tensional, como el primero. La mineralización hipogénica de uranio consiste en pechblenda, presente en nódulos íntimamente ligados a la fluorita negra y fétida que la alberga, notándose frecuentes alteraciones en gummita y uranofano; este último mineral que es el más frecuente, se presenta también formando halos de impregnación en las cajas graníticas. Otro yacimiento semejante es el de Bella Vista ubi-

cado en la vecina quebrada de Papagayos, unos siete km al Sur de La Estela. (Lucero, H., Diez, J. y Noya, J., 1974).

Entre los depósitos de la asociación fluorita-cuarzo-sulfuros, no puede dejar de mencionarse el muy conocido de Marysvale (Utah-E.U.). Se trata de un distrito ubicado muy cerca de la población homónima (Angelelli) y consistente en diversos cuerpos vetiformes muy productivos. Se alojan en un ambiente de rocas volcánicas (coladas, aglomerados y tobas latíticas y andesíticas) tércicas, conjunto que se encuentra intruido por pórfiros, monzonitas y granitos. Gran parte de estas vetas encajan en fajas tectonizadas de la monzonita; algunas evidencian mineralización uranífera sobre recorridos de hasta 250 m y hasta profundidades de 200 m. Las cajas se encuentran piritizadas y argilizadas. La mineralización se compone de pechblenda, pirita, marcasita, metacínabrio-onofrita, en calcedonia o cuarzo granular y abundante fluorita, adularia y hematita. En la zona de meteorización, que profundiza hasta los 120 m, se ha encontrado autunita, torbernita, fosfuranilita, uranospilita, etc.

- En Wölsendorf (Alemania) se han señalado unos interesantes filones portadores de mineralización uranífera, pertenecientes a la asociación fluorita-sulfuros y encajantes en granitos hercínicos que a su vez se encuentran intruyendo gneises y paraesquistos precámbricos. El relleno de las vetas consiste en fluorita de las más diversas pigmentaciones, hasta las oscuras de tipo fétido, y baritina; hay también hematita, pirita, calcopirita bornita, marcasita y galena, y la pechblenda se manifiesta en nódulos y en venillas dentro de la fluorita y en diseminaciones en las cajas graníticas. En la zona de oxidación aparecen fosfatos (autunita, torbernita y parsonita, uranofano, uranospilita, etc.

Otros yacimientos semejantes serían el de Jamestown (Colorado-E.U.), el de Rexspar (Canadá, etc.).

En Argentina, podrían citarse los siguientes : Angélica (La Rioja) perteneciente a la asociación fluorita-sulfuros, Cristina y Susana (La Rioja) del grupo fluorita-cuarzo-sulfuros, Falla IV, entre otros (La Rioja) propio de la asociación sílice-sulfuros, etc.

Seguidamente se tratará de ubicar algunos depósitos, entre ellos ciertos vetiformes argentinos, dentro de los cuadros de la clasificación estructural de Geffroy-Sarcia, esbozada sobre la base de la posición de los yacimientos con respecto a sus rocas madres y al grado de metamorfismo de las cubiertas afectadas por sus emplazamientos.

Tipo A. Manifestaciones uraníferas en pegmatitas y aplitas y de metamorfismo de contacto en rocas holocristalinas ácidas presentes en "macizos circunscritos" (vale decir, de tipo intrusivo), con mineralización principal de uraninita y/o niobio-tantalo-titanatos, y edades del mismo ciclo de

la intrusión respectiva.

Pertenecen a este tipo de "yacimientos petrogenéticos" todos los encasillados en las categorías pegmatítico-neumatolíticas, y pirometasomáticas de raíz ácida cuyas relaciones con aquellas rocas sean evidentes. Los autores citan como yacimientos tipo, las pegmatitas de Bancroft y Charlebois (Canadá) y los skarns de Mary Kathleen (Australia), a los que se puede agregar todos los casos aquí mencionados y entre otros los vetiformes de Cabra Alta (España) que desde otros puntos de vista, se consideran como epitermales; en general no componen yacimientos significativos, salvo el caso de posibles enriquecimientos eluviales.

Tipo B. Concentraciones uraníferas en filones con diferenciaciones zonales enraizadas a rocas holocristalinas ácidas presentes en "macizos circunscriptos"; mineralización principal, pechblenda, edades relacionadas con la intrusión y cajas graníticas o de metamorfitas vecinas. En este grupo entran gran parte de los filones hidrotermales que constituyen los cortejos proximales de las intrusiones graníticas, especialmente los de nivel hipo y mesotermal mencionados en esta relación.

Tipo C. Yacimientos uraníferos ligados a vulcanismos ácidos, con mineralización principal de pechblenda, óxidos negros, etc. y diferentes edades, con frecuencia recientes y cajas diversas, generalmente no metamorfizadas.

El yacimiento de Marysvale (E.U.) relacionado a vulcanitas terciarias, pertenecería a este grupo, lo mismo que el de Rexspar (Canadá); salvo por la edad de las viejas vulcanitas a las que estarían genéticamente relacionados, podrían también encasillarse parcialmente algunos depósitos de las regiones de South Alligator River Valley y de Mary Kathleen (Australia).

Tipo D. Yacimientos uraníferos alojados en series de cubiertas no metamórficas, con mineralización hipogénica de pechblenda y/u óxidos negros, pasando a minerales coloreados de uranio hexavalente (vanadatos, etc.). Suelen tener raíces filonianas portadoras de pechblenda en el seno de endogenitas ácidas subyacentes, y ensanchamientos estratiformes en las cubiertas afectadas por los emplazamientos, que llevan "minerales amarillos" de uranio.

Un yacimiento tipo, mencionado por los autores, sería el de "Los Ochos" (Colorado-E.U.) encajante en pelitas, areniscas y granitos silicificados y caolinizados, poseedor de raigambres portadoras de pechblenda granular y sulfuros en ganga de cuarzo criptocristalino, alunita y barietina; la zona de oxidación, en niveles sedimentarios lleva autunita, torbernita y uranofano.

El yacimiento San Roque, ubicado en la localidad de La Torre (La Rioja-Argentina) que no ha sido explorado más allá de la zona de oxida-

ción, podría ajustarse al mismo tipo que el anterior, tomando en cuenta: 1) la naturaleza de sus cajas (areniscas permo-triásicas); 2) la muy probable existencia en niveles subyacentes de los granitos que afloran en las vecindades inmediatas y 3) la mineralización encontrada en los niveles explorados, consistente en autunita y uranofano.

Tipo E. Yacimientos uraníferos alojados en series de viejas cubiertas poco metamorfizadas, en los que las relaciones con las endogenitas son de carácter más bien problemático; la mineralización principal es de uraninita y sus edades suelen ser bastante antiguas.

El yacimiento tipo mencionado por Geffroy-Sarcia es el de Shinkolobwe (Africa) alojado en metasedimentos proterozoicos.

Los depósitos del distrito argentino de Sañogasta (La Rioja) podrían ser ubicados entre los de este grupo, en base a: 1) el bajo grado metamórfico de las cajas, proterozoicas o eopaleozoicas; 2) la posibilidad de sus relaciones genéticas con los granitos e hipabisales que circundan y sin duda infrayacen a la isla hipometamórfica que contiene a los yacimientos; y 3) su mineralización de óxidos hipogénicos simples, que hacia arriba pasan a hexavalentes coloreados.

Pertenecerían al mismo grupo las manifestaciones "Ciénaga del Quemado", "Alelí", "La Represa", todas ubicadas, como la primera, en la Srra. de Famatina.

Tipo F. Yacimientos uraníferos alojados en cubiertas metamórficas, enraizados a migmatitas portadoras de mineralizaciones de tipo petrogenético. Como caso típico, los autores mencionan el de los depósitos de Goldfiels (Canadá) especialmente representado por los del distrito de Beaverlodge, que se alojan en el contacto de rocas arqueozoico-proterozoicas con anatectitas paragráníticas muy afectadas tectónica e hidrotermalmente.

Procediendo un tanto liberalmente, el caso de Rössing (Sudáfrica) podría ser incluido en este grupo genético-estructural, en base a 1) el origen probablemente palingenético de las alaskitas (o granitos pegmatíticos alcalinos) portadores de la mineralización uranífera, 2) la naturaleza de sus hipógenos de uranio, uraninita y davidita, minerales petrogenéticos; por similares razones podrían también ubicarse aquí los depósitos de Radium Hill (Australia).

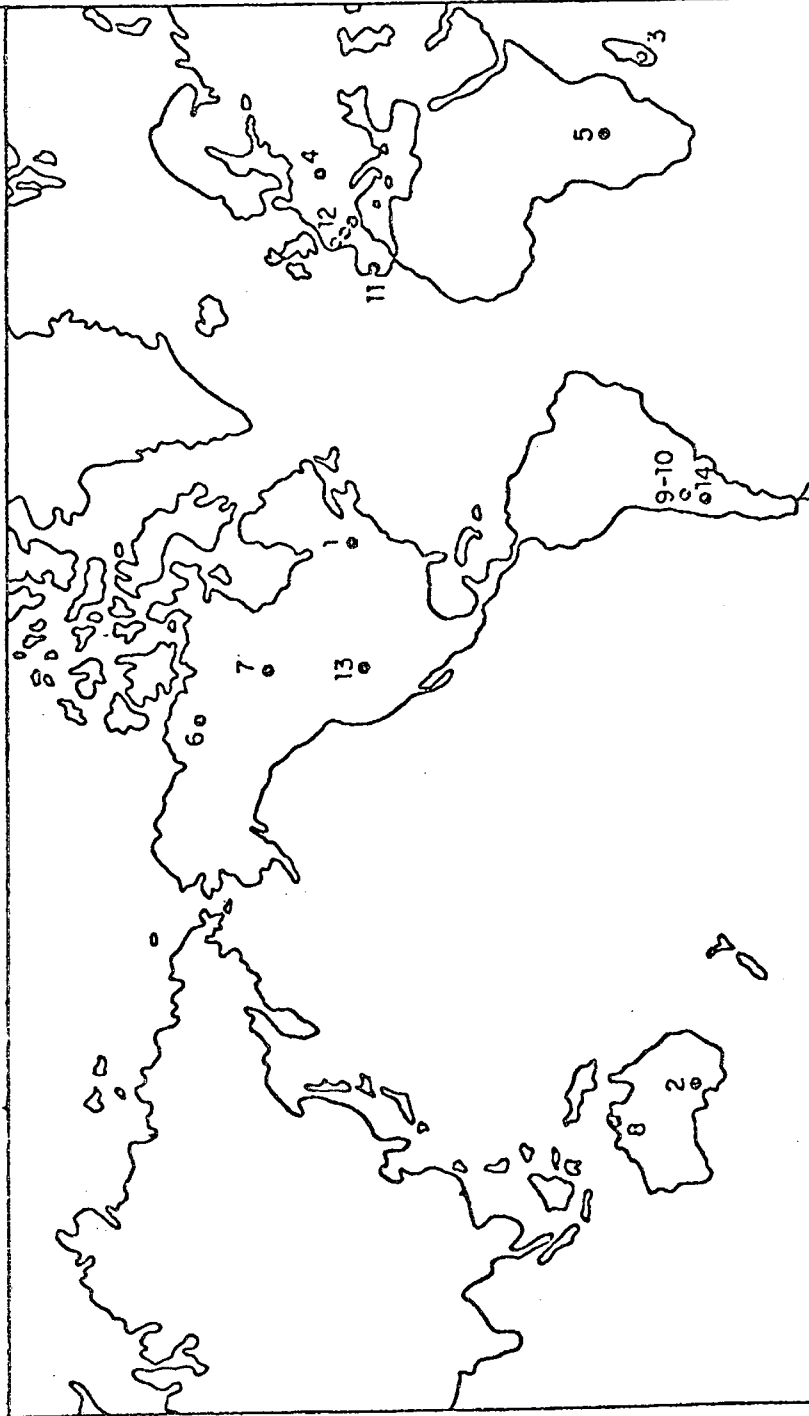
Tipo G. Yacimientos intragraníticos, alojados en zonas de filitización más o menos acentuadas; se extienden poco o no lo hacen, en las metamorfitas encajantes. Diversas edades, pero siempre posgraníticas. Los autores mencionados colocan entre los de este grupo, a casi todos los depósitos de tipo epitermal del Macizo Central francés y de Portugal, entre otros.

En la Argentina pueden ser incluidos en esta categoría, depósitos

II.4.27

tales como La Estela y Bella Vista (San Luis) y Angélica, Cristina, Susana y Falla IV (La Rioja), etc.

UBICACIÓN DE DEPÓSITOS URANÍFEROS HIDROTÉRMICALES, INCLUYENDO PEGMATITAS



DEPÓSITOS EPITÉRMICOS

- 11. PORTUGAL
- 12. FRANCIA
- 13. MARYSVILLE, E.E.UU.
- 14. SOBERANIA, ARGENTINA

DEPÓSITOS MESOTÉRMICOS

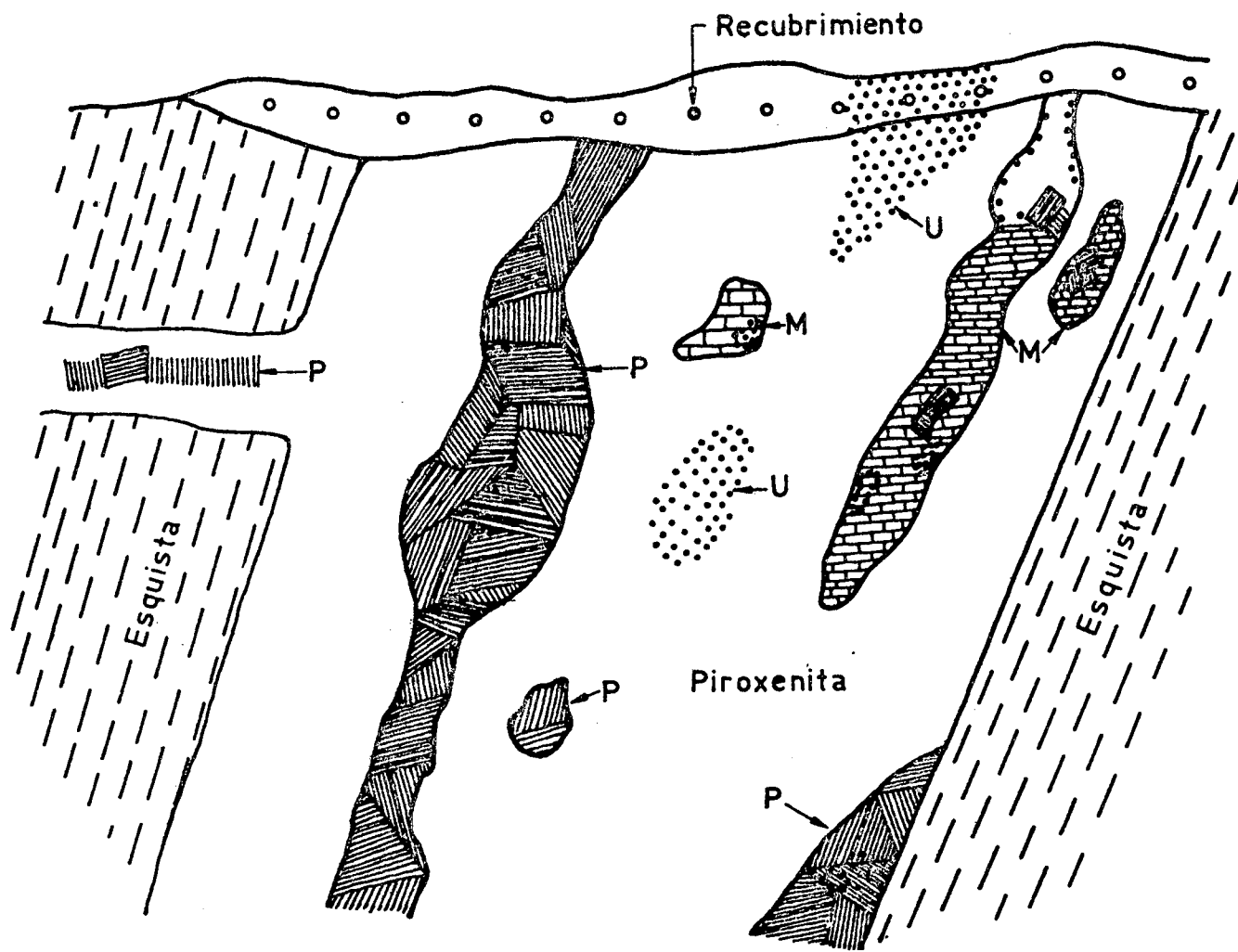
- 4. JOACHIMSTHAL, CHECOSLOVAQUIA
- 5. SHINKOBWE, CONGO
- 6. ELDOORADO, CANADÁ
- 7. BEAVERLODGE, CANADÁ
- 8. JURA RANGE
- 9-10. SAN SANTIAGO Y SAOGASTA, ARGENTINA

DEPÓSITOS HIPOTÉRMICOS

- 2. RADIUM HILL, AUSTRALIA
- 3. MADAGASCAR

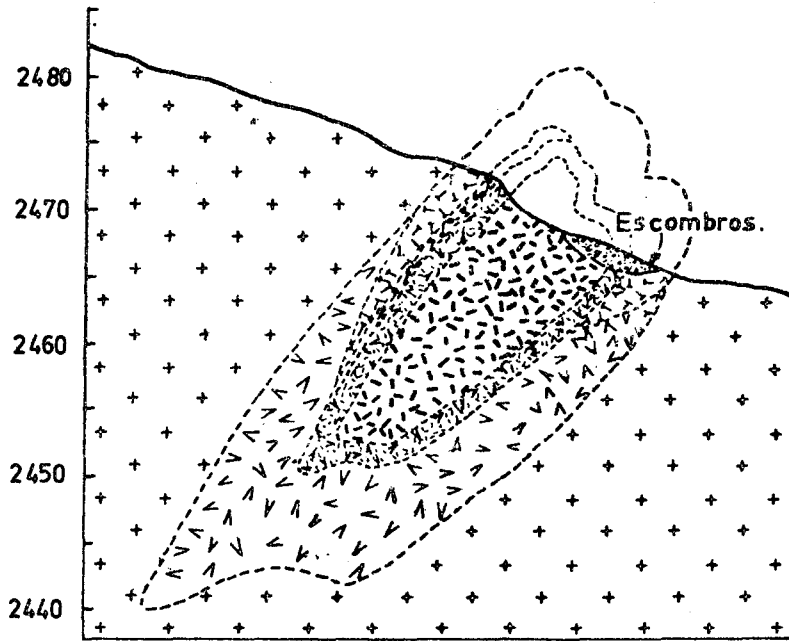
PEGMATITAS

- 1. BRANCROFT, CANADÁ



Yacimientos de uranotorianita en piroxenita, Madagascar.
 P=flogopita; M=xenolitos de mármol, con calcita; U=dise-
 minaciones de uranotorianita.

FIG. N° 3



Sección transversal de la pegmatita de Hyatt.

REFERENCIAS.







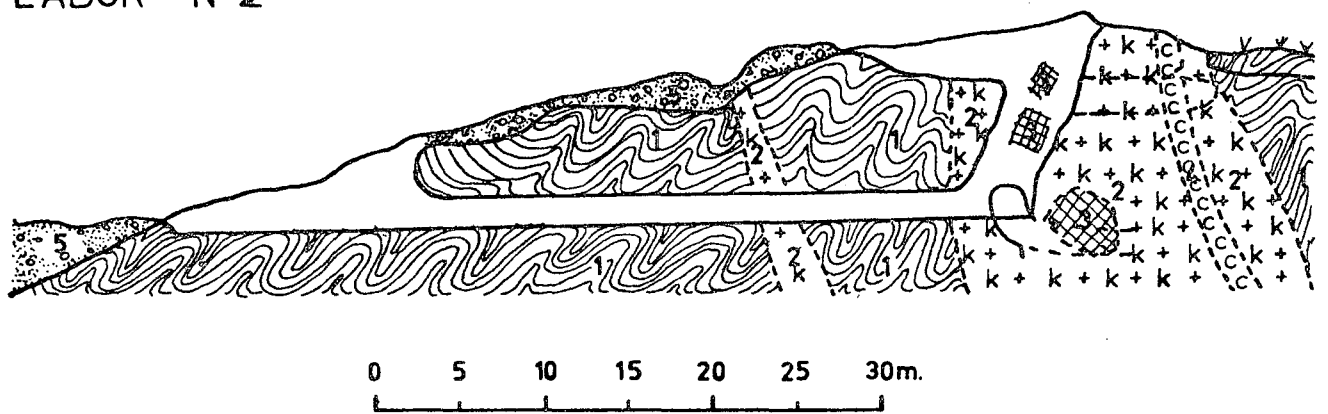
-  Pegmatita de pertita y microclino.
-  Pegmatita de moscovita-cuarzo y plagioclasa, que contiene uraninita localmente.
-  Pegmatita de pertita y cuarzo.
-  Pegmatita de cuarzo pertita y plagioclasa.
-  Pegmatita de cuarzo-plagioclasa.
-  Granito biotítico.

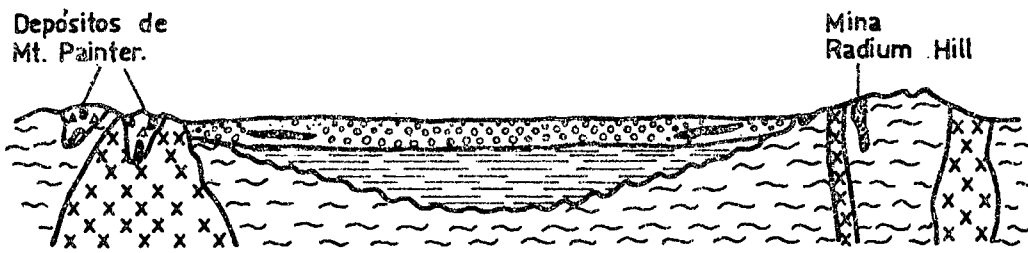
FIG. Nº 4

LABOR Nº 2



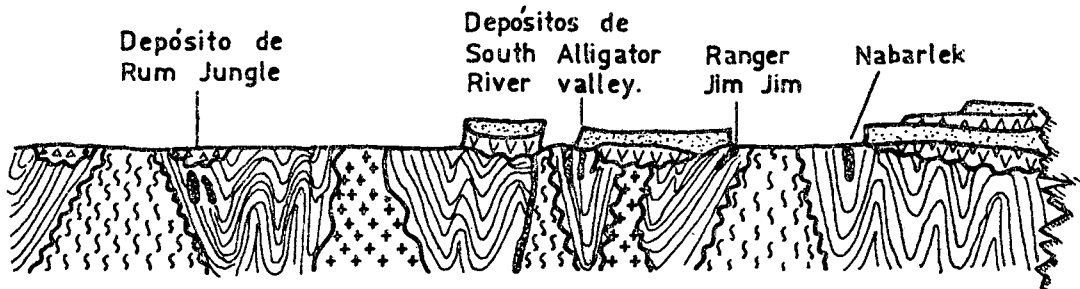
Corte de la pegmatita uranífera de la mina "Angel" (Prov. de Córdoba), según Cabeza y Soto. 1-Esquistos cristalinos; 2-Pegmatita; 3-Bolsón uranífero; 4-Cuarzo; 5-Relleno moderno.

FIG. Nº 5

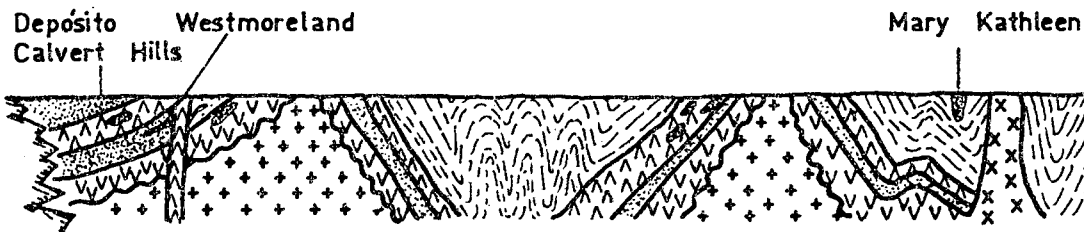


Región de Radium Hill.

FIG. Nº 6



Región de Alligator Rivers.



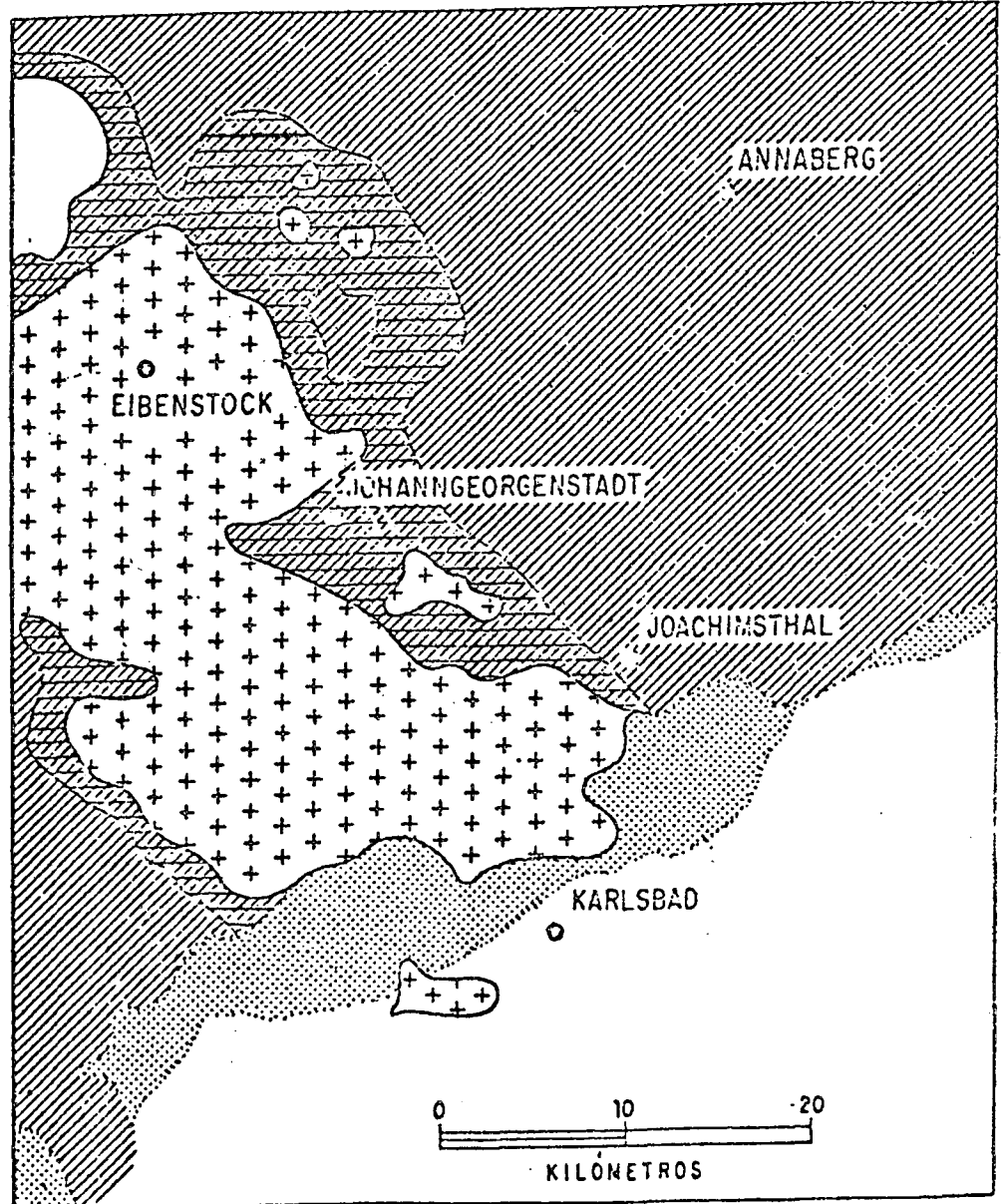
Región de Westmoreland.

REFERENCIAS.

- | | | | |
|--|---------------------------|--|---------------------|
| | PROTEROZOICO. | | ARENISCA, ETC. |
| | ARQUEOZOICO. | | TERCICO. |
| | ROCAS GRANÍTICAS. | | MESOZOICO. |
| | ROCAS METAMÓRFICAS. | | BRECHA. |
| | ROCAS SEDIMENT. PLEGADAS. | | DEPOSITO DE URANIO. |
| | VULCANITAS. | | DISCORDANCIA. |

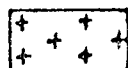
GEOLOGÍA DEL DISTRITO URANÍFERO JOACHIMSTHAL CHECOSLOVAKIA

FIG. N°7



 ROCAS MAS VIEJAS
QUE EL GRANITO

 AUREOLA DE CONTACTO

 GRANITO


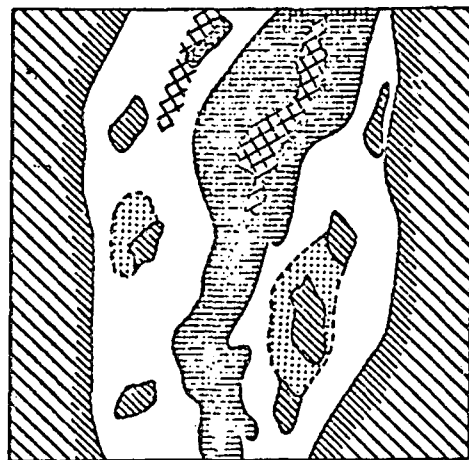
 ROCAS MAS JÓVENES
QUE EL GRANITO

FIG. Nº 8

PARTE RICA (1 METRO DE ESPESOR)
DE LA VETA ST. JOACHIMSTHAL
SEGÚN JAFFÉ; DE H. SCHNEIDERHÖHN

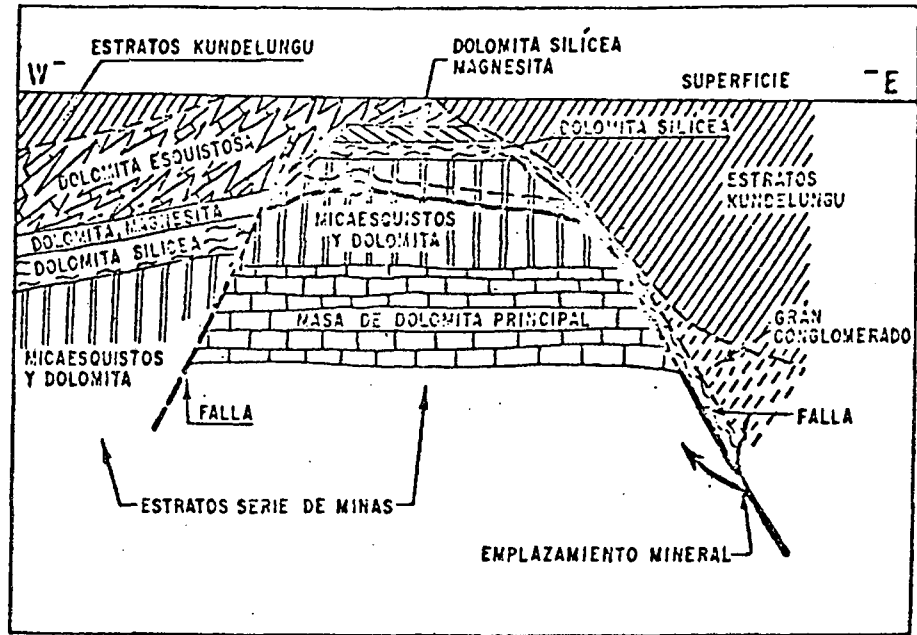


	DOLOMITA		CUARZO
	PECHBLENDA		ESQUISTO SILICIFICADO
	PIRITA		MICAESQUISTO

DEPOSITO SHINKOLOBWE, SECCIÓN LONGITUDINAL, CON INDICACIÓN DEL MOVIMIENTO DE SOLUCIONES URANÍFERAS

(SEGÚN DERRIKS Y VAES, 1956)

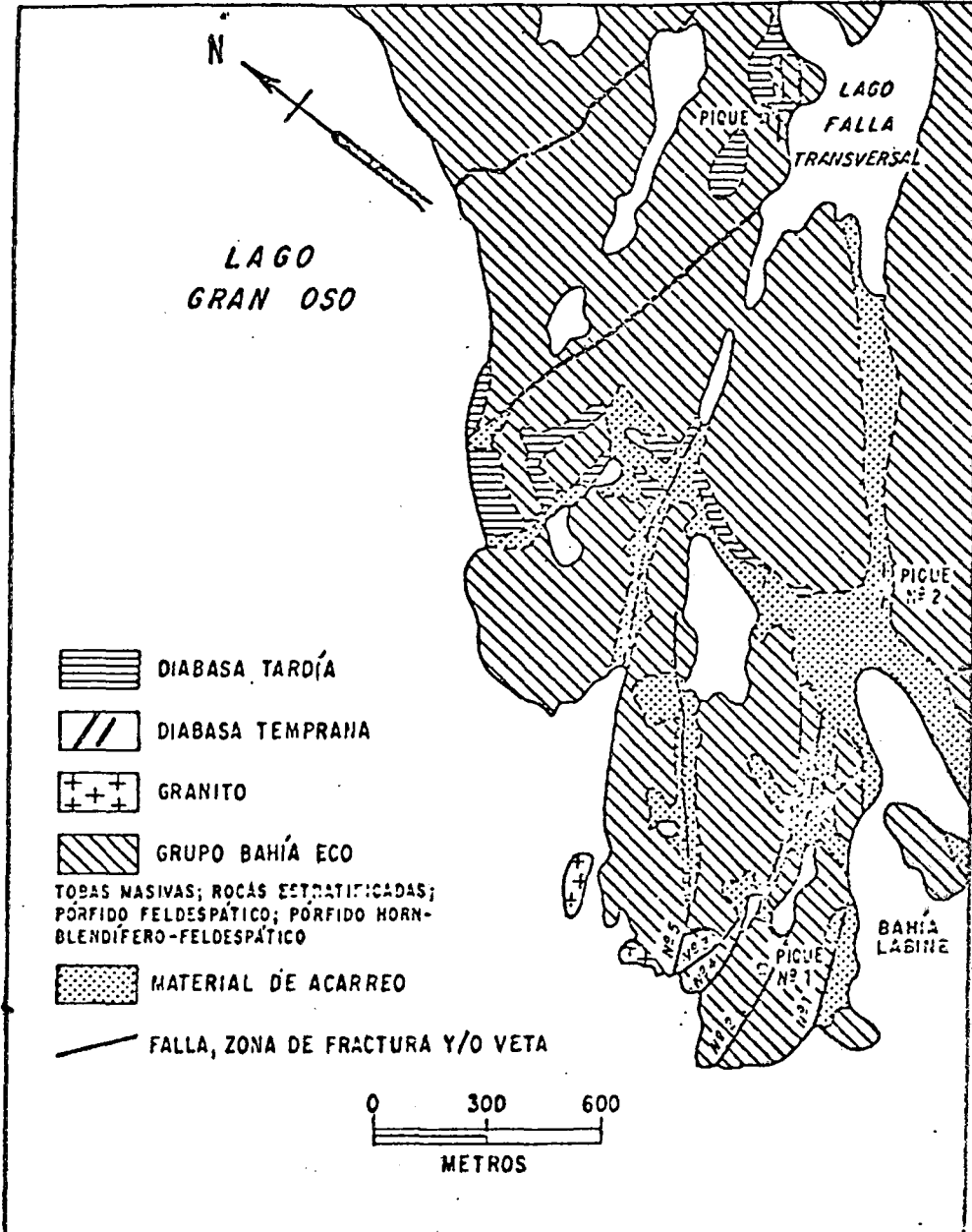
FIG. Nº 9



MINA ELDORADO Y VECINDAD LAGO GRAN OSO
TERRITORIO NOROESTE, CANADA'

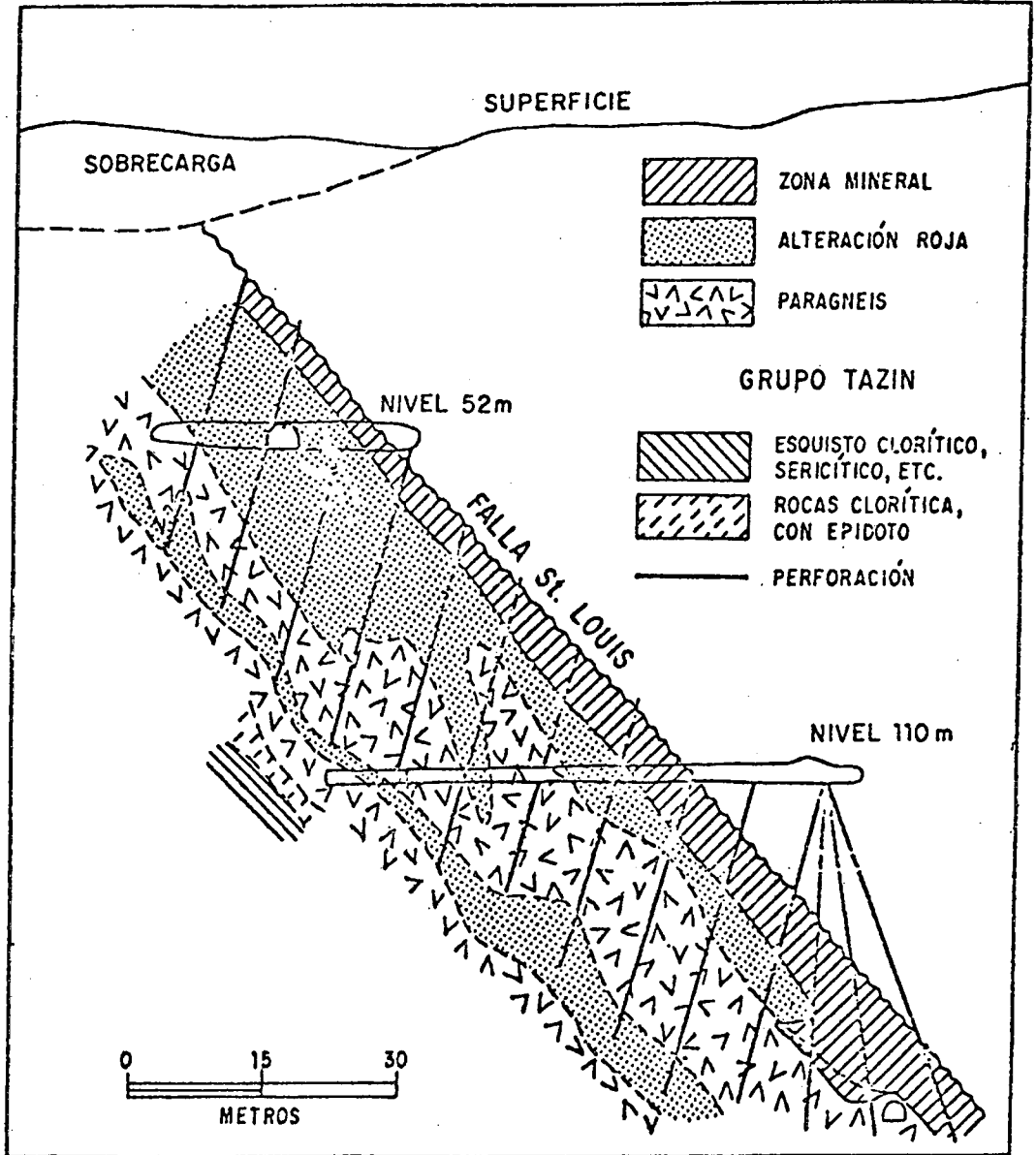
(SEGÚN MAPA DE JOLLIFFE y BATEMAN, 1944 y LANG, 1952 DE KERR 1955)

FIG. Nº 10



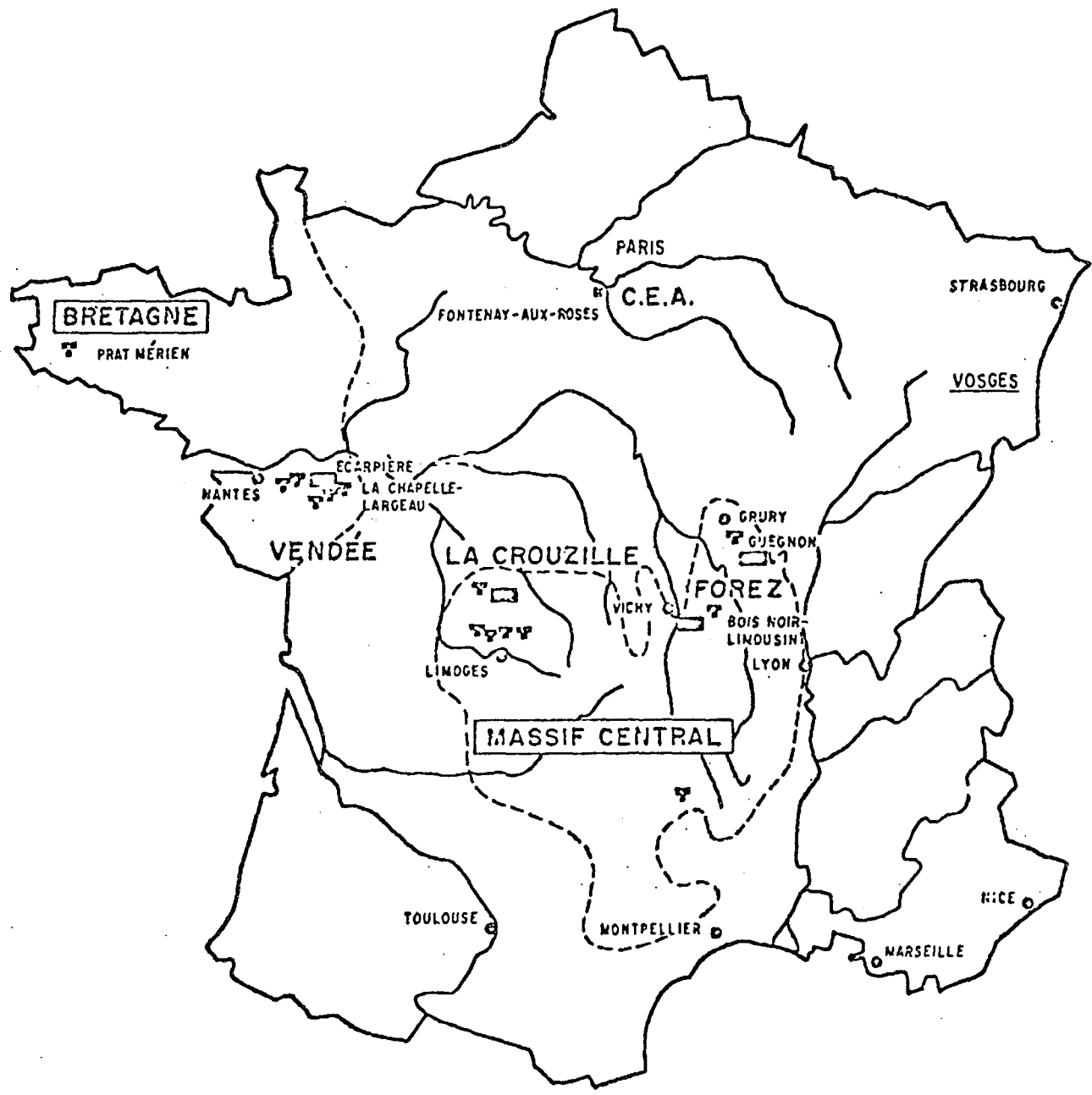
CORTE VERTICAL MINA ACE SASKATCHEWAN, CANADÁ

FIG. Nº 11



(SEGÚN R. B. ALLEN, ELDORADO MINING AND
REFININ (1944) LIMITED, LANG 1952, DE KERR 1955)

UBICACIÓN DE LAS ÁREAS URANÍFERAS DE FRANCIA



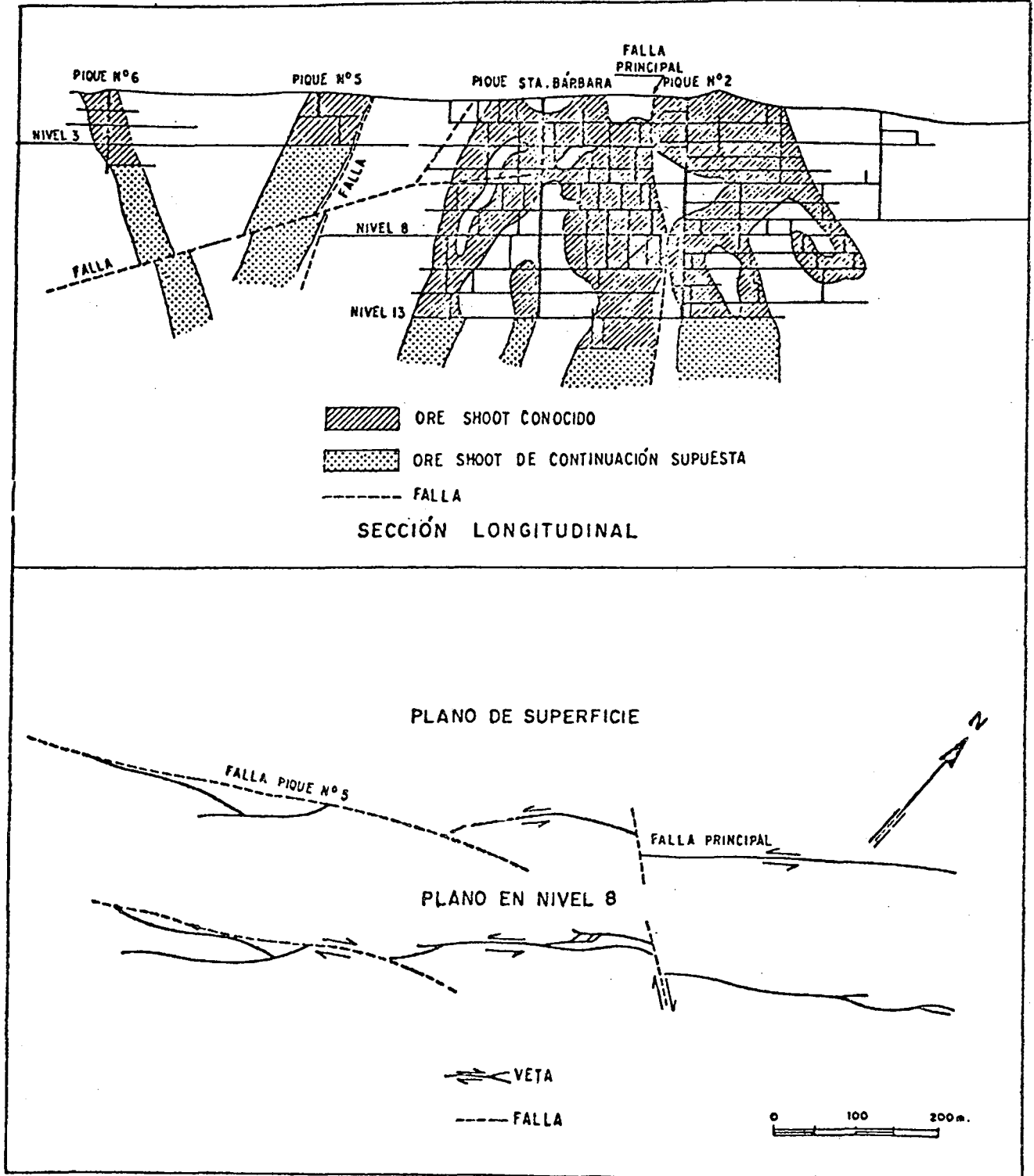
--- LÍMITE DE MACIZOS T YACIMIENTO [] PLANTA TRATAMIENTO DE MINERAL

II-4-39

MINA URGEIRIÇA

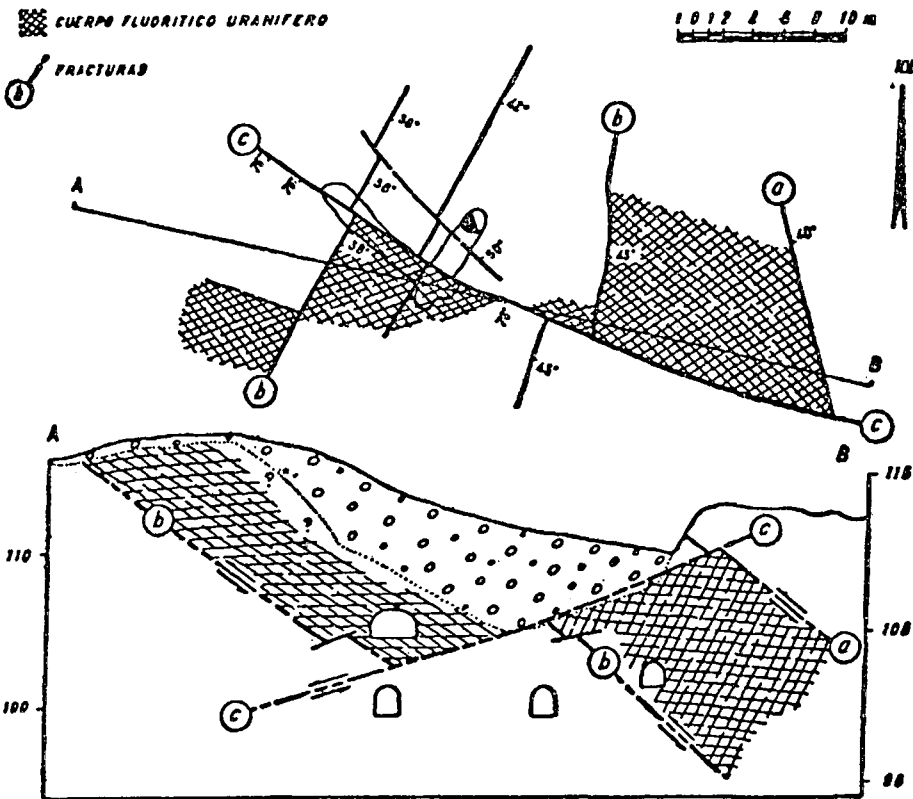
SECCION LONGITUDINAL Y PLANTAS MOSTRANDO DISTRIBUCIÓN DE ORE SHOOT Y PRINCIPALES ESTRUCTURAS, Según CAMERON (1960)

FIG. Nº13

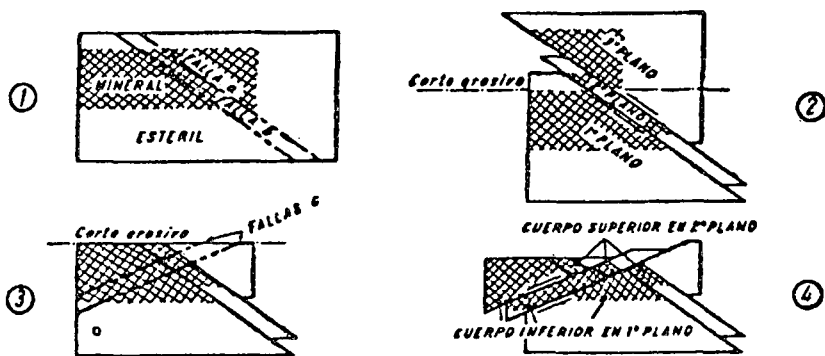


C.N.E.A.
DISTRITO URANIFERO COMECHINGONES OCCIDENTAL

FIG. Nº 14



MECANICA DE LOS ACCIDENTES POSTMINERALES
PERFILES ESQUEMATICOS



BIBLIOGRAFIA

- ANGELELLI, V., 1969. Principales tipos de yacimientos uraníferos mundiales. 2. a) Vetiformes. Curso Reg. Capacitación en la Prospección del Uranio. CNEA.
- AVILA MARTINS, J. 1959. Hematitização e alteração ferruginosa no granito das Beiras; sua relação com ocorrências de uranio, Junta de Energia Nuclear. Lisboa-Portugal.
- AYRES D. and EADINGTON P., 1975. Uranium mineralisation in the South Alligator River Valley. Sydney-Australia.
- DAHLKAMP, F. Geochronologic-metallogenetic correlation of uranium mineralisation. Uranerzbergbau-Bonn-Alemania Federal.
- DE ANDRADE RAMOS y M. FRAENKEL, 1974. Principais ocorrências de uranio no Brasil. Boletim nº12 - C.N.E.N. - R. Janeiro-Brasil.
- GEFFROY, J. et SARCIA, J., 1960. Essai d'une classification des gîtes uraníferes filoniens. Centre d'Études Nucleaires de Saclay- C.E.A.-Francia.
- GORSKY, V. - GORSKY, E., 1974. Contribuição a mineralogia e petrografia do Planalto de Poços de Caldas. Boletim nº12- C.N.E.N.- R. de Janeiro-Brasil.
- HEINRICH, E.W., 1966. Mineralogía y Geología de las Materias Primas Radiactivas. Ed. Omega. Barcelona-España.
- LUCERO, H., DIEZ, J. y NOYA, J., 1974. Los depósitos uraníferos de las Sierras Pampeanas (Prov. de Córdoba y S. Luis) Rep. Argentina. V Congreso Geológico Argentino. C. Paz-Córdoba.
- MENDES, J. e SANCHES HURTADO. 1961. Contribuições para o conhecimento dos minerais de urânio portugueses. Junta de Energia Nuclear. Lisboa-Portugal.
- RODRIGO, F., 1978. Misión a Brasil. Visita a las instalaciones de NUCLEBRAS en Poços da Caldas y Río de Janeiro. CNEA.
- ROUBAULT Met al., 1962. Les minerais uraníferes francais et leurs gisements Institut National des Sciences et Techniques Nucleaires. Saclay-Francia.
- SORENSEN, H., 1975. Features of the distribution of uranium in igneous rocks-uranium deposits associated with igneous rocks. Viena-Austria.
- SOUTH A. URANIUM IN AUSTRALIA, 1972. Australian Atomic Energy Commission.

I N D I C E

I.	INTRODUCCION	pág. II.4.1
II.	COMPORTAMIENTO DEL URANIO EN LOS PROCESOS DE DIFERENCIACION MAGMATICA	" II.4.1
III.	LAS ASOCIACIONES MINERALOGICAS URANIFERAS CONSIDERADAS COMO DEPOSITOS	" II.4.3
IV.	DEPOSITOS PIROMETASOMATICOS	" II.4.3
V.	DEPOSITOS PEGMATITICOS	" II.4.5
VI.	DEPOSITOS HIPOTERMALES	" II.4.8
VII.	DEPOSITOS MESOTERMALES	" II.4.10
VIII.	DEPOSITOS EPITERMALES	" II.4.17
-	FIGURA N° 1	" II.4.28
-	FIGURA N° 2	" II.4.29
-	FIGURA N° 3	" II.4.30
-	FIGURA N° 4	" II.4.31
-	FIGURA N° 5	" II.4.32
-	FIGURA N° 6	" II.4.32
-	FIGURA N° 7	" II.4.33
-	FIGURA N° 8	" II.4.34
-	FIGURA N° 9	" II.4.35
-	FIGURA N° 10	" II.4.36
-	FIGURA N° 11	" II.4.37
-	FIGURA N° 12	" II.4.38
-	FIGURA N° 13	" II.4.39
-	FIGURA N° 14	" II.4.40
-	BIBLIOGRAFIA	" II.4.41



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION
PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION
DE YACIMIENTOS URANIFEROS**

CNEA-AC-12/78

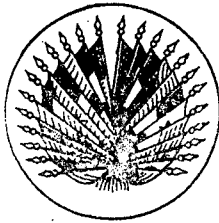
II. YACIMIENTOS URANIFEROS

4. PRINCIPALES TIPOS
DE YACIMIENTOS
URANIFEROS MUNDIALES
- b) CON CONTROL SEDIMENTARIO.
DESCRIPCION Y GENESIS.

PEDRO N. STIPANICIC

ATOMIC ENERGY ORGANIZATION OF IRAM Y
ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS DE LA REPUBLICA ARGENTINA

BUENOS AIRES
OCTUBRE 1978



CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION DE YACIMIENTOS URANIFEROS

CONFERENCIA II-4

PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS URANIFEROS

MUNDIALES

b) (CON CONTROL SEDIMENTARIO. DESCRIPCION Y GENESIS)

PEDRO N. STIPANICIC

ATOMIC ENERGY ORGANIZATION OF IRAM Y
ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS DE LA REPUBLICA ARGENTINA

1. INTRODUCCION

Una gran proporción de los yacimientos uraníferos mundiales que están en etapa productiva se originaron según el esquema que se ilustra en el Cuadro 1.

Las rocas huéspedes que incluyen estos depósitos exogénicos (supergénicos) pueden ser de cualquier naturaleza (ígneas, metamórficas, sedimentarias), siempre que ofrezcan características favorables para permitir la concentración del uranio.

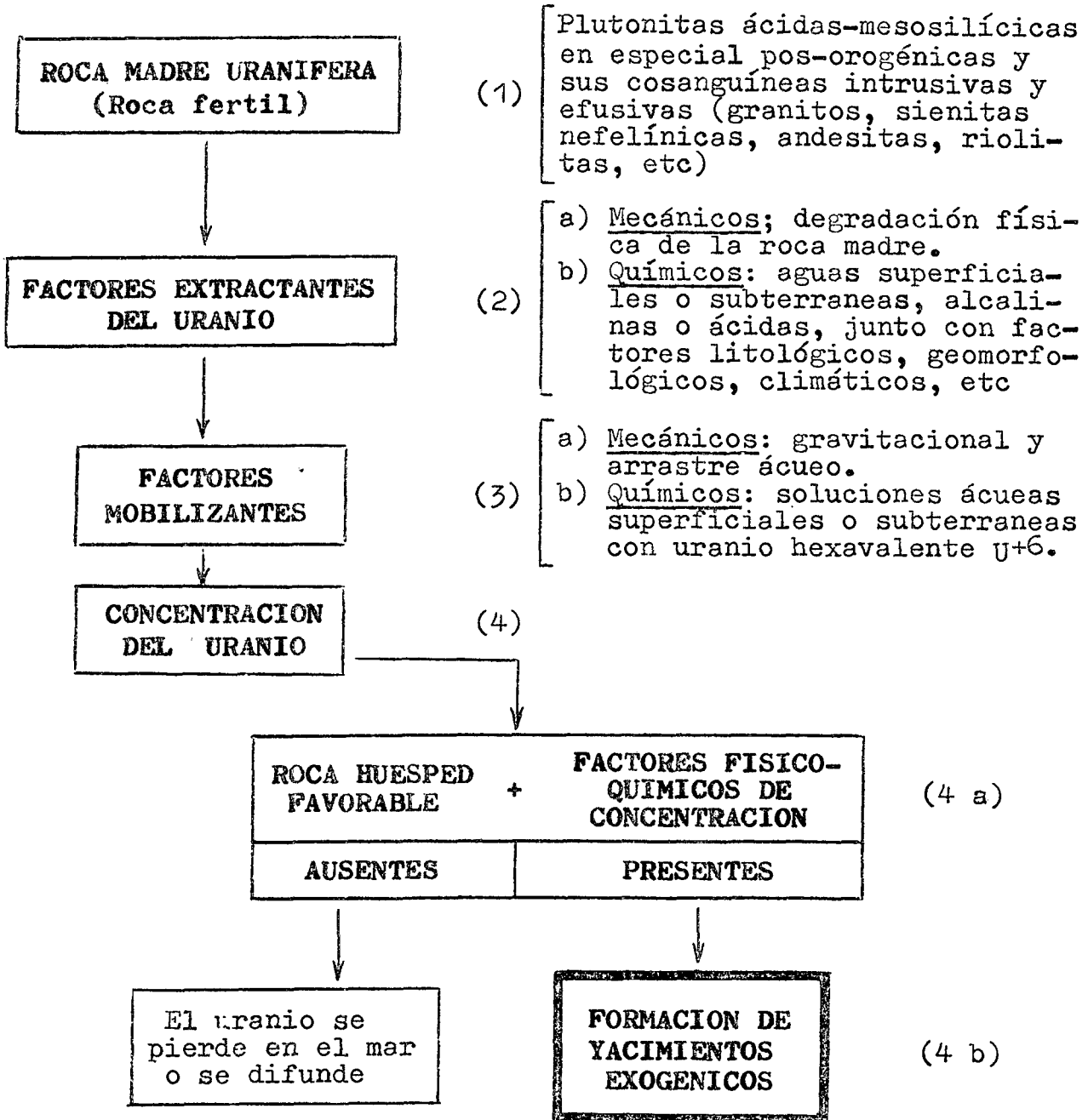
Sin embargo, estas condiciones son más comunes de encontrar en el seno de rocas sedimentarias o en el contacto de éstas con otras impermeables, y es por ello que más del 90 % de los recursos uraníferos de este tipo se vinculan con formaciones clásticas y menos del 10 % aparecen en zonas especiales dentro de ambientes cristalinos o metamórficos, adoptando a veces la morfología y ciertas características de yacimientos vetiformes o de "stockworks".

Por dichos motivos, estos últimos fueron considerados en un tiempo como hidrotermales hipógenos, lo mismo que algunos de los de neto carácter estratiforme, a pesar de no existir argumentos serios en favor de tales ideas.

Si bien todos estos depósitos tienen la misma génesis, ha sido costumbre tratar a los incluidos en ambientes cristalinos y con "aspecto vetiforme" o de "stockworks" por separado con respecto de aquellos que se alojan en o se relacionan con rocas sedimentarias.

En el presente capítulo se considerarán a éstos últimos, los que hasta hace poco integraban la gran mayoría de los recursos uraníferos mundiales,

**CUADRO 1. YACIMIENTOS URANIFEROS EXOGENICOS
MECANICA DE SU FORMACION**



proporción que luego se redujo un tanto con la entrada del cuerpo alaskítico de Rössing Mine (Sudáfrica) y de los nuevos depósitos de Australia, los que salvo excepciones no responden al proceso genético en cuestión.

Por lo indicado en el Cuadro 1, se desprende que para permitir la formación de estos yacimientos exógenos deben cumplirse las siguientes condiciones básicas:

- i) Disponibilidad de fuentes originales de aporte de uranio (rocas fértiles)
- ii) Existencia de factores físicos y/o químicos adecuados para efectuar la extracción del uranio de sus fuentes originales y su posterior movilización.
- iii) Presencia de rocas huéspedes favorables y de condiciones físico-químicas adecuadas para permitir la concentración del uranio.

A los efectos de facilitar la comprensión del tema, algunos de estos factores serán tratados ahora en forma sucinta, a pesar de que luego otros autores lo harán con mayor detalle.

Antes de comenzar con el desarrollo del mismo, se estima conveniente hacer una sugerencia general, sobre todo teniendo en cuenta que este curso está destinado a colegas que deben iniciarse -o que lo han hecho hace poco-, en la exploración uranífera y que pueden llegar a una total confusión cuando se contacten con la literatura existente desde hace 30 años.

Dado el rápido avance de los conocimientos sobre la génesis de los yacimientos exogénicos, se recomienda el uso preferencial de las nuevas ideas que al respecto están contenidas en numerosos trabajos incluidos en los paneles propiciados ad hoc por la Agencia Internacional de Energía Atómica a partir de 1970.

En el mismo sentido, se sugiere tomar conocimiento de algunas publicaciones anteriores, cuando varios autores, a pesar de existir elementos de juicio opuestos, querían seguir sosteniendo el origen hidrotermal de algunos depósitos minerales (en especial de cobre-uranio), basándose en presuntas paragénesis hipógenas que luego se demostraron no eran correctas; en la supuesta participación mineralizante de intrusiones plutónicas, las que resultaron ser anteriores a la formación de las menas a la vez que algunas de sus reputadas apófisis magmáticas eran meras arcosas recristalizadas.

Al respecto, se recomienda la lectura de los dos trabajos sucesivos de Derrick & Vaes (UN, 1956) y de Derrick & Oosterbosch (UN, 1958) sobre el cinturón urano-cuprífero del Zaire (ex Congo Belga), para observar como algunos de los principales argumentos que se citaron en el primero de ellos para soportar su origen hidrotermal y cierto tipo de paragénesis debieron ser descartados dos años después, aunque sorprendentemente no se dejó de apoyar la línea hipogénica.

En sentido opuesto, se sugiere consultar la magnífica interpretación de Garlick (1972), quien demostró como meros factores sedimentarios y ambientales explican sencillamente la mineralización del cinturón cuprífero de Zam-

bia (paralelo y cercano al del Zaire), el cual también incluye mineralizaciones uraníferas y que por muchos años fue considerado como de origen hidrotermal, a pesar de las sabias opiniones en contrario que ya había expuesto Schneiderhöhn en 1932.

Sobre otro tema algo controvertido -el origen de los yacimientos de uranio de los conglomerados eoprecámbricos de Sudáfrica y Canadá-, hay una objetiva síntesis de Patrolius (1975) sobre los primeros de ellos, cuyos datos en muchos casos pueden aplicarse a los otros.

2. LAS FUENTES ORIGINALES DE SUMINISTRO DE URANIO (Rocas fértiles)

2.1. LOS CICLOS GEOLOGICOS Y LAS PROVINCIAS PETROGRAFICAS Y METALOGENICAS

En el pasado geológico, el origen del uranio debe buscarse en las primeras rocas magmáticas de la corteza terrestre, donde el mismo debió aparecer como minerales singenéticos distribuidos homogéneamente.

Pero no bien las condiciones del planeta permitieron la iniciación de los grandes ciclos geológicos, dicha distribución fue cambiando en forma sucesiva, para terminar presentando una repartición heterogénea, dando lugar a "provincias uraníferas" y otras que no lo son.

Cada uno de los ciclos geológicos comprende tres etapas principales, en las cuales el uranio participó en diferentes formas (Cuadro 2).

2.2. LA DISTRIBUCION DEL URANIO DURANTE LAS ETAPAS DE LOS CICLOS GEOLOGICOS

Dos etapas revisten importancia en la redistribución del uranio: la orogénica y la gliptogénica.

2.2.1. EL URANIO EN LA ETAPA OROGENICA

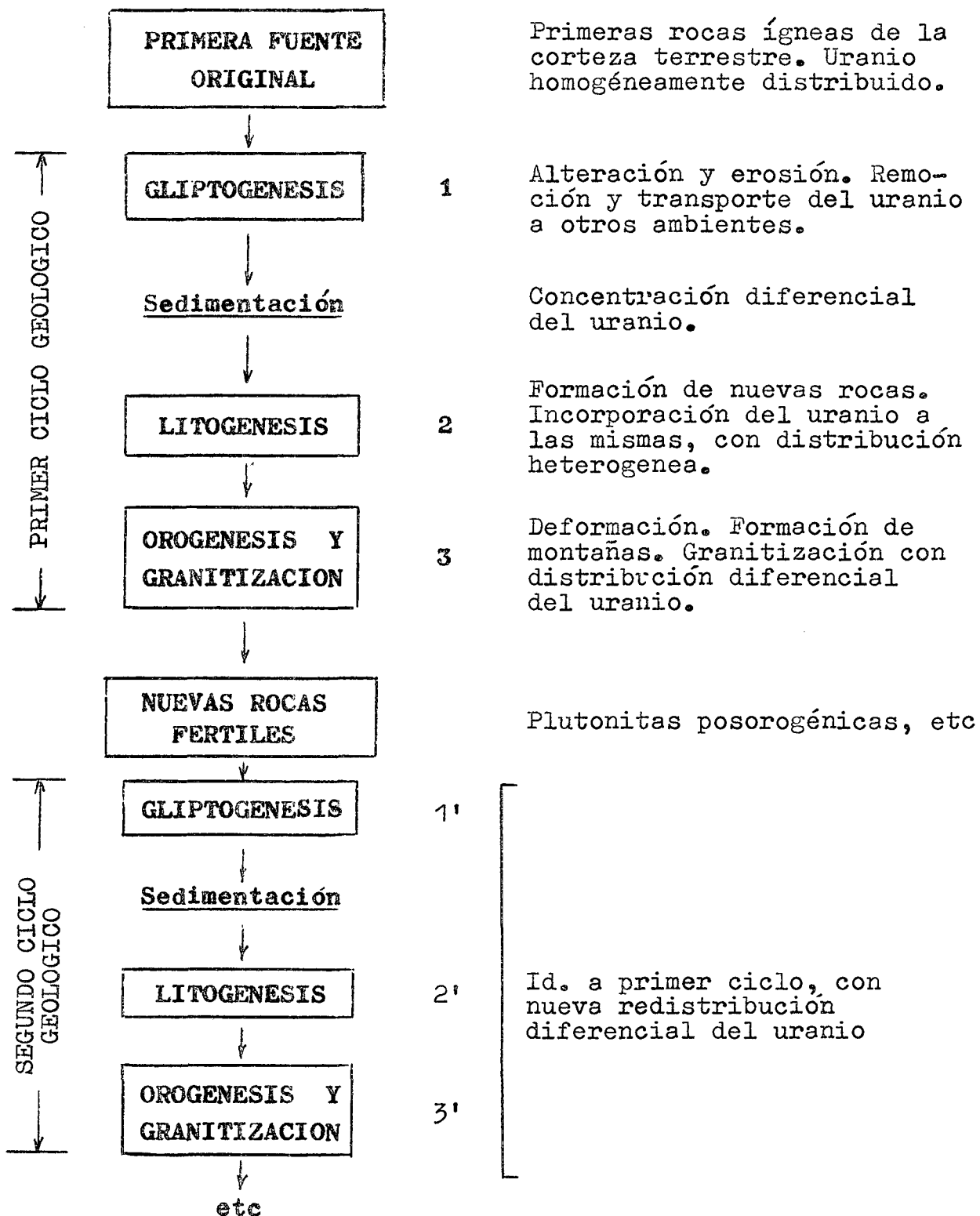
En cada etapa orogénica se reconocen 4 fases principales, de las cuales 3 contribuyen a la distribución heterogénea del uranio en la corteza terrestre.

Fase 1. Preorogénica. Sedimentación clástica fina en los geosinclinales, granitización por anatexis en las partes profundas de los mismos, originándose granitos o granodioritas densas de tipo alcalino incipiente. En los ejes de los geosinclinales se forman en profundidad rocas básicas, produciéndose un vulcanismo ofiolítico.

Fase sin ningún interés uranífero.

Fase 2. Cataorogénica. Primera etapa en la formación de montañas, cuyos plegamientos iniciales son destruidos por la erosión, la cual aporta materiales gruesos a los geosinclinales, donde la granitización por anatexis produce granitos sinorogénicos, por lo general alcalinos y de menor densidad que los preorogénicos y con diferenciaciones en sus bordes, donde pueden producirse depósitos pegmatíticos y vetiformes, con tierras raras, casiterita, wolframita, etc y a veces algo de uranio.

CUADRO 2. EL URANIO EN LOS CICLOS GEOLOGICOS



Fase poco favorable para incluir yacimientos magmáticos singenéticos de uranio, pero de más interés por la aparición de masas plutónicas como fuentes de aporte original de uranio a los agentes de remoción.

Fase 3. Epeirogénica. Segunda etapa en la formación de montañas, por ascensos in toto. La frantización por anatexis forma rocas más livianas aún y ricas en feldespatos alcalinos (granitos postectónicos), los que son seguidos por otros más alcalinos y finalmente por los sódico-potásicos.

Gran parte de las mineralizaciones metalíferas hipogénicas (incluidas las uraníferas) se vinculan con esta fase a la vez que sus plutonitas constituyen las mejores fuentes originales para el suministro de uranio a los agentes de remoción.

Fase 4. Póstuma. Desarrollo de grandes bloques por fallamiento, con efusiones fisurales basálticas.

Pase sin interés para la formación de yacimientos uraníferos hipógenos pero de gran importancia en otro sentido, pues permite que extensas áreas cristalinas cata y epeirogénicas sean expuestas a la meteorización y erosión, favoreciendo así la remoción del uranio.

Durante el transcurso de la etapa orogénica se produce un incremento en el contenido de uranio por efectos de la diferenciación magmática y el mismo se va asociando selectivamente con los productos más ácidos, como resulta de los siguientes valores sobre su abundancia media en rocas ígneas:

<u>Composición</u>	<u>Plutonitas</u>	<u>Efusivas</u>
Básica	0,2 ppm U	0,8 ppm U
Mesosilícica	2 " "	6 " "
Acida	5	15

Aún dentro de los procesos de granitización cata y epeirogénicos, algunas rocas se muestran más favorables para la concentración diferencial del uranio:

- i) "Granitos" calci-alcalinos (desde granodioritas hasta dioritas cuarcíferas). Si bien pueden producir mineralizaciones variables y a veces depósitos metasomáticos, no ofrecen mayor interés uranífero.
- ii) Granitos alcalinos (sódicos o potásicos), con frecuentes pegmatitas portadoras de tierras raras, algo de uranio, etc. De escaso interés uranífero.
- iii) "Granitos" posbatolíticos alcalinos e intrusivas y efusivas asociadas, como sienitas nefelínicas, verdaderos granitos, andesitas alcalinas, riolitas, tobas, etc.

En esta etapa se hacen frecuentes los depósitos polimetálicos, incluyendo los uraníferos vetiformes. Pero esta etapa es también la más importante al brindar las mejores rocas fértiles para suministrar abundante

uranio a los agentes de remoción.

2.2.2. LAS ROCAS FERTILES FINALES

Ya quedaron definidas cuales son las rocas fértiles capaces de brindar uranio y es justamente en el ámbito de su influencia donde deben encontrarse las condiciones más favorables para la formación de yacimientos exogénicos con control sedimentario o sedimentario-estructural.

Por "ámbito de influencia" se entiende toda el área de desarrollo de las rocas fértiles en superficie y en profundidad y el ambiente que rodea al anterior, pues el uranio en su forma hexavalente es un elemento muy móvil y su migración puede producirse a grandes distancias, por etapas repetidas de lixiviación-mobilización-acreción.

A los efectos de tener una idea sobre la posible disponibilidad de uranio a partir de las rocas fértiles, se derán los montos a obtenerse para algunos volúmenes unitarios de las mismas y para los casos de que dicho metal sea extraído por vía mecánica o química.

Con la remoción mecánica, todo el uranio es liberado, pero por extracción química sólo se obtiene una parte de él y hasta cierta profundidad. En tal sentido, se considerará que un bloque de superficie unitaria liberará aproximadamente la misma cantidad de metal hasta 10 m de profundidad por vía mecánica que otro de hasta 50 m, por lixiviación.

Ambos valores son compatibles con dos factores. Por un lado, con los procesos de erosión o con el de alteración oxidante (respectivamente) que se pueden producir en un lapso de 1.000.000 de años⁽¹⁾, p.ej. Por otro, con los coeficientes de extracción química determinados para ciertos granitos (Brown et al. 1953; Hurley, 1950), como los hercínicos de Limousin y Vandée, Francia (cerca de los yacimientos uraníferos), que frescos poseen 19 ppm U, a 15 m de profundidad 14 ppm U y en superficie sólo 7 ppm U, de manera que un bloque de 1 km² de superficie y 20 m de espesor liberó 600 t U (cf. Magne et al, IAEA, 1974). Los granitos frescos de Urgairiça (Portugal), acusan 45 ppm U y 20-25 ppm Th y los alterados 31 ppm U pero siempre el mismo contenido en Th: 20-25 ppm Th, dando un coeficiente de extracción del 25 %.

En el Cuadro 3 se indican las cantidades de uranio que quedarían liberadas en las condiciones que arriba se mencionan a partir de bloques cristalinos de 1 km² de superficie, de 10.000 km² (100 x 100 km), muy frecuentes en cualquier parte del mundo; de 100.000 km² (200 x 500 km), no tan raras y de 1.000.000 km², como las que existen en los escudos viejos de Norte y Sudamérica, Africa, Asia y Australia.

Desde un principio resalta un hecho importante a destacar: el 90 % de las reservas uraníferas contenidas en depósitos exogénicos se localizan dentro del "área de influencia" de los grandes macizos precámbricos del mundo

⁽¹⁾ Hay buenos ejemplos, dentro de provincias uraníferas, que demuestran que la remoción del uranio a partir de las rocas fértiles puede cumplirse en intervalos mucho más cortos.

CUADRO 3. CANTIDADES TOTALES DE URANIO QUE PUEDEN SER LIBERADAS (1)

ROCAS	Contenido ppm U por ton	CANTIDAD TOTAL DE URANIO (t U)			
		SUPERFICIES UNITARIAS (km ²)			
		1	10.000	100.000	1.000.000
Graníticas normales	5	125	1.250.000	12.500.000	125.000.000
Graníticas ricas en U	10	250	2.500.000	25.000.000	250.000.000
Efusivas normales	15	375	3.750.000	37.500.000	375.000.000
Efusivas ricas en U	30	750	7.500.000	75.000.000	750.000.000

(1) Por vía mecánica hasta 10 m de profundidad; por vía química (lixiviación) hasta @ 50 m.

y el resto lo hace con los núcleos hercínicos o con los ambientes ígneos más jóvenes.

Se evidencia, por ende, que el factor "tiempo geológico" reviste un rol fundamental en la favorabilidad de las fuentes de aporte.

2.2.3. EL URANIO EN LA ETAPA GLIPTOGENICA

Esta etapa es la más importante de todas, pues es la que contribuyó en mayor escala a controlar la distribución secundaria y heterogénea del uranio en la corteza terrestre, fenómeno que se puede canalizar según tres vías:

- i) en la formación de yacimientos uraníferos preservables y aprovechables.
- ii) en su incorporación diferencial en rocas que luego participarán en los procesos de granitización, posibilitando una distribución heterogénea del mismo en las nuevas rocas ígneas, algunas de las cuales pasan a ser las mejores fuentes de suministro de dicho metal a los agentes de remoción.
- iii) en la pérdida total del uranio extraído de una provincia metalogénica, cuando no se encontraron condiciones favorables para su concentración.

2.2.3. LA DISTRIBUCION ACTUAL DEL URANIO EN LA CORTEZA TERRESTRE

El contenido medio de uranio en la corteza terrestre (incluyendo los océanos) es de 2 ppm U, con la siguiente distribución:

Aguas oceánicas	2 ppb U
Barros sapropélicos de fondos marinos	2 ppm U
Corteza rocosa	4 ppm U

Su abundancia media en las rocas ígneas ya se indicó y el contenido medio en las sedimentarias es el siguiente:

Calcáreos	1-3 ppm U
Areniscas	0,5 ppm U
Lutitas	4 ppm U
Lutitas bituminosas	20-30 ppm U

3. EXTRACCION DEL URANIO DE LAS FUENTES ORIGINALES

3.1. LOS PROCESOS BASICOS DE EXTRACCION

En la mayoría de las fuentes singenéticas primitivas, el uranio está contenido entre los minerales accesorios (xenotima, circón, monacita y allanita) y en menor proporción aparece con sus propios minerales, a veces asociado con Th (uraninita, thorita, thorianita, brannerita, euxenita, etc). En los depósitos de diferenciación magmática, se lo encuentra como uraninita, pechblenda, coffinita, etc y en todos los casos mencionados está presente en su forma uranosa (U⁺⁴), integrando el grupo de los minerales pesados.

Pero el U^{+4} (no contenido en minerales refractarios), se transforma con mucha facilidad en hexavalente (uranílico) por la acción de agentes oxidantes y por lo común, sus minerales con U^{+6} son muy solubles en aguas naturales, levemente alcalinas o moderadamente ácidas (pH-9-10 para las primeras y pH 3 para las segundas).

Uno de los oxidantes más efectivos es el ion férrico (Fe^{+3}) y por lo general, el hierro está presente en las rocas ígneas en cantidades adecuadas como para oxidar a todo el uranio no refractario contenido en las mismas. El hierro original de estas rocas se encuentra casi siempre bajo la forma ferrosa (Fe^{+2}), pero el mismo se oxida con toda facilidad por la acción de varios agentes, dando origen al ion férrico (Fe^{+3}), el cual permite la oxidación del U^{+4} y su pase a U^{+6} favoreciendo su solubilización, de acuerdo con el esquema del Cuadro 4. Otro elemento muy común y que también facilita la oxidación del U^{+4} es el Mn.

La remoción del uranio de los niveles superficiales de la corteza puede producirse por la acción de factores:

- i) Climáticos, que oxidan al hierro y el Fe^{+3} al U^{+4} , permitiendo que el U^{+6} sea solubilizado por las aguas circulantes cargadas con CO_2 atmosférico, el cual en ambientes oxigenados permite la formación de los iones solubles $UO_2.(CO_3)_2^{-2}$ y $UO_2.(CO_3)_3^{-4}$.
- ii) Biológicos
 - a) Vegetación terrestre comófitas, capaz de producir en casos especiales condiciones de fuerte acidez (ácidos húmicos), aún por debajo de pH 3, que permiten la lixiviación del uranio.
 - b) Bacterias heterótrofas, que oxidan el $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$ y éste al U^{+4} , facilitándose la lixiviación de U^{+6} originado por la producción adicional del ion sulfúrico a partir del azufre de las piritas (cf. Magne et al., IAEA, 1974).

Además de la extracción química del U^{+4} a partir de las rocas fértiles, el mismo puede ser removido por acción mecánica y en éste caso se pueden producir las siguientes alternativas, de acuerdo con la composición de los minerales presentes:

Los refractarios, por ser pesados, pasan a formar placeres.

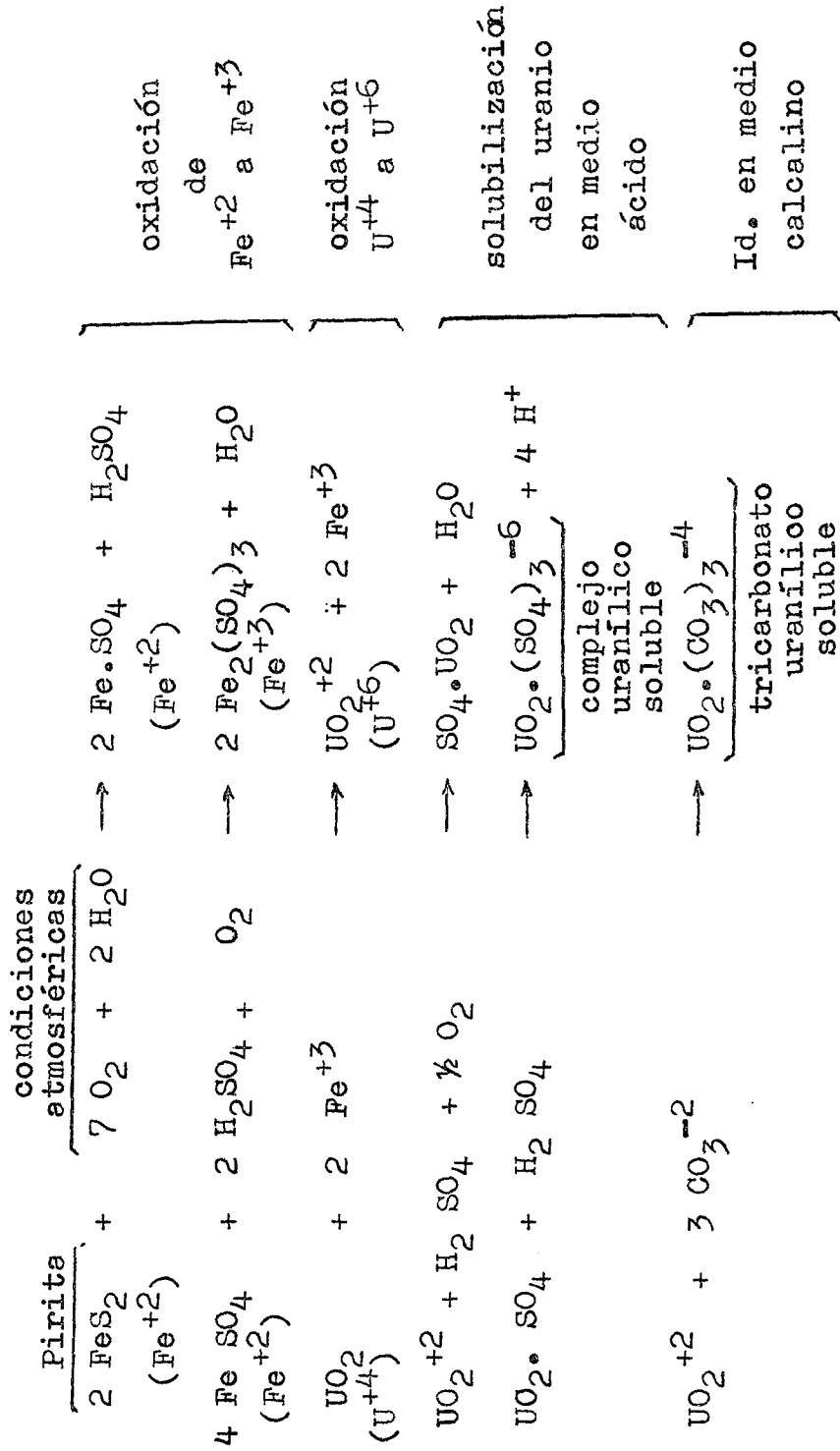
Los no refractarios sólo pueden hacerlo bajo condiciones ambientales reductoras, pero por lo general son oxidados de acuerdo con el esquema antes indicado (aún de mediar una etapa detrítica temporaria) y el U^{+6} se solubiliza y moviliza.

3.2. LOS FACTORES DE EXTRACCION

Numerosos factores pueden contribuir a la remoción del uranio de sus fuentes originales y cuando actúan los de carácter mecánico, su extracción es total.

En la remoción por vía química, el rendimiento en la solubilización

CUADRO 4. OXIDACION Y SOLUBILIZACION NATURAL DEL URANIO



del uranio depende en mucho de la acción combinada de varias condiciones, las cuales, de hacerlo en forma individual, serían poco o nada efectivas.

Los principales factores que contribuyen a favorecer la disponibilidad del uranio a partir de las fuentes originales son los siguientes:

3.2.1. LITOLOGIA (COMPOSICION) DE LA ROCA FERTIL

Es un factor obvio que sólo merece algunos comentarios, en especial para el caso de la extracción por vía química.

- i) Cuanto más alto es el contenido en uranio de una roca fértil, mayores posibilidades de extracción pueden esperarse.
- ii) Los más altos rendimientos se obtienen cuando abundan los minerales no refractarios.
- iii) La presencia del Fe es necesaria para la oxidación del U^{+4} , y por ende su solubilización y movilización.
- iv) En líneas generales, cuanto más antigua sea una roca fértil, mejores rendimientos de extracción pueden esperarse (posibilidad de su meteorización en varias etapas).

3.2.2. GEOMORFOLOGIA (DEL AMBIENTE DE LAS ROCAS FERTILES)

Extensas peneplanicies favorecen la extracción del uranio por vía química-atmosférica (aguas corrientes ácidas o alcalinas actuando sobre superficies alteradas), especialmente cuando aquellas planicies muestran cierta altitud topográfica como para favorecer el escurrimiento de las aguas fértiles hacia las partes bajas del relieve (Stipanovic, en IAEA, 1970; Premoli, 1976).

Una topografía abrupta ayuda en general a la degradación física de las rocas madres bajo condiciones de climas cálidos áridos o semiáridos y los minerales pesados tienden a concentrarse en las partes bajas del relieve, pero los no refractarios se oxidan y el uranio entra en solución y es movilizado.

Si bajo la misma topografía reinan condiciones de mayor humedad, la extracción química puede adquirir relevancia desde un primer momento.

3.2.3. EL FACTOR CLIMATICO Y LA PRESENCIA DE MATERIA ORGANICA

El factor climático es uno de los que más influencia tuvieron en la extracción del U^{+4} a partir de las rocas fértiles y en su posterior movilización.

Al respecto, deben distinguirse dos etapas fundamentales durante la evolución geológica del planeta: una previa y otra posterior a la instalación en el mismo de la primera atmósfera oxidante, fenómeno que se produjo entre 2.100 y 2.200 m.a. atrás (Cuadro 5).

CUADRO 5. DEPOSITOS URANIFEROS EXOGENOS EN SEDIMENTOS Y GEOCRONOLOGIA (Stipanovic, 1978)

	AMBIENTES	TIPOS DE DEPOSITOS URANIFEROS	EDAD m.a.	IMPORTANCIA (recursos uraníferos aprovechables)
ATMOSFERA OXIDANTE	<p>Con atmósfera oxidante y ambientes reductores locales (cuencas euxínicas)</p> <p>Primeros depósitos de hierro hematítico.</p> <p>Primeros "red beds"</p>	<p>1. TOTAL predominio de depósitos <u>exógenos EPIGENETICOS</u> de gran interés económico actual y futuro contenidos en ruditas y psamitas.</p> <p>2. Depósitos singenéticos de baja ley en pelitas marinas de dudoso interés actual.</p> <p>3. Pequeños depósitos singenéticos ? en pelitas continentales, de interés actual.</p>	<p>0</p> <p>600</p> <p>1600</p> <p>1800</p> <p>2000</p>	<p>@ 3-5 % vinculados con rocas ígneas del Mesozoico y Terciario</p> <p>@ 7-5% vinculados con ambientes cristalinos hercínicos</p> <p>@ 50 % (o algo menos) vinculados con áreas cristalinas precámbricas y contenidos en rocas huéspedes de distintas edades</p>
	PRIMERA ATMOSFERA TERRESTRE OXIDANTE	TOTAL CAMBIO en las características de los depósitos uraníferos.		
ATMOSFERA REDUCTORA	<p>Primeras rocas "calcáreas"</p> <p>Primeros restos orgánicos</p>	Yacimientos uraníferos EXCLUSIVAMENTE EXOGENOS-SINGENETICOS en conglomerados	<p>2200</p> <p>2400</p>	<p>@ 40 % (o mas) de los recursos uraníferos en sedimentos, de aprovechamiento inmediato o mediano</p>
	<p>Primeros conglomerados cuarcíticos</p> <p>Primeras grauvacas.</p> <p>Primeras rocas ígneas de la corteza</p>		<p>2600</p> <p>2800</p> <p>↓</p>	<p>No se conocen depósitos uraníferos aprovechables contenidos en sedimentos</p>

En la primera de ellas reinaron condiciones por entero reductoras, bajo las cuales sólo podían actuar los medios de remoción física (descomposición mecánica de la roca fértil por variaciones de temperatura, acción abrasiva de las aguas sin oxígeno libre pero conteniendo partículas sólidas) y de transporte mecánico del uranio por las aguas superficiales.

En cambio, los agentes de extracción y movilización por vía química acuosa controlaron la formación de casi todos los yacimientos exogénicos contenidos o vinculados con rocas sedimentarias que se formaron a posteriori de la aparición de la primera atmósfera oxidante. Fuera de los depósitos con minerales refractarios, no se ha podido certificar hasta la fecha que alguna acumulación uranífera de carácter detrítico se haya originado bajo una atmósfera oxidante.

El factor climático también condiciona el desarrollo de la vegetación, la cual influye en la formación de los depósitos uraníferos. En 3.1. ya se citó el rol de las bacterias heterótrofas en la oxidación del hierro de las piritas, el que a su vez oxida al U^{+4} . Además, la descomposición de las plantas y su propia actividad orgánica pueden generar ácidos húmicos capaces de lixiviar el uranio y también de crear ambientes euxínicos en los bajos cercanos, donde el mismo es precipitado por reducción.

De inmediato se describirán algunas de las condiciones climáticas extremas y sus relaciones con la génesis de los yacimientos uraníferos. Con excepción de la primera de ellas (atmósfera reductora eoprecámbrica), situaciones climáticas intermedias pueden interpolarse, lo mismo que sus efectos en la formación de depósitos minerales.

3.2.3.1. Atmósfera reductora

Como tal se considerará sólo a la que reinó durante los tiempos eoprecámbricos, antes de 2.100 m.a., en los cuales se formaron los grandes yacimientos uraníferos contenidos en los conglomerados del Canadá y Sudáfrica.

Bajo tales condiciones, el único medio para la remoción y el transporte inicial del uranio a partir de las rocas fértiles era por acción mecánica. Sobre este punto existe unanimidad de opiniones entre los diversos autores, la cual se pierde en la etapa inmediata de concentración, pues una tendencia (la canadiense) sostiene que ella también fue controlada por procesos mecánicos (decantación gravitacional).

La otra postura (sudafricana) insiste en que además intervinieron fenómenos de solubilización subácua y precipitación del uranio por reducción en ambientes euxínicos.

3.2.3.2. Climas cálidos y húmedos

Ellos favorecen una fuerte meteorización y oxidación y la presencia de niveles de aguas subterráneas poco profundas. La abundancia de la vegetación crea condiciones de acidez favorables para la lixiviación del uranio y fomenta la formación de ambientes euxínicos en los bajos.

Sin embargo, estas condiciones no facilitan la génesis de yacimien-

tos de interés económico, pues el uranio tiende a diluirse en todas las aguas circulantes, o bien puede ser parcialmente adsorbido en forma difusa por materiales arcillosos (montmorilloníticos), muy frecuentes por la alteración de los feldspatos bajo tales condiciones climáticas.

La oxidación del hierro favorece la lixiviación y migración del uranio y también su concentración final, pues bajo su forma coloidal hematítica puede adsorberlo, pero por lo general lo hace con tenores muy bajos ("irons-tones").

Condiciones topográficas más acentuadas pueden mejorar levemente el proceso, sobre todo si fuera del área de aporte se desarrollan zonas más secas y con relieve más suave, a las cuales pueden dirigirse las aguas cargadas con uranio.

3.2.3.3. Climas cálidos áridos o semiáridos

Son los que más favorecen la desintegración física y la alteración química de las rocas madres. Cuando hay períodos estacionales de lluvias, los procesos químicos encuentran un campo propicio para actuar (oxidación de las piritas en un medio mecánicamente preparado y ya parcialmente oxidado; oxidación y solubilización del uranio, etc).

Bajo condiciones de climas áridos, el nivel freático es por lo general profundo y las características de las escasas precipitaciones condicionan la efectividad del proceso.

Si el volumen total de la precipitación pluvial es reducido, pero las lluvias son débiles y continuas durante un tiempo, las soluciones cargadas pueden percolar hacia abajo e incorporarse a las aguas subterráneas, permitiendo extender los fenómenos de oxidación y lixiviación hasta niveles más profundos y a la vez ganar tiempo durante la movilización, para encontrar ambientes favorables para precipitar al uranio.

Pero cuando las lluvias se resuelven como fuertes y cortos chaparrones, el uranio es movilizado en forma rápida y superficial hacia las partes bajas del relieve y la capacidad de las aguas para extraerlo en profundidad se reduce considerablemente. El uranio en solución, que llega en forma abrupta a las depresiones, ve reducidas sus posibilidades de encontrar ambientes favorables para su concentración, salvo que termine en una cuenca cerrada euxínica o similar.

3.2.3.4. Vegetación

Como ya se indicó, puede jugar un rol importante en la lixiviación del uranio, pero un exceso de la misma tiende a crear ambientes reductores muy extensos y homogéneos en los bajos vecinos, que por lo general sólo permiten la precipitación del uranio en forma muy diseminada y con reducidos tenores.

3.2.4. Otros factores extractantes

La presencia de vertientes de aguas (comunes o volcánicas jóvenes o

póstumas) favorece la lixiviación del uranio a partir de las rocas fértiles, pues aquellas pueden ser termales y ácidas o alcalinas.

Ejemplos sobre este tipo de proceso son comunes, pero el mismo parece revestir escasa importancia, dada su limitada área de influencia.

4. EL MOMENTO DE LA CONCENTRACION

Una vez mobilizado el uranio, éste puede ser concentrado en distintos ambientes, sea en forma contemporánea a la depositación de la roca huésped (depósitos singenéticos), un poco más tarde pero antes de producirse la diagénesis de esta última (depósitos penecontemporáneos) o bien a posteriori, cuando el sedimento recipiente ya está litificado (depósitos epigenéticos).

4.1. YACIMIENTOS EXOGENICOS SINGENETICOS

Años atrás hubo una tendencia marcada a considerar varios depósitos con control estratiforme entre los singenéticos, pero hoy se dejan en este grupo a un número reducido de ellos.

4.1.1. DEPOSITOS EN PLACERES O DETRITICOS

Los más comunes son los depósitos detríticos de minerales refractarios y aquellos de los conglomerados eoprecámbricos de Canadá y Sudáfrica que llevan uraninita y/o pechblenda, pero que se formaron bajo condiciones climáticas que luego no se volvieron a repetir en el mundo (atmósfera reductora), junto con la intervención de otros factores.

4.1.2. URANIO EN FOSFATOS MARINOS

El uranio contenido en muchas fosforitas marinas se debe a su adsorción por los materiales fosfáticos durante la formación del sedimento portante o bien un poco después (tendencia a "penecontemporanismo" ?).

4.1.3. EL SEDIMENTOS NEGROS EUXINICOS

El uranio se acumula en forma diferencial en algunos barros negros de fondos marinos de baja energía y con fuertes condiciones euxínicas, debido a la presencia de un abundante plancton (Mar Negro, Mar Báltico), que lo puede fijar por adsorción o precipitarlo por reducción.

Por el mismo proceso singenético se originaron los enriquecimientos de uranio de las lutitas bituminosas de algunos países y de variada edad.

4.2. YACIMIENTOS PENECONTEMPORANEOS

Con ciertas dudas se consideran en este grupo a algunos depósitos vinculados con lignitos impuros, en los cuales el uranio está fijado por la materia carbonosa, pero varios autores consideran que los mismos son epigenéticos (EUA). En favor de su posible "penecontemporanismo" debe citarse que muchas turbas recientes y pleistocénicas, aún no fosilizadas, muestran una gran capacidad de adsorción por el uranio, produciendo a la vez su precipitación por reducción.

Es posible que en este grupo entren los depósitos de caliche ("calcretes"), a veces también clasificados como singenéticos o epigenéticos (ver Cap. 6).

4.3. YACIMIENTOS EPIGENETICOS

Después de los yacimientos singenéticos incluidos en los conglomerados precámbricos de Canadá y Sudáfrica, siguen en importancia los epigenéticos que se alojan en distintos ambientes sedimentarios.

Existe una gran variedad de estos depósitos, debido a la posible combinación de diversos factores relacionados con:

- i) Las características de la roca huésped
- ii) Los procesos de concentración

Como las condiciones favorables para la formación de estas acumulaciones exógenas epigenéticas se encuentran en muchas partes del mundo, las mismas se tratarán con cierto detalle y en forma independiente.

5. LOS FACTORES DE CONCENTRACION

Los procesos de concentración mecánica por vía gravitacional son los comunes para todos los minerales pesados y su descripción se encuentra en cualquier texto ad hoc, por lo cual no se los tratará y sólo se lo hará con aquellos factores que contribuyen a la formación de yacimientos a partir de la lixiviación del uranio desde una roca fértil.

5.1. LA ROCA HUESPED Y SU AMBIENTE DE DEPOSITACION

5.1.1. CARACTERISTICAS FAVORABLES DE LA ROCA HUESPED

Las manifestaciones uraníferas exógenas epigenéticas pueden estar incluidas o vinculadas con todo tipo de rocas sedimentarias, como conglomerados, areniscas, limotitas, lutitas, calcáreos, etc pero las mas favorables son las tres primeras.

Aparte de los factores físico-químicos que necesariamente deben actuar dentro de la roca huésped o en sus vecindades para permitir la precipitación o fijación del uranio, las características de las mismas que más favorecen el proceso de concentración son las siguientes:

- 1) Porosidad y permeabilidad adecuadas, como para posibilitar la fácil fluencia de las soluciones cargadas.
- 2) Confinamiento de la roca permeable entre otras impermeables, a los efectos de limitar la circulación de las soluciones dentro del estrato involucrado, evitando su difusión.
- 3) Variaciones faciales y estructuras intraformacionales, las que en conjunto confieren una heterogeneidad lateral a la roca huésped, creando sectores más favorables para la concentración diferencial del uranio y evitando su difusión masiva y homogénea dentro de todo el estrato involucrado.

Las variaciones faciales pueden ser de todo tipo: presencia de lentes arcillosas, cambios granulométricos, aumento o disminución del cemento pelítico, calcáreo, silíceo, etc.

Las estructuras intraformacionales más importantes son los paleocanales y la estratificación entrecruzada.

- 4) El contacto de la roca sedimentaria permeable con otra impermeable, la que actúa como dique para la circulación lateral de las soluciones, pero que también puede abrir un fácil camino de fluencia, con la correspondiente pérdida de presión. Dicho contacto puede ser de todo tipo (normal, por falla), con diques ígneos o clásticos, etc).

5.1.2. EL AMBIENTE DE DEPOSITACION DE LA ROCA HUESPED

Hasta el presente, todos los grandes yacimientos uraníferos del mundo vinculados con, o alojados en rocas sedimentarias desde el Precámbrico medio hasta tiempos más recientes (Terciario) lo han hecho con formaciones de carácter continental, por lo común fluviátiles o fluvio-deltaicas epicontinentales, en esencia arenosas, arenosas-conglomerádicas o limo-arenosas.

Ambientes transicionales pueden ser relativamente favorables, pero los de neto carácter marino, aún de plataforma, no parecen revestir mucho interés al respecto.

5.2. FACTORES QUE CONTROLAN LA CONCENTRACION DEL URANIO SOLUBILIZADO

5.2.1. REDUCCION

El ion uranilo (U^{+6}) contenido en las soluciones circulantes no es estable bajo condiciones reductoras, bajo las cuales precipita como ion uranoso (U^{+4}), formando en principio "minerales amorfos negros", los cuales por lo común evolucionan a uraninita (UO_2).

Los materiales o las condiciones que pueden producir la reducción son varios, como la presencia de:

- i) Materia orgánica en el seno de la roca huésped (detritos carbonosos, contenido asfáltico, etc) que al descomponerse por la acción de bacterias anaerobias produce H_2S , el cual reduce al U^{+6} y precipita el U^{+4} .
- ii) Acido sulfhídrico (H_2S) provenientes de otras fuentes cercanas (estratos inferiores con acumulaciones carbonosas o de hidrocarburos).
- iii) Frentes de reducción-oxidación (cinturones de Redox) dentro de un mismo estrato, que dejan un sector con condiciones oxidantes e hierro férrico y otro con un medio reductor e hierro ferroso.

Las soluciones uranílicas al llegar al frente de Redox precipitan el uranio en el sector reductor.

Muchos de los yacimientos del oeste de los EUA corresponden a este esquema general, resolviéndose como cuerpos tabulares estratiformes o como "rolls".

5.2.2. ADSORCION

Los procesos de adsorción son en esencia un fenómeno de intercambio iónico, por el cual ciertos materiales muestran la capacidad de fijar directamente el ion uranilo transportado por las soluciones.

Los mejores adsorbentes son ciertas turbas y lignitos impuros, los que paralelamente producen la reducción del U^{+6} y la precipitación del U^{+4} . Otros elementos comunes son ciertos tipos de arcillas montmorilloníticas, las que presentándose como "clay balls" muy puras dan lugar a concentraciones pequeñas pero muy ricas de minerales amarillos de uranio. El hierro hematítico coloidal también ofrece tal característica, pero en forma no tan intensa.

5.2.3. PERDIDA DEL EQUILIBRIO FISICO-QUIMICO EN LAS SOLUCIONES

La solubilidad simultánea de varios elementos en una fase acuosa, depende de varios factores: temperatura, presión, pH, fuerza electromotriz (Eh), la concentración e interferencia de los iones presentes, etc.

Las aguas circulantes cargadas con uranio por lo general son levemente alcalinas e incluyen los aniones $CO_3^{=}$ y/o CO_3H^{-} o bien moderadamente ácidas, con $SO_4^{=}$, pero también llevan incorporadas iones de otros elementos, de los cuales los más comunes son el V, P, Fe, Mn, Cu, Al, Si, Mg, etc.

La variación de uno o más de los factores antes mencionados puede afectar el equilibrio físico-químico de las soluciones, obligando a la precipitación de algunos elementos solubilizados.

Las variaciones térmicas tienen influencias en la precipitación directa del ion uranilo a partir de soluciones superficiales en climas áridos o semi-áridos, al saturar las soluciones por la abundante evaporación, factor que termina el proceso dando lugar cuerpos evaporíticos (depósitos uraníferos en caliches).

La precipitación del uranio por cambios de presión se producen por diversos motivos:

- i) Las soluciones cargadas se desplazan en circulación confinada de acuerdo con su gradiente de presión. Cuando el mismo decrece hasta el punto en que se produce el desequilibrio físico-químico interno, el uranio puede precipitar según "cinturones", cuya ubicación coincide con determinados valores del gradiente de presión (Ver Cap. 6 para el Uravan Mineral Belt).
- ii) Cuando un estrato portante de soluciones fértiles se pone en contacto con otra roca más permeable, hay una brusca pérdida de presión en los líquidos y el uranio precipita en forma abundante (Ver Cap. 6 para el distrito de Big Indian).
- iii) También pueden admitirse diferencias de presiones dentro de un estrato litológicamente no homogéneo cuando se produce un déficit de carga hidráulica en el mismo (estación seca) y sus sectores con granulometría más fina pueden mantener una presión más alta que sus vecinos, debido a la mayor tensión superficial de sus componentes.

Los fenómenos de interferencia iónica también dan lugar a la abundante precipitación del uranio y uno de los ejemplos más corrientes es cuando una solución fértil alcalina es interferida por otra ácida, produciéndose la precipitación de varios elementos y entre ellos el uranio bajo su forma hexavalente.

5.3. REMOBILIZACION Y FACTORES DE ENMASCARAMIENTO GENETICO

Como el uranio es un elemento muy labil y móvil, luego de su primera concentración secundaria puede ser fácilmente redisuelto, remobilizado y reprecipitado en más de una oportunidad, de manera que varias de las acumulaciones uraníferas exógenas epigenéticas que hoy se conocen pueden ser meras "re-encarnaciones" de otras anteriores.

Este fenómeno, que hoy tiene el concenso general pero que encontré muchos incrédulos en el pasado, ofrece muy buenos ejemplos que certifican como un ciclo completo de lixiviación-mobilización-acreción puede cumplirse en un lapso cortísimo de tiempo geológico, a veces inferior a 100.000 años (Viterbo en Italia, Dera Ghazi Khan en Pakistán, Dechan y Jaz Murian en Iran, etc).

Las aberrantes edades radimétricas determinadas para algunas uraninitas de distintos depósitos contenidos en una misma formación y dentro de un mismo distrito del oeste de los EUA y que oscilaban entre varias decenas y un millón de años, en buena parte son debidas al proceso señalado.

Pero por lo general, todos estos nuevos yacimientos de segunda o tercera generaciones mantienen mucha similitud con los depósitos "madres", pues se forman en ambientes geológicos similares y a distancias no muy grandes de ellos, salvo en aquellos casos en que las nuevas soluciones descarguen el uranio (junto con Cu, V, Fe, etc) en zonas fracturadas, grietas, etc, casi siempre como minerales amarillos.

Pero si este U^{+6} de las nuevas acumulaciones es reducido a U^{+4} (oscilaciones del "water table", presencia de H_2S , etc), las mismas pueden llegar a adquirir la típica morfología de depósitos "vetiformes" o de "stockworks", tendiendo a favorecer su posible interpretación como de origen hipógeno hidrotermal, la cual, sin embargo, pierde validez de inmediato con estudios mineralógicos, genéticos y geoisotópicos.

El problema, en cambio, adquiere complejidad cuando parte de las menas de un cuerpo mineralizado estratiforme (en general con Y y Cu) son lixiviadas, los productos solubilizados precipitan en fracturas y grietas asociadas al criadero, pero luego todo el ambiente queda sujeto a procesos metamórficos más o menos intensos, los que pueden enmascarar en mucho el verdadero origen de estas acumulaciones, invirtiendo la interpretación genética de ellos, al hacer pensar en su origen hipógeno y producido por soluciones hidrotermales ascendentes que primero mineralizaron las grietas o fracturas (pseudo "vetas") y luego los estratos permeables.

El ejemplo más típico al respecto es el del cinturón cuprífero de Zambia, el cual también incluye pequeñas acumulaciones uraníferas (Nkana, Nchanga, etc) y cuyo verdadero origen exógeno, epigenético y con control sedimentario fue magníficamente explicado por Garlick (1972). La misma interpretación se puede aplicar al cinturón urano-cuprífero del Zaire (que se ubi

ca en idéntico flanco geoanticlinal que el de Zambia) y que incluye los importantes yacimientos de Schinkolowbe, Kalongwe y Swambo, de los cuales el primero se describirá después.

6. EJEMPLOS DE DEPOSITOS TIPO

6.1. SINGENETICOS

6.1.1. DETRITICOS O DE PLACERES

6.1.1.1. Con minerales refractarios

El uranio puede estar incluido en los minerales refractarios de varios tipos de placeres, pero los más comunes y de mayor volumen son los de monacita y de circón. El primer mineral contiene 1 % U y el segundo hasta 1,5 % U.

Hay numerosos depósitos detríticos actuales de monacita y de circón en el mundo, pero los más importantes son los contenidos en las arenas de las playas oceánicas de la India, Brasil, EUA, etc.

Los mismos carecen de todo interés para la recuperación directa del uranio, el que sólo es obtenido, en pequeñas cantidades, como subproducto (Brasil, 6 t Y/año).

6.1.1.2. Con minerales no refractarios

Comprende los grandes yacimientos uraníferos de los conglomerados eoprecámbricos del Canadá y Sudáfrica, los cuales se formaron bajo una atmósfera reductora, la cual evitó la oxidación del U^{+4} .

Como la tercera parte del continente sudamericano está bajo el control de viejos escudos precámbricos, en cuyos conglomerados del Brasil se encontraron ciertas concentraciones de uranio con oro, debemos prestar atención a estos tipos de depósitos, por su posible potencial local.

La interpretación genética de estos depósitos no se hizo fácil y sólo en los últimos 15 años se produjo un gran avance al respecto, gracias al aporte de un numeroso grupo de trabajo sudafricano que atacó el problema desde todos sus ángulos (cf. Pretorius, 1975).

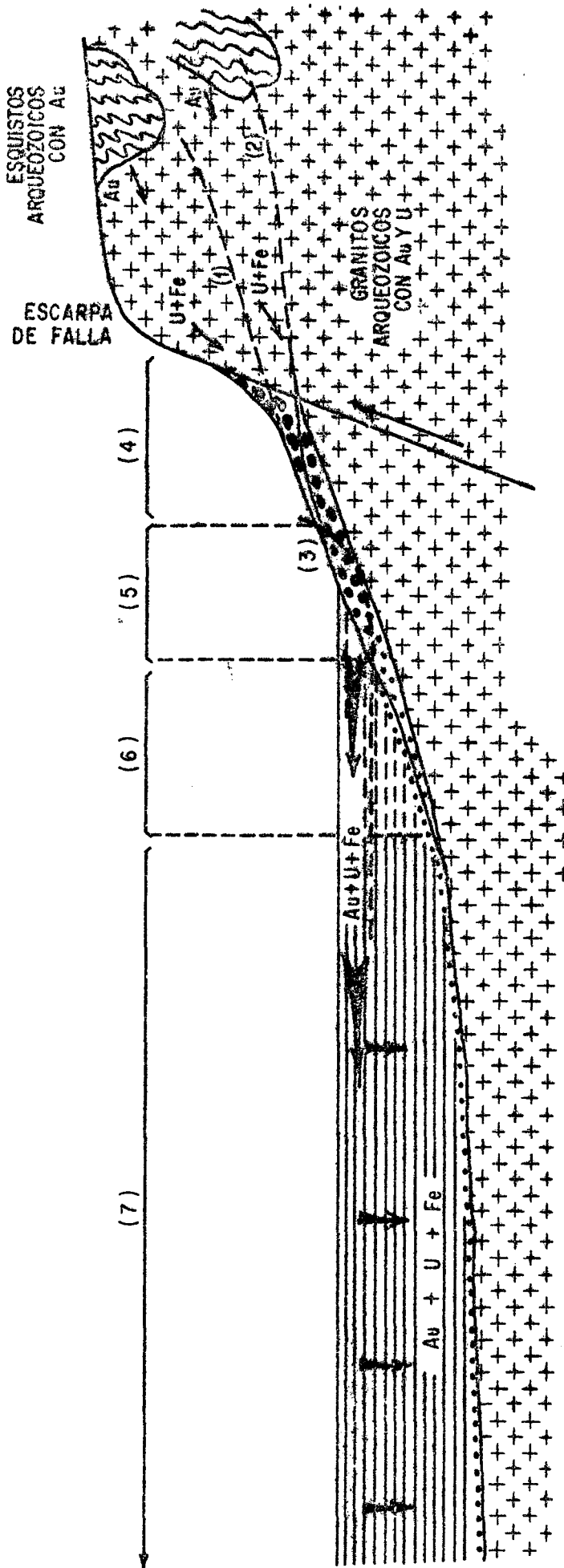
El "modelo" sudafricano se basa en que los siguientes factores controlaron la mineralización auro-uranífera de las ruiditas de la gran cuenca de Witwatersrand (Pretorius, 1974 a, b; 1975), Fig. 1.

- i) El ambiente de sedimentación, que comprendió a una gran cuenca epicontinental e intracratónica (100 x 250 km), rodeada mediante escarpas de falla por una topografía abrupta con abundantes rocas fértiles en U, Au, pirita, etc (granitos, gneisses, etc).
- ii) La cuenca estuvo cubierta por aguas dulces o salobres, provenientes de grandes ríos encauzados en cañones cristalinos, los cuales al penetrar en la misma originaban amplios abanicos fluvio-deltaicos y fluviales.

OBSERVACIONES PARA LA FIGURA 1

- (1) Perfil de los ríos de montaña, llevando Au, Fe y U.
- (2) Perfil de los grandes ríos que producen los grandes abanicos deltaicos y que arrastran minerales pesados (U, Au, Fe).
- (3) Zona de alta energía de las aguas.
- (4) Bases de los conos deltaicos originales que no son erosionados. Depósitos detríticos de U y Au.
- (5) Cabeceras de los conos deltaicos que son erosionadas por las aguas con alta energía. Remoción, atrición y clasificación de los minerales pesados. Los términos más gruesos forman depósitos detríticos de U y Au; los más finos son transportados aguas adentro.
- (6) Zona de energía intermedia. Las partículas menos finas decantan por gravitación (depósitos detríticos de U y Zu); las más finas son disueltas por la acción orgánica de las abundantes algas (complejos clorhídricos y cianhídricos).
- (7) Zona de baja energía y ambiente altamente euxínico por la presencia de abundantes algas. Rotura de los complejos cianhídricos por reducción y precipitación del U y Au, formando los verdaderos "bankets".

FIG. 1



ESQUEMA DE LA FORMACIÓN DE LOS YACIMIENTOS AORO-URANÍFEROS DE LOS CONGLOMERADOS ARQUEOZOICOS DE SUDÁFRICA, PARA UN MOMENTO DETERMINADO.

- iii) Los elementos pesados (Au, U, pirita, etc) fueron extraídos de las rocas madres por agentes mecánicos y su primera depositación en los viejos abanicos fue gravitacional, cuando los ríos torrenciales perdieron competencia al salir de los cañones.
- iv) El movimiento de las aguas lacustres fue erosionando las cabeceras de los abanicos que penetraban en ellas y al mismo tiempo produjo la remoción, abrasión y clasificación de los minerales pesados.
- v) Los términos más groseros quedaron en las cercanías de las playas, pero los más finos se transportaron hacia las zonas con menor energía, donde:
 - a) Las partículas menos finas decantaron por gravitación.
 - b) Las más finas fueron solubilizadas como complejos clorhídricos o cianhídricos debido a la acción biológica de una abundante flora acuática en esencia algal.
- vi) En los sectores con mínima energía, esta vegetación fue más abundante y la descomposición de las algas generó ambientes muy euxínicos que provocaron la precipitación del Au, U y Fe, por reducción.
- vii) La naturaleza biogénica (algal) y no mineral de los compuestos carbonosos de las ruditas del Rand está perfectamente certificada por las investigaciones de Hallbauer (1973), Hoefs & Schidlowski (1967), Prashnowski & Schidlowski (1967), etc.
- viii) La relación U/Th en todos los conglomerados no marginales de la cuenca es muy baja (1/32), la cual no condice con la mucho más alta de las áreas de aporte, indicando así que las acumulaciones uraníferas no son meramente detríticas, sino que también debió existir una solubilización parcial y una posterior precipitación selectiva del uranio. Dichas diferencias de relaciones no se pueden explicar por meros procesos de depositación gravitacional.

En general, los canadienses fueron reacios a aceptar la intervención de factores químico-orgánico en la redistribución del uranio contenido en los conglomerados cuarzosos de Blind River, la cual también explican por meros procesos mecánicos-gravitacionales (Robertson & Douglas, 1970; Robertson, en IAEA, 1974), sobre la base de los siguientes argumentos:

- a) Que los depósitos uraníferos tienen el mismo aspecto general que todas las acumulaciones detríticas de minerales pesados.
- b) Que la alta relación U/Th de muchos yacimientos (1/4) está dentro de los límites fáciles de explicar por conceptos de depositación gravitacional.
- c) Que la composición de las menas radiactivas en las ruditas es semejante a la de los minerales accesorios de las rocas cristalinas de aporte, con uranita torífera diferente a la que se encuentra en los depósitos epigenéticos a los cuales el uranio llegó en solución.
- d) El posible origen mineral de los hidrocarburos incluidos en los conglomerados hurónicos.

La postura canadiense, que no se basa en estudios tan detallados y completos como los de Sudáfrica, ofrece algunos puntos aleatorios:

- +) Nuevos estudios tienden a demostrar el origen organogénico de los hidrocarburos presentes en los conglomerados y vinculados con la tucholita.
- *) Además de la brannerita y de la uraninita torífera, también hay cuerpos que llevan uraninita común.

Sin ser definitorio, parecería que los depósitos canadienses también pueden encontrar su explicación genética adecuada usando el "modelo" sudamericano, del cual sólo representarían los sectores deposicionales que bordean a la cuenca y los muy proximales de la misma, pero no los profundos, presentes en cambio en Sudáfrica. Hablan en favor de esta posibilidad: el mayor espesor de las ruditas uraníferas de Canadá (3,5 a 10 m) contra menos de 1 m en Sudáfrica; su mayor granulometría (rodados de hasta 10 cm \emptyset) y su alta relación U/Th.

De cualquier manera, ambas tendencias descartan por entero el origen hidrotermal de estos yacimientos, el que fuera sostenido en un tiempo por varios autores, reacios a admitir la solubilidad del oro en ambientes acuosos naturales, a pesar del objetivo ejemplo en contrario que Spilzbury ofreció ya en 1908 para el caso de California, donde las partículas de dicho metal arrastradas por los ríos son disueltas y concentradas por la acción orgánica de algas abundantemente desarrolladas en los bajos durante las estaciones secas, hecho que permitió a los legendarios mineros de esa época a hacer buenas "co-sechas" estacionales usando dichos vegetales ("Moss-mining").

A. Los yacimientos de Sudáfrica

Ellos se localizan en varios horizontes del Precámbrico antiguo, pero en especial en los de los Sistemas de Witwatersrand y Dominion Reef y aparecen en conglomerados de poco espesor (inferior a 1 m) y granulometría no gruesa (menos de 2 cm).

Las ruditas más ricas ("bankets") por lo común descansan sobre planos de leves discordancias intraformacionales y corresponden a reactivaciones de los ambientes de energía después de una pausa en la sedimentación. Varios de estos "bankets" pueden derivar de otros anteriores, parcial o totalmente erosionados.

La roca portante se compone de rodados de cuarzo con una matrix silícea, la cual alberga Au, U, Pt, pirita, etc y materiales carbonosos.

El elemento que condicionó la explotabilidad de estos depósitos fue el oro, que se encuentra con concentraciones de 5 a 12 gr Au/t. Otros componentes se recuperan como subproductos: U, Pt, Ag, etc.

Los "bankets" del Sistema de Witwatersrand contienen normalmente entre 80 y 150 ppm U (uraninita) y la relación U/Au es de cerca 20/1, pero los del Dominion Reef pueden incluir hasta 500 gr U/t y la relación U/Au puede exceder de 50/1 (Backström, 1975).

El potencial uranífero de los conglomerados del Rand es inmenso, pe-

ro de él sólo se definieron más de 200.000 t U, puesto que la exploración minera está por entero condicionada al desarrollo de los depósitos auríferos.

B. Los yacimientos de Canadá

Se localizan en el extremo SE de ese país y se agrupan en los grandes distritos de Blind River-Elliot Lake y de Agnew Lake.

En la parte basal del Supergrupo Hurónico, la Formación Matinenda, con cuarcitas y arcosas gruesas, comprende en su sector inferior varios niveles de conglomerados uraníferos olimícticos, con rodados de 1,5 hasta 10 cm ϕ , dentro de una matrix con cuarzo, sericita y pirita.

En el distrito de Elliot Lake dominan la uraninita, brannerita y la monacita, pero en Agnew Lake lo hacen la uranothorita y la monacita, siendo siempre abundante la pirita y más escaso un hidrocarburo vinculado con la tucholita. (Fig. 2).

Los bancos mineralizados muestran un espesor comprendido entre 3,5 y 10 m, con leyes que varían entre 0,07 % U (Stanrock) y 0,13 % U (Denison Mine, Río Algon, etc).

Las rocas cristalinas de aporte contienen entre 4 y 9 ppm U y 8-17 ppm Th, pero la relación U/Th en los conglomerados mineralizados varía entre 1/5 y 10/1.

Como el principal producto a recuperar de estos depósitos es el uranio, toda la exploración minera tiende a certificar el monto de sus acumulaciones, que a la fecha superan ampliamente las 500.000 t U.

6.1.2. EN ROCAS FOSFATICAS

Ciertas fosforitas marinas de muchos países, contienen entre 35 y 80 ppm U (EUA, Egipto, Israel, Jordania, Marruecos, etc). Las de ambiente geosinclinal son más potentes y con mejor contenido en uranio que las de plataforma.

Algunos de estos depósitos muestran un enriquecimiento en fósforo por meteorización, pues la apatita es más refractaria que los carbonatos, la materia orgánica, etc y paralelamente aumenta el tenor en uranio retenido por aquella.

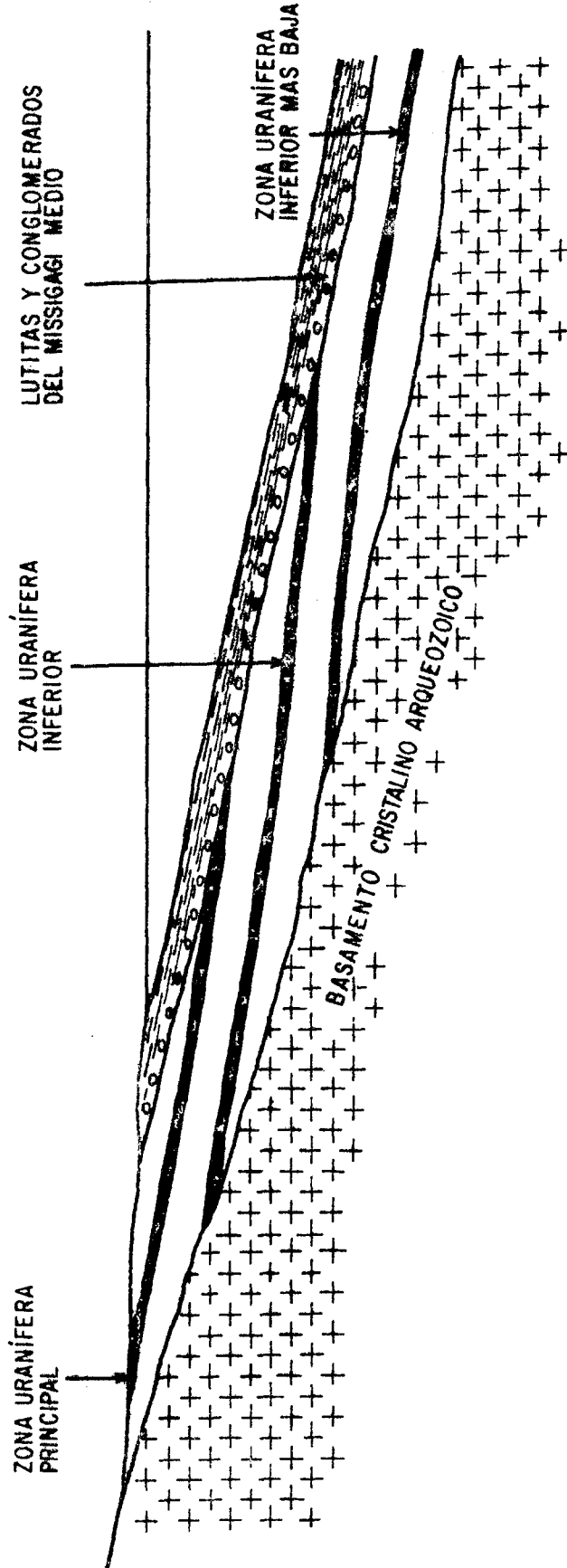
De las fosforitas del Mioceno de Florida (EUA) se recupera el U como subproducto del ácido fosfórico y de los superfosfatos.

6.1.3. EN SEDIMENTOS FINOS BITUMINOSOS

6.1.3.1. Barros de fondos marinos

Los barros euxínicos de los fondos de los mares Báltico y Negro acusan un tenor medio de 20-15 ppm U y a veces de 50 ppm, debido a la fijación del uranio por un abundante plancton y a la reducción del mismo provocada por el ambiente euxínico.

Fig. 2



ESQUEMA DE LOS YACIMIENTOS URANÍFEROS CANADIENSES CONTENIDOS EN CONGLOMERADOS ARQUEOZOICOS (SEGÚN ROBERTSON & DOUGLAS, 1970)

Para los 90 cm superiores de los barros del Mar Negro se estimó un contenido de 6.000.000 t U acumuladas en los últimos 5.000 años, pero su recuperación no parece factible en el futuro inmediato (costos de producción, problemas ambientales en el lugar de procesamiento debido a los enormes volúmenes de material a manipular, etc).

6.1.3.2. Lutitas bituminosas uraníferas

Debido al mismo proceso anterior, pero a través de intervalos de tiempo mucho más largos, se formaron las acumulaciones uraníferas de las lutitas bituminosas de Suecia, EUA, Argentina, etc las cuales incluyen grandes cantidades de uranio, pero con bajos tenores.

Las de la Shatanooqa Shale de los EUA (límite Devónico-Carbónico) incluyen 5.000.000 t U y en sus sectores más interesantes contienen 20 % de materia orgánica, 15 % de pirita y entre 10 y 350 ppm U. La recuperación económica del uranio no parece posible por el momento.

El ejemplo más favorable es el de las lutitas bituminosas del Cámbrico superior de Suecia, las que para el distrito de Billinger tienen un potencial de 1.000.000 t U, con 300.000 t U ya certificadas. Las menas acusan una ley media de 250 ppm U, 22 % de materia orgánica y 13 % de pirita. Dos plantas instaladas para recuperar el uranio como producto único no pudieron operar en forma económica, pero se estima que una de ellas lo hará en fecha próxima, con la sub-producción adicional del aceite mineral y del H₂SO₄ producido a partir de la pirita.

6.1.4. EN SEDIMENTOS FINOS CONTINENTALES

De acuerdo con Herbosch (IAEA, 1974), el yacimiento uranífero contenido en los estratos del Pérmico de Lodève (Francia) es singenético.

En el mismo, dominan las pelitas fluvio-lacustres, algo limosas, con cemento calcareo y de colores pardo-rojizos, además de niveles de calcáreos y dolomitas fétidas. El ambiente de depositación fue el de un gran lago con sedimentación tranquila y medio reductor, adsorbente y alcalino, rodeado por masas continentales ígneas en las cuales abundaban el Cu, Zn, Pb, Ba y U.

La mineralización principal se resuelve a lo largo de estratos, con hasta 1 m de potencia, con uraninita y coffinita asociados a hidrocarburos y arcillas, pero también hay acumulaciones en fallas, fracturas, etc. La génesis de este depósito, que incluye 8.000 t U, no es muy clara, pues según los datos de Gangloff (IAEA, 1970) también presenta caracteres de epigenético, o bien con una redistribución de la mineralización original.

Este yacimiento reviste especial interés, pues formaciones lacustres análogas, de igual o diferente edad, se encuentran en muchas partes del mundo.

6.2. PENECONTEMPORANEOS (?)

Algunos de ellos pueden ser epigenéticos (Ver Cap. 4.2).

6.2.1. LIGNITOS Y CARBONES IMPUROS

Ciertos carbones impuros y lignitos tienen alto contenido en uranio, como los de EUA y España. Los potentes lignitos del Paleoceno de Fort Union Fm. (EUA) incluyen más de 500.000 t U, con leyes entre 60 y 120 ppm U, pero otros más delgados e impuros tienen 800 ppm U.

La recuperación del uranio de estas fuentes no es económica por el momento, pero podrá serlo en los próximos años.

En la Fig. 3 se ilustra la mecánica del proceso de concentración uranífera en los lignitos de Dakota (N y S) y Montana (EUA), el cual es típicamente epigenético.

6.2.2. CALICHES URANIFEROS

En 1972 se descubrieron en Australia algunas acumulaciones uraníferas que respondían a un nuevo tipo de yacimiento, contenidas en caliches jóvenes y al poco tiempo una de ellas (Yeelirrie) demostró poseer más de 45.000 t U con una ley media de 0,15 % U.

Este hallazgo reviste importancia, pues similares condiciones geomorfológicas y climáticas que permitieron la formación de estos caliches uraníferos también se encuentran en muchas partes del mundo, cubriendo una superficie que excede los 2.000.000 km².

Después de los descubrimientos de Australia, otros cuerpos similares se individualizaron en Mauritania, Somalia, Namibia y Angola en relación con sedimentos conocidos como caliches, toscas, cangas, croute calcaire, kalkkruste, etc, pero hasta la fecha la génesis de los mismos no está perfectamente aclarada (Dall'Aglio et al, en IAEA, 1974; Premoli, 1976).

Estos depósitos poseen una geometría tabular-elongada (1 x 10 km), se alojan en caliches porosos formados en valles jóvenes dentro de una topografía suave y bajo climas áridos o semi-áridos, mostrando una llamativa composición y tenor medio muy uniformes, con 0,13-0,15 % U proveniente en forma casi exclusiva de la carnotita.

De acuerdo con los datos de Cameron (1973), Dall'Aglio et al, (Op. cit.), Premoli (Op. cit.) y Stipanovic (1977), los principales factores que posibilitan y/o controlan la génesis de los mismos serían (Fig.4).

- i) Los geomorfológicos y geológicos. Se requiere un área estable peneplanizada, con una altiplanicie de rocas fértiles alteradas (factor ya citado también para otros depósitos epigenéticos: cf. Stipanovic, en IAEA, 1970) y una planicie más baja para la recepción de los materiales extraídos de la alta, pero poseedora de un drenaje interno.
- ii) El climático, con temperaturas elevadas (media anual no muy inferior a 15°) y condiciones áridas o semiáridas que permitan una fuerte evaporación de las soluciones (hipersalinidad), pero siempre con la presencia de lluvias (aún escasas) estacionales, que favorezcan la alteración (la terización) de los altos plateau y la movilización del uranio solubilizado.

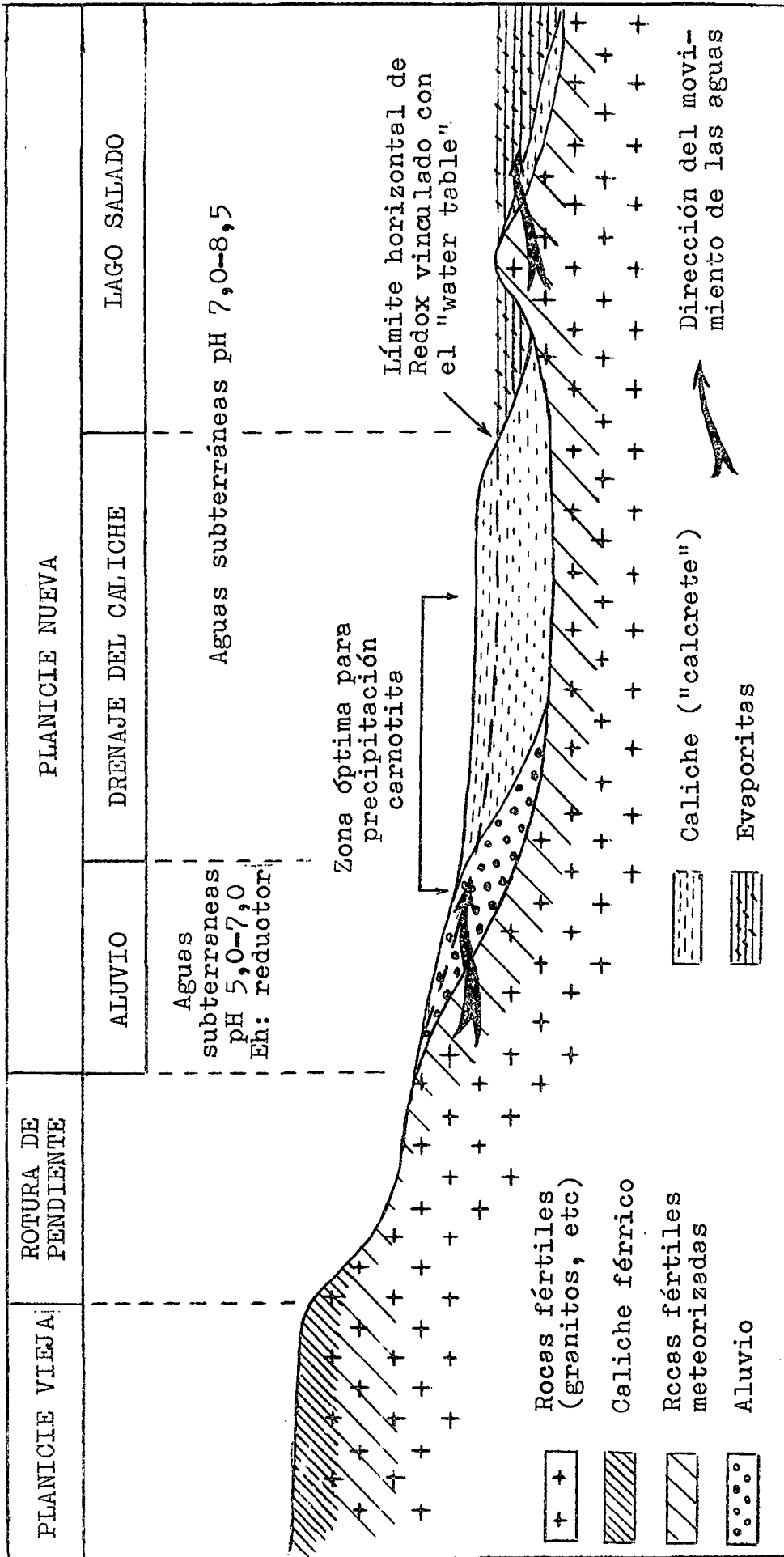


FIG. 4 ESQUEMA SOBRE EL AMBIENTE DE FORMACION DE CALICHES URANIFEROS (Adaptado de Premoli, 1976). Escala vertical exagerada

iii) Los geoquímicos, que controlan la precipitación de la carnotita y en tal sentido participan el pH, la fuerza electromotriz (fenómenos de Redox) y la interacción iónica (especialmente entre U, V y K), sobre todo cuando por la fuerte evaporación se llega a soluciones hipersalinas. Se ha citado, además, la posible intervención de bacterias.

Si bien algunos consideran que estos caliches ya se empezaron a formar en el Plioceno más alto, hay evidencias que los mismos son esencialmente cuartarios y que los procesos que contribuyen a su engendramiento siguen a la fecha.

Los cuerpos de caliches uraníferos se relacionan con los bajíos de los canales mayores de drenaje y la carnotita se precipitó poco después de la formación de ellos, los cuales son porosos y tienen entre el 5 y el 10 % de espacios libres. La presencia del "water table" parece haber jugado un rol muy importante en el proceso de precipitación, pues las concentraciones de carnotita son eminentemente tabulares y horizontales.

Varios autores consideran a estos yacimientos como epigenéticos, y algunos de ellos pueden serlo, pero en general el uranio precipitó antes de la diagénesis de la roca huésped.

6.3. EPIGENETICOS

6.3.1. CON CONTROL SEDIMENTARIO-ESTRUCTURAL

Hay varios modelos al respecto, pero uno de los ejemplos más típicos es el del yacimiento de Mikouloungou de Gabón (Fig. 5), donde las areniscas fluvio-deltaicas FA del Francevilliano (Mesoprecámbrico) se ponen en contacto por falla con las pelitas impermeables FB1, ricas en materia orgánica. La mineralización de este depósito se resuelve en dos formas:

- i) Como una placa de espesor variable adosada al muro de la falla e independiente de la litología de la roca portante (brecha).
- ii) Como cuerpos estratiformes, que se extienden desde la zona de falla penetrando entre 5 y 20 m en los niveles de areniscas más gruesas intercaladas entre otras finas, del sector 2 de FA.

La mineralización fue controlada por el efecto sellante del contacto falla-FB1 y en el proceso de concentración actuó el factor reductor causado por la materia orgánica de las pelitas y de las mismas areniscas FA y muy posiblemente también la caída de presión de las soluciones fértiles, cuando encontraron un camino más fácil de fluencia a lo largo de la zona fallada.

La mineralización consiste de pechblenda fina, con abundante pirita y muy bajas concentraciones de galena y de calcopirita. La calcita sólo rellena las fracturas.

En Cañadón Gato (Chubut, Argentina), un dique clástico vertical de tobas muy alteradas atraviesa areniscas glauconíticas terciarias (Fig. 6) y controla la mineralización uranífera que se resuelve en dos formas:

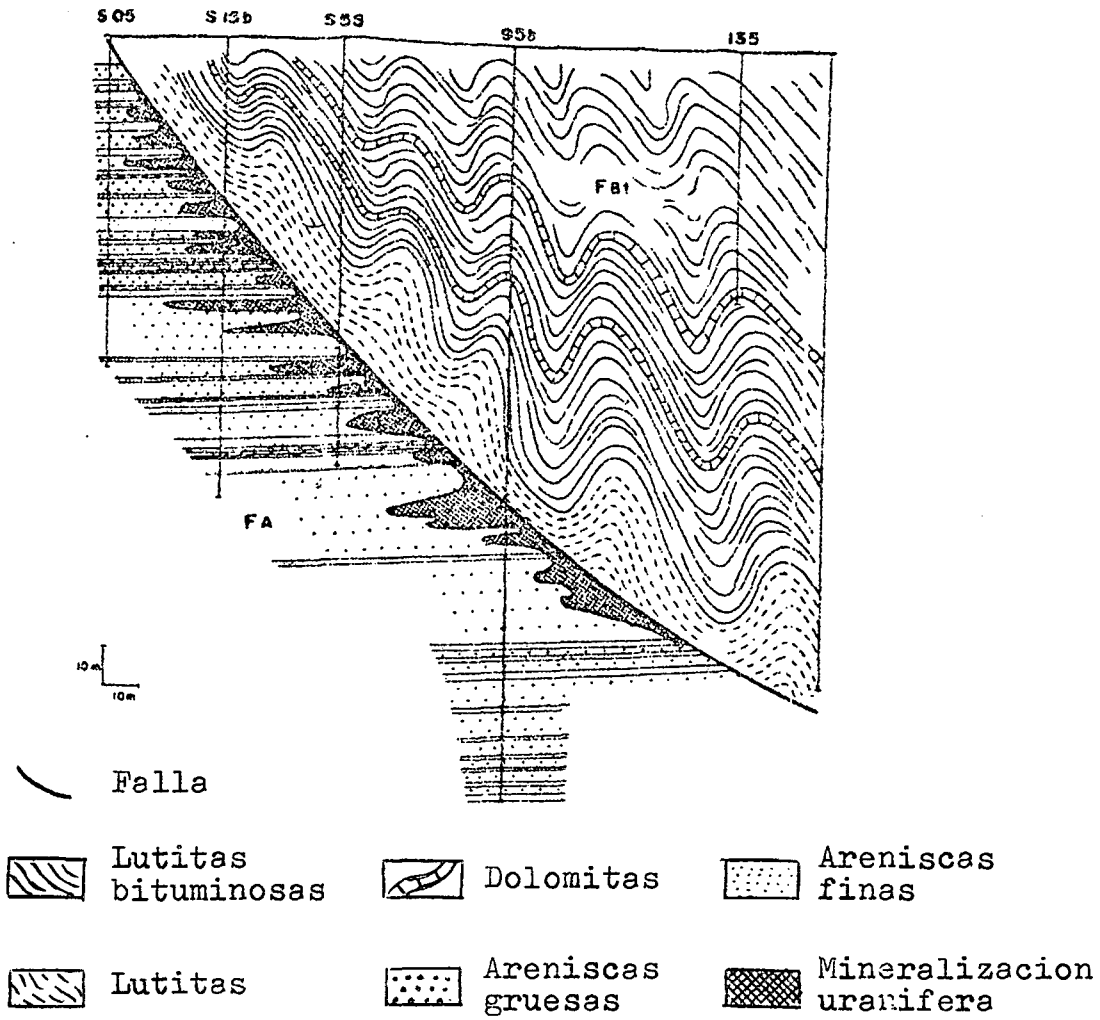
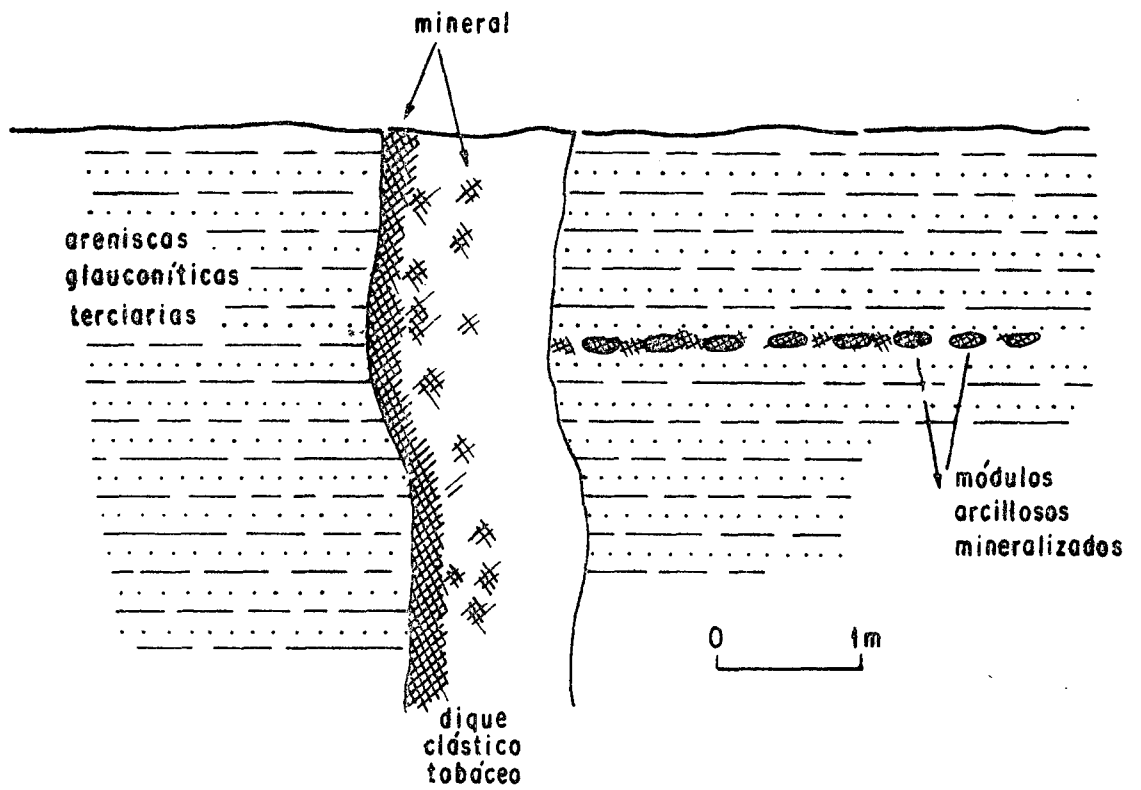


Fig.5 - Corte esquemático del yacimiento Mikouloungou (Gabón) según Gangloff (1970)

Fig. 6

CAÑADON GATO, CHUBUT, ARGENTINA



Influencia del factor estructural (dique clástico impermeable) y del material adsorbente en la formación de un depósito uranífero (Stipanovic, 1959).

- +) Sobre el borde occidental del dique clástico, a lo largo de 350 m de extensión horizontal y profundidad menor de 50 m.
- *) En un nivel dentro de las areniscas, donde abundan nódulos y "clay-galls" de material arcilloso muy puro, los que muestran altos enriquecimientos en fosfatos de uranio hasta a 10-15 m de distancia del dique.

Este típico yacimiento epigenético con metaautunita y torbernita tiene una ley media de 0,13 % U.

Otro ejemplo clásico pero no común de yacimiento uranífero con control sedimentario-estructural se encuentra en relación con calcáreos y calizas.

Las rocas carbonáticas marinas no incluyen yacimientos singenéticos de uranio y sólo acusan contenidos variables entre 1 y 10 ppm U.

En cambio, algunos calcáreos impuros lacustres y otros más puros pero tectonizados sirvieron de rocas huéspedes para alojar pequeñas acumulaciones uraníferas supergénicas.

La Formación Todilto del Neojurásico, se integra en el distrito de Grants (New México, EUA) con yeso, limos, calcáreos limosos y abundantes calcáreos fétidos.

En las vecindades de fallas, pero no en ellas mismas, se agrupan cuerpos uraníferos con leyes medias de 0,25 % U que se formaron bajo el control de dos factores (Fig. 7).

- a) El estructural (fallas, fracturas, etc) que permitieron la circulación de las soluciones fértiles.
- b) El reductor (calizas fétidas y material orgánico), que precipitaron el uranio.

Estas soluciones cargadas dieron lugar en el mismo distrito de Grants a la formación de grandes yacimientos uraníferos cuando encontraron rocas huéspedes areniscosas más favorables y condiciones adecuadas de precipitación (Ver ejemplo de Jack Pile Mine).

En Guandacol (La Ricja, Argentina), calizas ordovícicas incluyen concentraciones uraníferas (yacimiento Urcal) de minerales amarillos, a veces de alta ley (1 % U), que aparecen en:

- +) Los sectores fallados y triturados de las calizas, como ricas pátinas.
- *) En bolsillos ricos en material arcilloso dentro de la zona tectonizada (arcillas residuales por alteración de las calizas o de procedencia foránea).

Las mismas soluciones fértiles que depositaron el uranio en Urcal dieron lugar a concentraciones uraníferas de altísima ley a muy poca distancia (Minas Sonia y La Marthita), cuando atravesaron areniscas permeables permicas portadoras de troncos carbonizados, en los cuales el carbón a veces fue totalmente reemplazado por el uranio, alcanzándose leyes de hasta 70 % U.

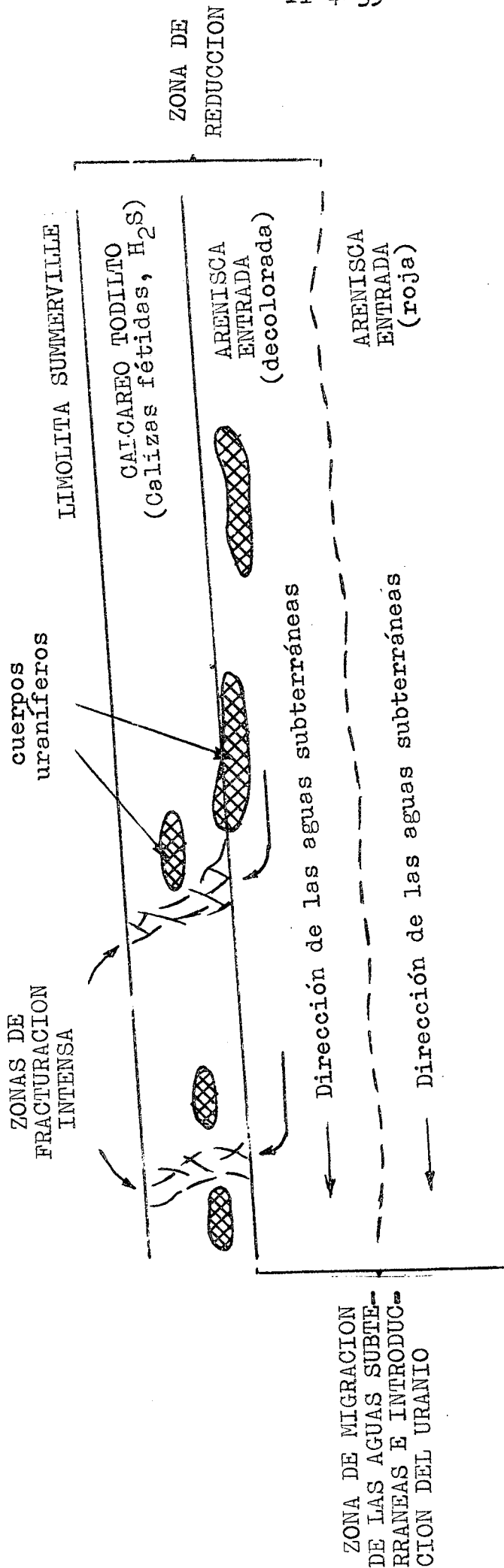


FIG. 7 CONDICIONES DE FORMACION DE UN DEPOSITO URANIFERO EN CALCAREOS POR ARRIBA DE UNA PALEOACUIFERA ARENISCOSA (yacimientos en la Formación Todilto, EUA). Adaptado de Adler, 1974.

6.3.2. CONTENIDOS EXCLUSIVAMENTE EN ROCAS SEDIMENTARIAS

6.3.2.1. Con control por pérdida de presión

En el oeste de los EUA se encuentran los mejores ejemplos de precipitación del uranio a lo largo de "cinturones", debido al cambio de gradiente regional de los líquidos dentro de una misma formación (Noble, 1960). Con tal control se formaron muchos de los yacimientos uraníferos del Uravan Mineral Belt (Colorado), Lisbon Valley Belt (Utah) y San Juan Belt (New México), Fig.8.

El distrito de Big Indian, en cambio, ofrece excelentes ejemplos para ilustrar el caso de la precipitación del uranio por brusca pérdida de presión en el contacto de dos rocas sedimentarias con muy diferente permeabilidad.

La Formación Chinle (Neotrias), de carácter fluvial e integrada con limolitas, areniscas, lutitas y conglomerados, por lo común yace en discordancia paralela sobre la Fm. Moenkopi (Eotrias), pero en el distrito de Big Indian ésta última falta, por lo cual la primera se apoya en discordancia angular sobre la Fm. Cutler (Pérmico), la cual en su parte alta incluye un conspicuo banco de arenas cuarzosas puras y casi sueltas ("sugar sand"), muy permeables y porosas.

Cuando Chinle yace sobre Moenkopi (en varios distritos, como San Rafael Swell, etc) incluye depósitos uraníferos de volumen reducido a mediano, en cuyo control de formación participaron las estructuras intraformacionales (paleocanales), el contenido de materia orgánica, etc (ver 6.3.2).

Pero cuando Chinle se apoya sobre Cutler, sus líquidos escapan rápidamente por la "sugar sand" y en el contacto de ambas rocas o en sus vecindades se produce una abundante precipitación de uranio (Fig. 9), dando lugar a veces a depósitos de alta ley (0,4 % U).

Este distrito comprendió grandes yacimientos, como Mi Vida Mine, Radon, etc en los cuales el mineral principal fue la tyuyamunita, pero también apareció uraninita, cuando el contenido orgánico de la roca huésped era elevado (Chinle basal) o cuando la acumulación original de minerales amarillos fue luego cubierta por el "water table".

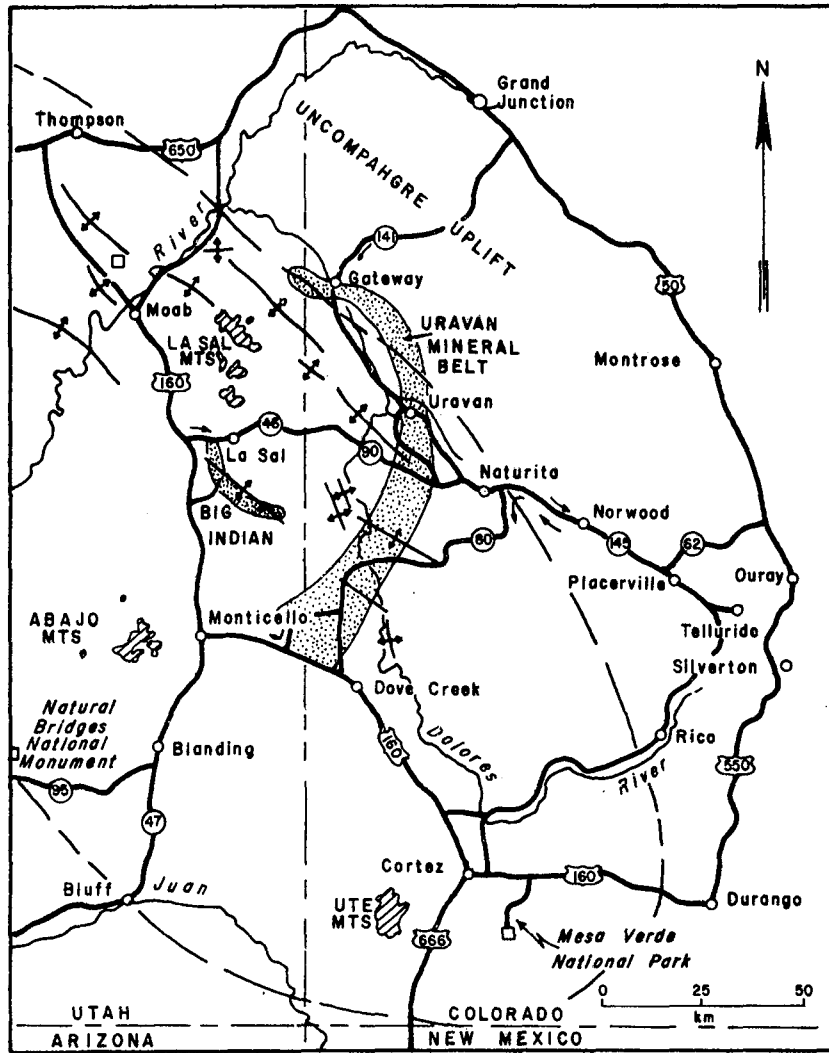
6.3.2.2. Preferentemente relacionados con estructuras u otras características intraformacionales

Las estructuras intraformacionales, per se, sólo ayudan en el proceso de precipitación del uranio, pero éste debe ser producido por la acción de otros factores, por lo general la reducción o adsorción.

En Chihuido del Medio (Neuquén, Argentina), la Formación Diamante (Cenomaniana) incluye bancos arenosos arcósicos fluvio-deltaicos con fuerte estratificación entrecruzada, comprendidos entre otros impermeables (limolitas rojas).

En muchas de las intersecciones basales de los frentes de entrecruzamiento se formaron pequeños pero numerosos cuerpos mineralizados (1-2 m de ancho; 2-10 m de largo; 0,20-0,50 m de espesor), con U, V, Cu y Fe, además de abundante materia carbonosa vegetal (Fig. 10). El tenor en U oscila entre

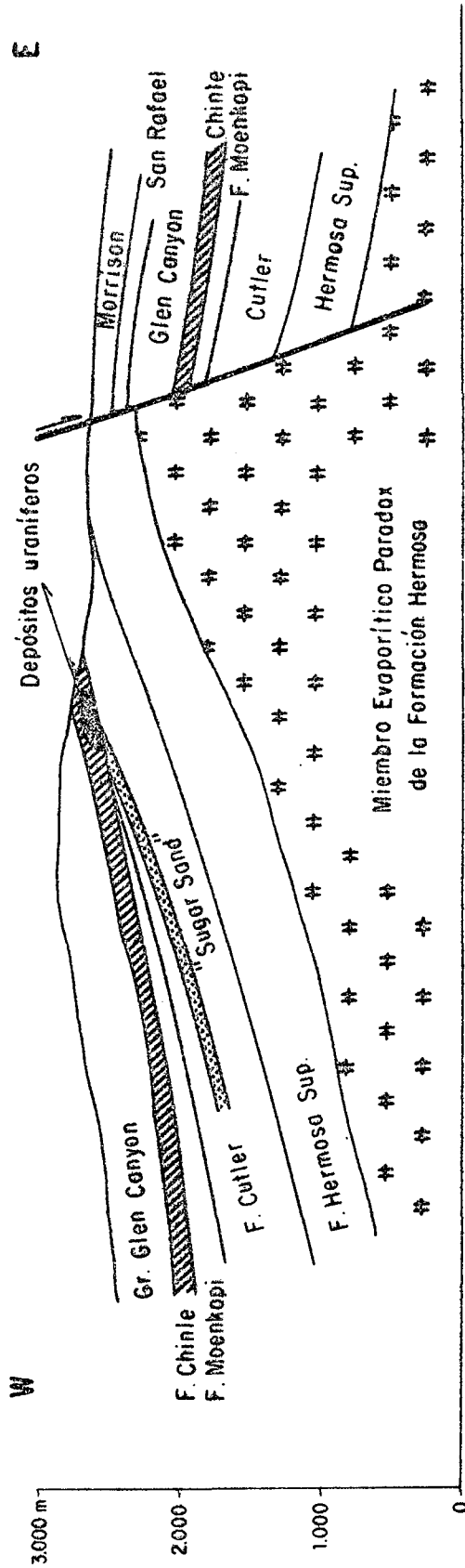
Fig. 8



URAVAN MINERAL BELT, COLORADO, E.U.A.

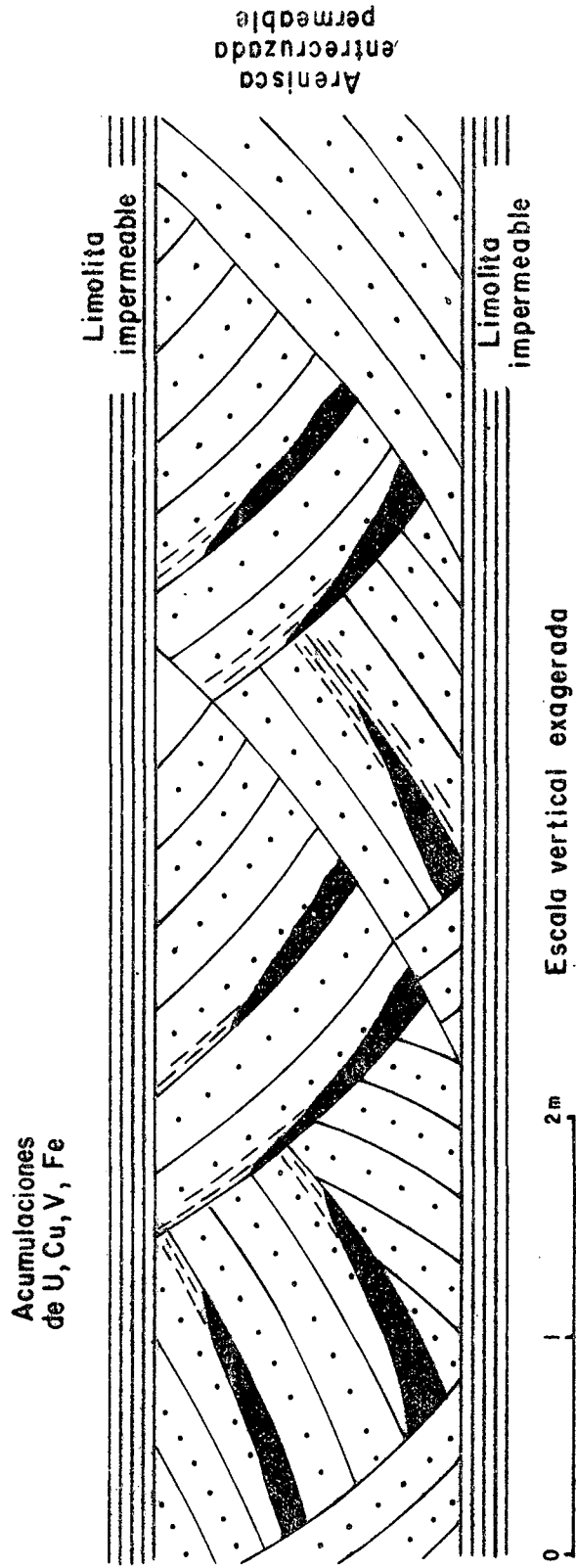
Fig. 9

DISTRITO BIG INDIAN, UTAH, E. U. A.



Control de los depósitos uraníferos por diferencias de presión de las soluciones mineralizantes, en el contacto de la Formación Chinle con el "Sugar Sand" de la Formación Cutler (U.S.A.E.C. 1959).

Fig. 10



LENTES MINERALIZADAS EN ARENISCAS ENTRECruzADAS EN CHIHUIDO DEL MEDIO, NEUQUEN (ARGENTINA)

0,05 y 2 %, el de Cu es de 4 % y el de V_2O_5 de 3 %.

La mineralización ha sido controlada por:

- a) El factor litológico: el entrecruzamiento de las areniscas.
- b) El factor reductor: la presencia de materia orgánica.
- c) La adsorción: producida por el hierro coloidal hematítico.

En el distrito de Dera Ghazi Khan (Pakistán), el uranio que es actualmente lixiviado de los cuerpos mineralizados aflorantes encuentra lugar preferencial de concentración secundaria en las láminas de entrecruzamiento de las areniscas de la Formación Siwalik (Stipanovic, 1977).

Otros buenos ejemplos sobre la importancia de las estructuras intraformacionales en la concentración del uranio se encuentran en los depósitos vinculados con paleocanales.

Como antes se indicó, la Fm. Chinle yace en discordancia erosiva sobre la Fm. Moenkopi en muchas partes del oeste de los EUA. La misma incluye numerosos paleocanales tanto en su base entallada en Moenkopi como en su propio espesor, y en muchas de estas estructuras se localizaron acumulaciones uraníferas en los distritos de Monument Valley (Arizona, Utah) y San Rafael Swell (Utah). Figs. 11 y 12.

La mineralización principal es de uraninita, asociada con coffinita, calcopirita, pirita, etc y en los sectores oxidados hay carnotita, tyuyamunita, torbernita, azurita, malaquita, etc. El tenor medio en U osciló entre 0,2 y 0,35 % U.

Los cuerpos uraníferos contenidos en estos paleocanales fueron por lo general pequeños a medianos: los de Monument Valley tenían de 10 a 50 m de longitud, 5-10 m de ancho y entre 0,5 y 3 m de espesor. Los de San Rafael Swell eran mayores, con extensiones de hasta 500 m, ancho de 100 y potencia de 2 a 4 m.

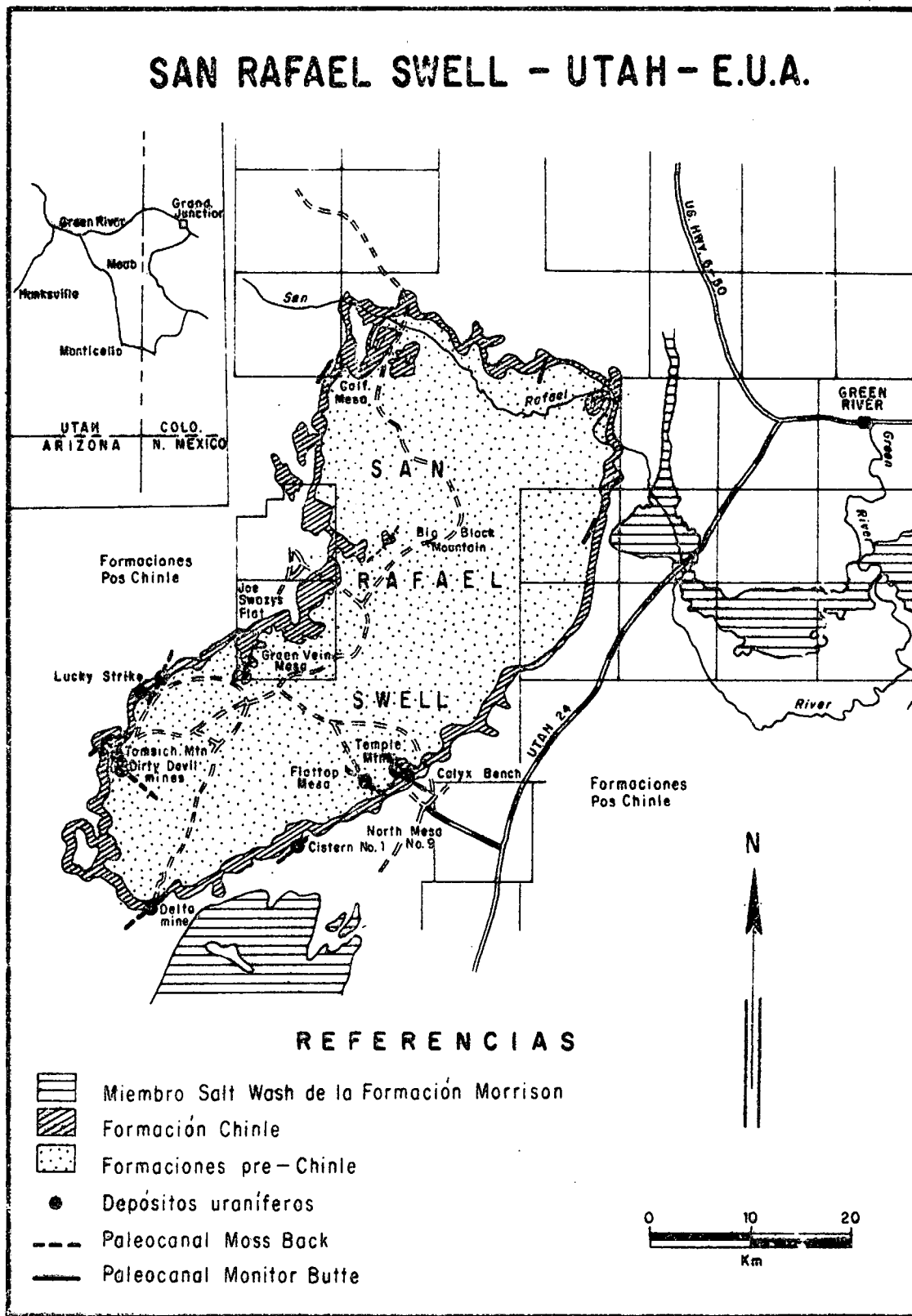
En el control de la mineralización actuaron dos factores principales:

- La litología de la roca portante que permitió una fácil circulación de las soluciones cargadas a través de ella, pues las areniscas de los paleocanales son de granulometría más gruesa que la de las circundantes.
- El efecto reductor, pues el contenido en materia orgánica de los paleocanales es mayor que en el resto de la formación, consistiendo de restos carbónosos vegetales o de material asfáltico.

La uraninita precipitada por reducción aparece en distintas formas:

- Como asfaltita uranífera intersticial entre los granos de cuarzo de las areniscas.
- Como bochas de uraninita asfáltífera dentro de los conglomerados.

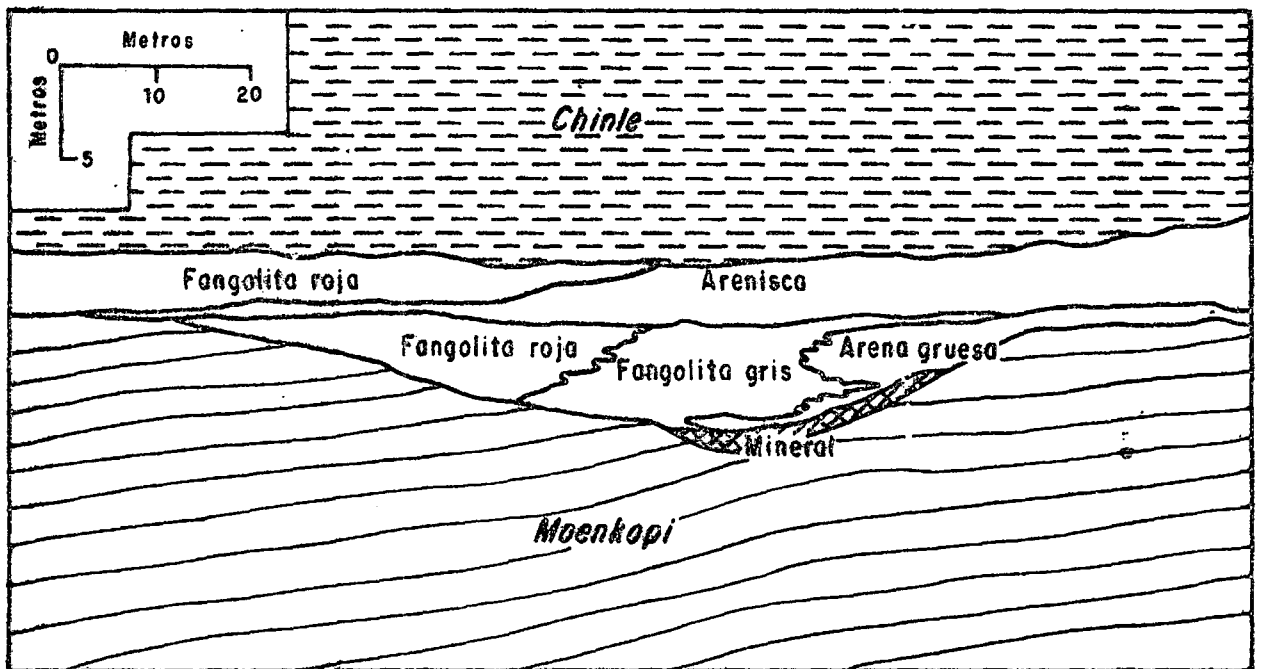
Fig.11



Ubicación de los cuerpos mineralizados y su relación con los paleocanales (U.S.A.E.C., 1959, adecuado)

Fig.12

WHITE CANYON, UTAH, E. U. A.



Paleoconal con mineralización uranífera, erosionado en la Formación Moenkopi y rellenado por el miembro inferior (Shinarump) de la Formación Chinle (Según Miller, 1955, adecuado).

- Reemplazando al material carbonoso vegetal en las areniscas.

En el distrito Malargüe (Mendoza, Argentina), areniscas y conglomerados finos fluvio-deltaicos de la Fm. Diamante (Cenomaniano) incluyen varios cuerpos cupro-uraníferos pequeños (en total < 1.000 t U), los cuales se distribuyen en un intervalo estratigráfico de 500 metros (Fig. 13).

Los bancos mineralizados, de colores claros, se intercalan entre limolitas pardo-rojizas y su contenido en U varía entre 0,05 y 5 % U (medio de 0,15 % U) y el de cobre entre 0,5 y 3 % Cu (medio 2 %).

Por debajo del "water table" se encuentra uraninita, calcopirita, calcosina, pirita y escasa bornita pero por arriba del nivel acuífero hay carnotita, tyuyamunita, uranofano, metautunita, malaquita, azurita, etc. El contenido de restos carbonosos vegetales es común, pero el de material asfáltico es muy abundante y pertenece a 5 generaciones distintas de pirobitúmenes.

En un principio, se consideró a estos depósitos como hidrotermales, pero luego se demostró que la mineralización del uranio es exogénica (Brodkorb, 1968; Linares, 1966, 1968) e independiente de la cuprífera, que podría tener un origen hipógeno.

Las concentraciones de uranio están controladas por:

- La litología de la roca portante, pues las mineralizaciones aparecen en los sectores del banco arenoso menos cementados por material calcáreo.
- La reducción, provocada por 1 sola de las 5 generaciones de asfaltitas.

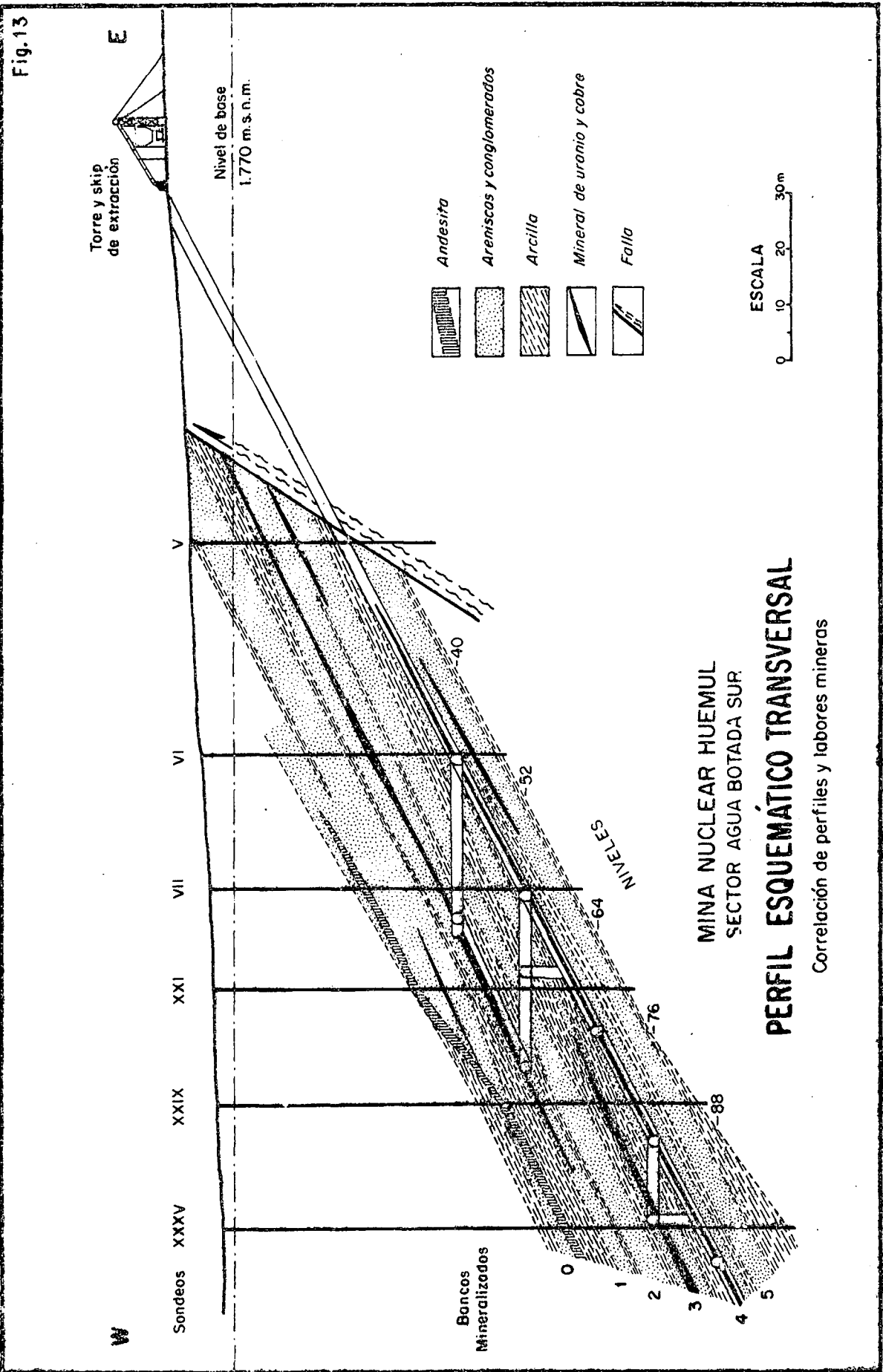
6.3.2.3. Preferentemente relacionados con fenómenos de oxi-reducción (Redox)

Como se indicó en 5.2.1, muchos yacimientos uraníferos se vinculan con frentes de oxi-reducción, resolviéndose según dos tipos morfológicos distintos: ya sea como cuerpos tabulares o en "rolls", debiéndose aclarar que también hay depósitos de "roll-type" vinculados con otros procesos (Adler, IAEA 1974).

La precipitación del uranio se produce cuando varía la fuerza electromotriz de las soluciones cargadas y dicho cambio puede ser causado por diversos factores:

- a) Una concentración diferencial de materia carbonosa vegetal dentro del estrato portante, la cual produce H₂S por la acción de bacterias anaerobias y el H₂S reduce al U hexavalente precipitándolo como tetravalente.
- b) La acción reductora del H₂S o de materias húmicas producidos en otros estratos. Se considera que éste es el factor más importante en la generación de este tipo de depósitos, tanto los tabulares como los de "roll-type".
- c) El contacto entre aguas subterráneas frescas (con oxígeno) y otras salobres, conteniendo H₂S o hidrocarburos, que produce depósitos en "roll".

Fig. 13



A. Depósitos tabulares

Los ejemplos más típicos se encuentran en el distrito de Grants (New México) y el mapa de la Fig. 14 ilustra como todas las acumulaciones uraníferas se localizan dentro del sector reductor del frente de Redox y que las areniscas rojas del sector oxidante no contienen ningún cuerpo mineralizado.

La geometría de los cuerpos tabulares es muy sencilla pues se resuelven como lentes uraníferos (pequeños o grandes), peneconcordantes con el estrato huésped.

En Grants, la Mina Jack Pile, una de las más grandes de los EUA, comprendió dos cuerpos mayores subhorizontales (los estratos también lo son) alojados en la "Arenisca Jack Pile", que representa una lengua psamítica fluvial canalizada cerca del tope del Miembro Brushy Basil, esencialmente lutítico, del techo de la Formación Morrison (Jurásico).

La "Arenisca Jack Pile", de hasta 60 m de potencia, es entrecruzada, de grano medio, feldespática e incluye restos de material carbonoso vegetal (Fig. 15).

El cuerpo norte comprende dos niveles ondulados pero chatos, de 400 m de ancho por 1.000 m de largo y potencia media de 6 m, la cual puede llegar a 15 m. El cuerpo sur también se reparte en dos niveles tabulares y es más pequeño: 100 x 230 m y hasta 15 m de espesor.

La mineralización consiste en una mezcla íntima de coffinita y uranita con complejos orgánico-uranosos (tucholita) y en los sectores meteorizados hay carnotita, tyuyamunita, uranofano, etc, habiendo sido la ley media de este depósito de 0,25 % U.

Se estima que la mineralización del mismo se produjo por la reducción causada por el H₂S proveniente de niveles inferiores y que las oscilaciones del "water table" son las responsables de su distribución tabular.

B. Depósitos de "roll-type"

Los depósitos de "roll-type" se forman por la influencia de varios factores, los que pueden actuar en forma independiente o asociada. Veremos algunos de los ejemplos más ilustrativos de los tipos de "rolls" que se conocen en los EUA, donde son frecuentes en capas horizontales o sub-horizontales. Su presencia en otros países no es común.

El caso más típico se muestra en la Fig. 16, cuando las aguas frescas oxigenadas, previamente cargadas en uranio, penetran en un estrato permeable confinado y rico en pirita. En principio, las mismas, en su desplazamiento por gradiente de presión, van oxidando a la pirita y producen hematita y limonita, pero aún pueden mantener al uranio en solución, bajo forma hexavalente.

Pero cuando la fuerza electromotriz de las soluciones decrece aún más y ellas no son capaces de mantener al U solubilizado, éste precipita como uranio tetravalente debido al dominio del ambiente reductor, y lo hace formando los depósitos de "roll-type", cuya morfología puede ser simple o

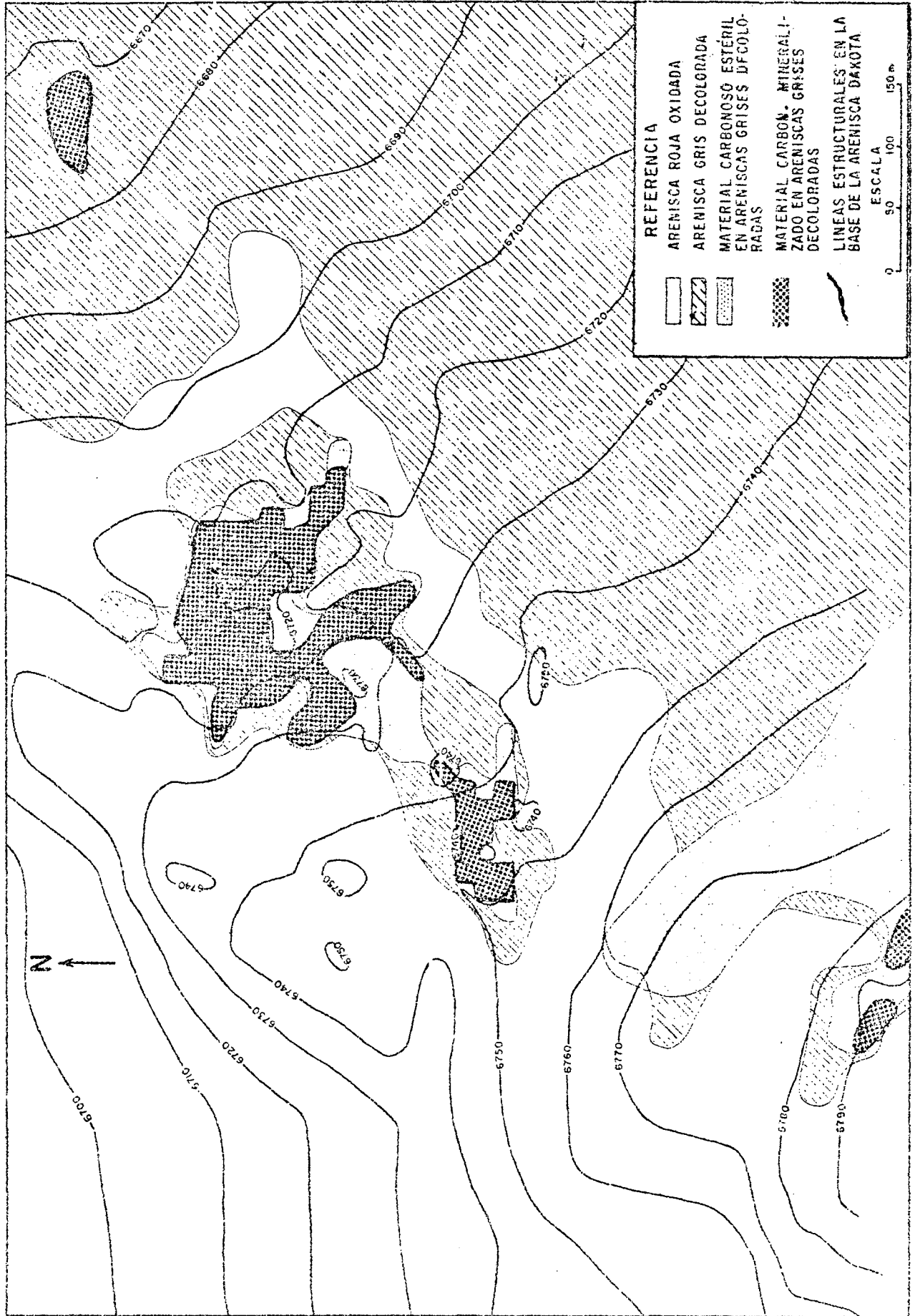
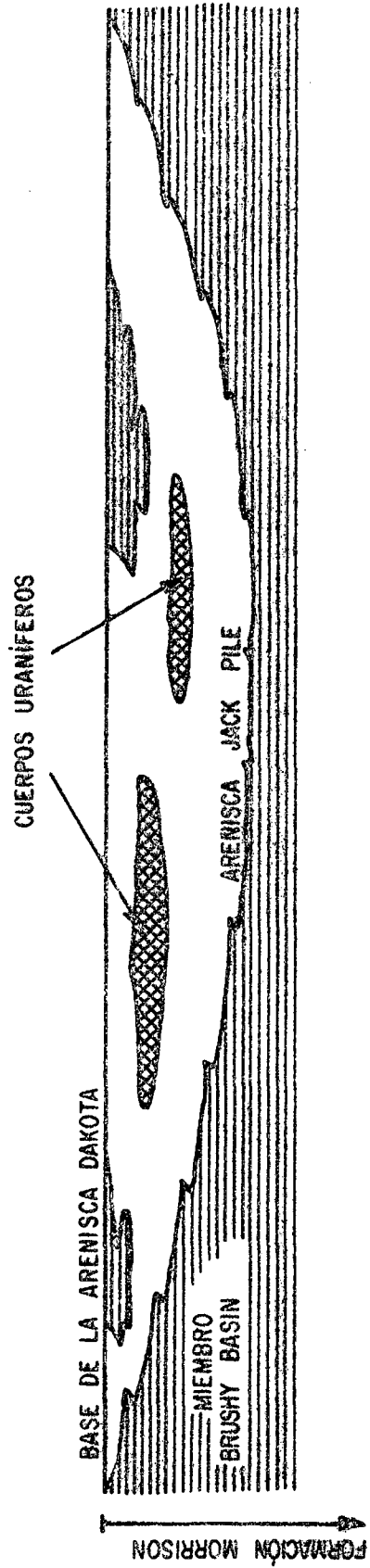


Fig.14 Hogan Mine, New Mexico (EUA), según Rapaport (en Kelley, 1963)

Fig. 15



ESQUEMA DE LOS CUERPOS URANIFEROS DE JACK PILE MINE (GRANTS, NEW MEXICO, EUA)

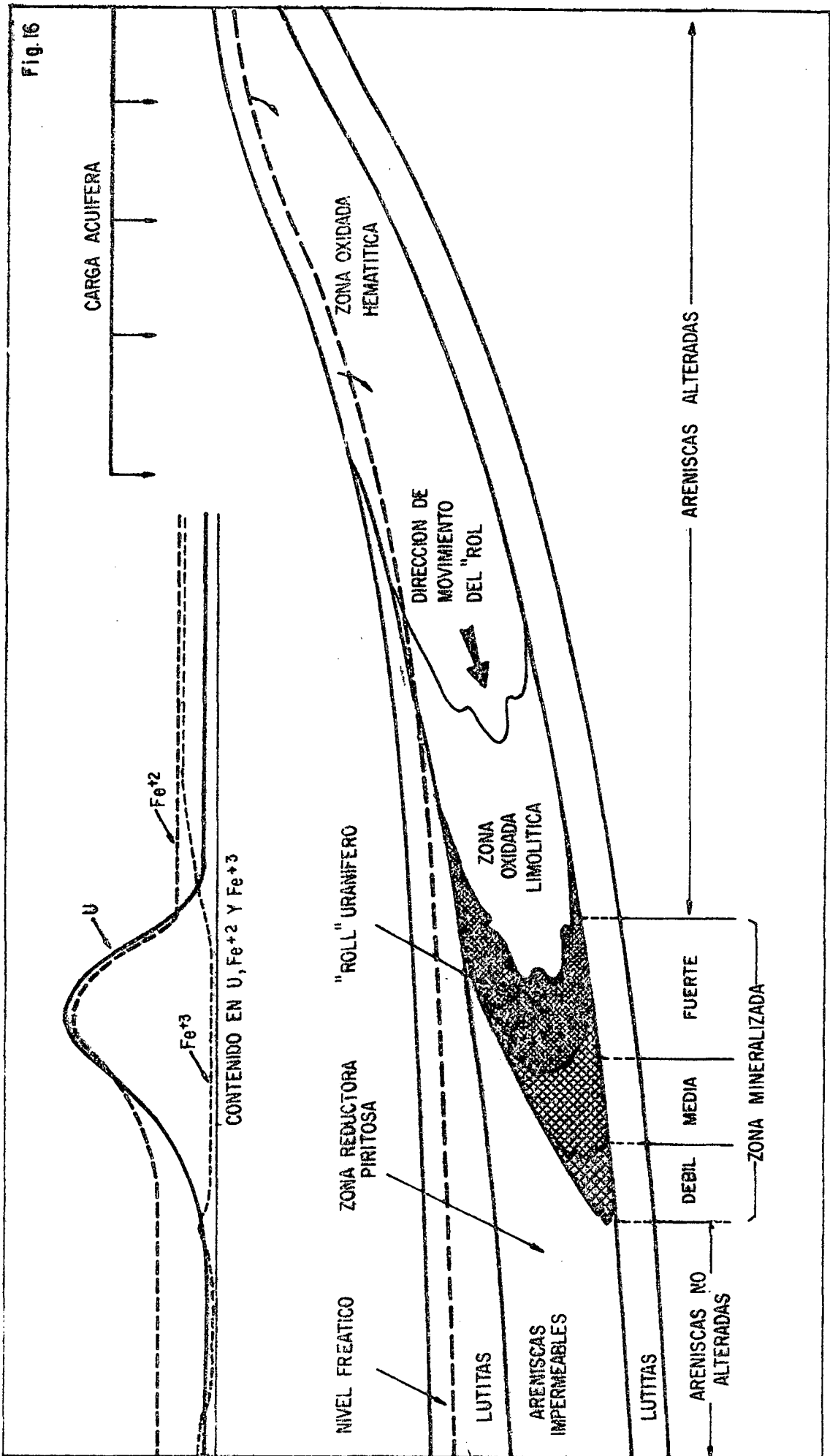


Fig. 16

ESQUEMA TIPO DE FORMACION DE UN DEPOSITO URANIFERO TIPO "ROLL"

compuesta (simples, dobles, etc).

En la Fig. 16 también se ilustra la relación entre el contenido en uranio del estrato interesado y el de hierro, con sus formas férrica y ferrosa.

Otro tipo de "roll" tiene el mismo principio básico de formación por oxi-reducción, pero es provocado por factores distintos a los anteriores, ya que la pirita no juega ningún papel y la precipitación del uranio se produce en la zona de contacto de una acuífera fresca, oxidante, con otra confinada, reductora y cargada de H₂S o de hidrocarburos (Fig. 17), como en el caso de Rifle Mine (USA).

Menos frecuentes e importantes son los depósitos en "roll" provocados exclusivamente por la presencia de material carbonoso en areniscas eólicas, donde las bandas de Redox no tienen ninguna influencia.

Un cuarto tipo, muy interesante, se presenta en el SW de Texas (EUA) y aparece vinculado con estructuras petrolíferas o gasíferas asociadas a domos de sal. El H₂S y los hidrocarburos gaseosos migran hacia arriba a través de la grieta, fracturas, etc y al llegar a las areniscas permeables superiores del Terciario (Oakville Sandstone del Mioceno y Gollad Sand del Plioceno), por las cuales circulan aguas cargadas con uranio, precipitan a éste según el modelo de "roll", pero con la parte convexa del mismo orientada hacia abajo. Además, todos los cuerpos mineralizados tienden a alinearse en forma subparalela al rumbo de las areniscas huéspedes.

6.3.2.4. Adsorción por materiales coloidales

En algunos de los casos citados anteriormente se indicó que la adsorción del uranio por materiales coloidales fue uno de los factores que contribuyeron a su concentración (arcillas en Cañadón Gato; hematita coloidal en Chihuido del Medio, etc).

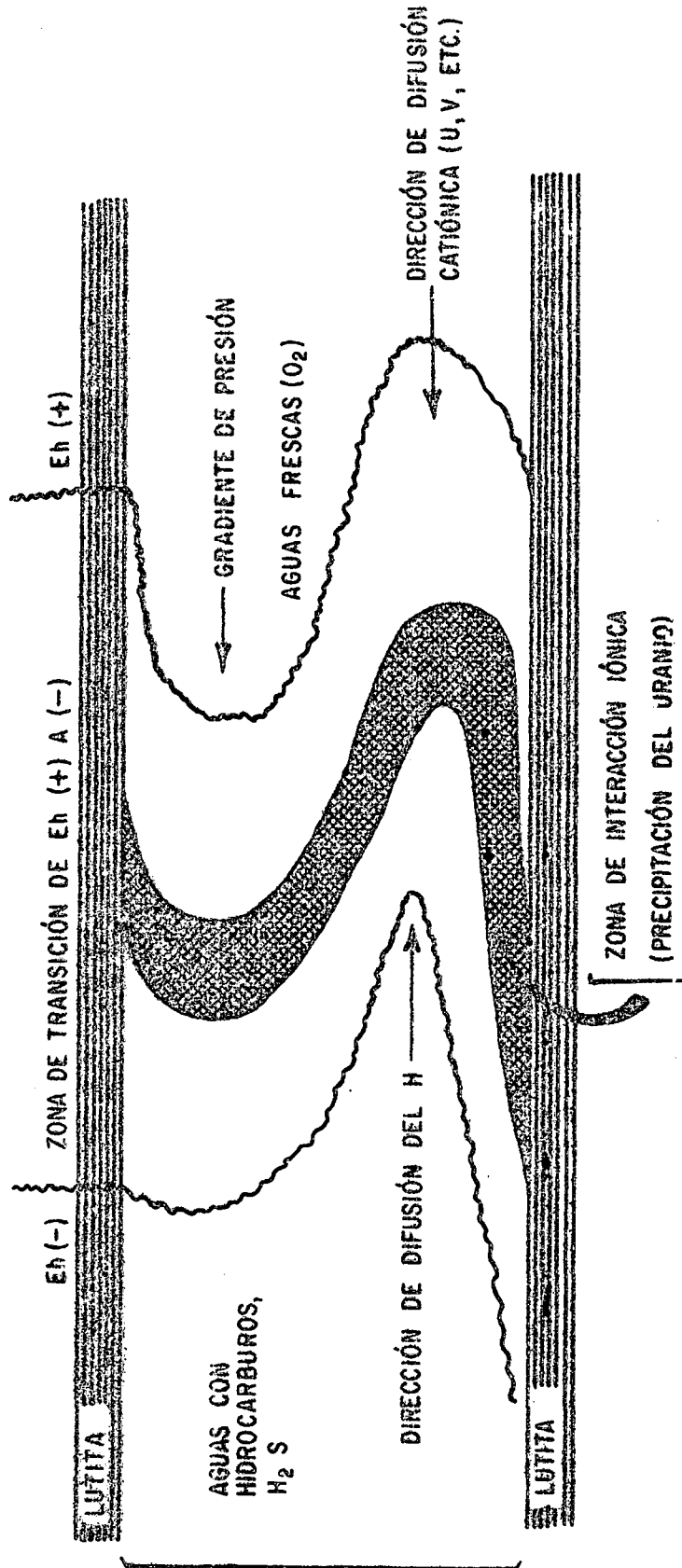
Sin embargo, el ejemplo más típico al respecto se encuentra en Zambia, al oeste de Siavonga, donde aflora una secuencia continental del Sistema del Karroo (Fig. 18).

Soluciones cargadas con uranio (lixiviado de áreas cristalinas cercanas), produjeron dos tipos de depósitos uraníferos completamente diferentes, de acuerdo con la composición de la roca huésped que tuvieron que atravesar.

En el Super Grupo Karroo Superior predominan psamitas claras levemente conglomerádicas y entrecruzadas, que se intercalan entre delgados bancos de limolitas. En las areniscas se alojan típicos cuerpos uraníferos de "Sandstone-type" en el distrito de Namukulimba, producidos por la reducción causada por la materia orgánica intraformacional. Debajo del "water table" hay uraninita y por arriba, carnotita, tyuyamunita y autunita.

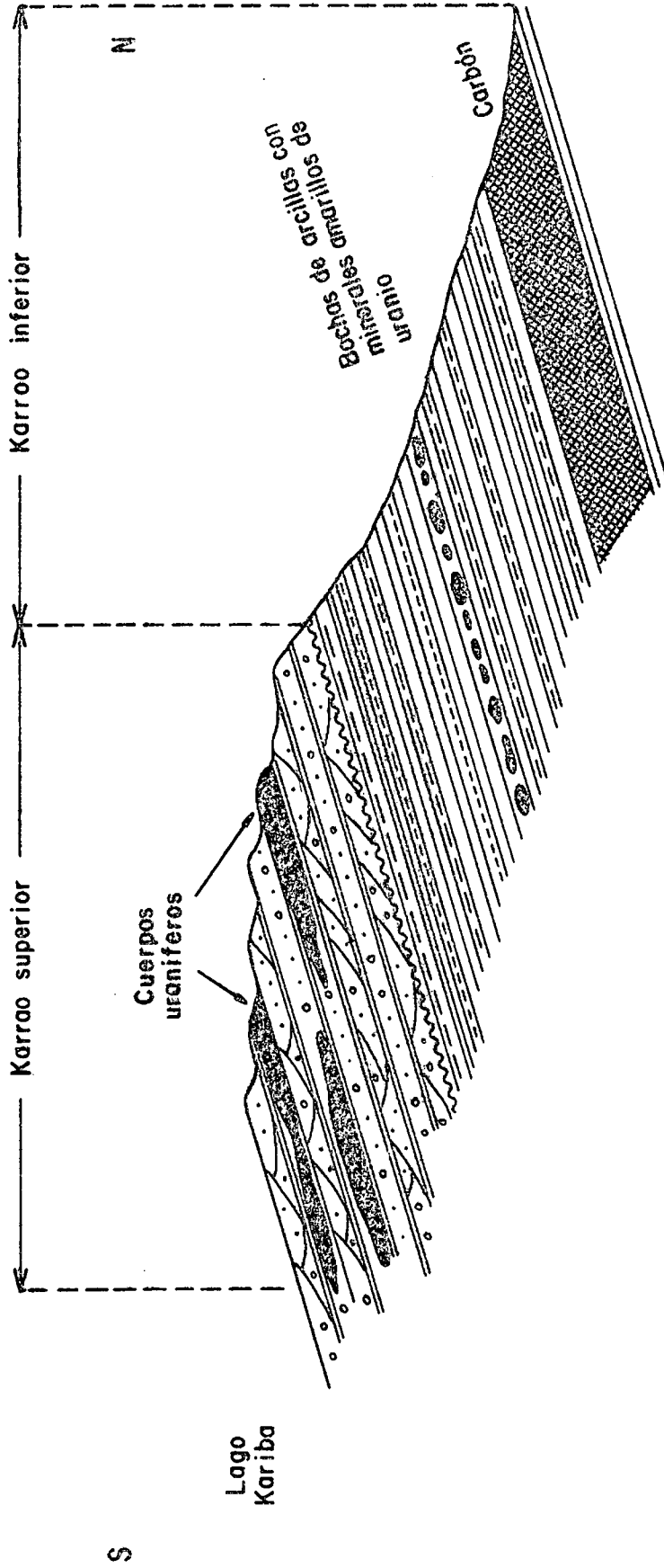
El Super Grupo Karroo Inferior se integra, en cambio, con una sucesión de limolitas y lutitas pardo-rojizas, con algunos niveles de areniscas finas arcillosas, algo más permeables, los que a veces incluyen numerosos nódulos, "clay-balls", etc de arcillas muy puras y blancas, de hasta 10 cm Ø.

FIG. 17



CONDICIONES DE FORMACIÓN DE DEPÓSITOS "ROLL-TYPE" EN EL CONTACTO DE AGUAS FRESCAS (OXIGENADAS) CON OTRAS REDUCTORAS (H₂S, HIDROCARBUROS, ETC., COMO EN RIFLE MINE (EUA). ADAPTADO DE ADLER, 1974.

Fig. 18



DEPOSITOS URANIFEROS EN SIAVONGA (ZAMBIA) (Según Stipanovic, 1975)

El uranio hexavalente que pudo circular por los niveles algo más permeables, fue fuertemente adsorbido por los nódulos arcillosos, que muestran una gran concentración individual, de minerales amarillos, con hasta 20 % U.

6.3.2.5. Contenidos en rocas calcáreas

Los calcáreos no constituyen buenos materiales para albergar acumulaciones exógenas epigenéticas de uranio de gran volumen y sólo algunos depósitos pequeños se formaron en conexión con tales tipos de rocas huéspedes, pero siempre dentro o en las cercanías de sus sectores fracturados, donde se produjo una condición de permeabilidad secundaria.

Un buen ejemplo lo constituyen las acumulaciones uraníferas del Todilto Limestone del distrito de Grants en New México (EUA), que es una formación lacustre compuesta por calcáreos impuros, calcáreos limosos y calizas fétidas, con alto contenido de materia orgánica.

Las aguas subterráneas del distrito son muy fértiles en uranio y produjeron grandes cuerpos mineralizados cuando encontraron favorables rocas huéspedes (areniscas) y factores de concentración, como en el caso ya citado de la Mina Jack Pile.

Pero cuando las mismas circularon a través de las areniscas de la Fm. Entrada (Fig. 7), infrayacente a la Fm. Todilto, y llegaron a sectores fracturados de esta última, pudieron ascender por las grietas y el uranio hexavalente llevado en solución fue precipitado por el alto contenido en materia orgánica de las calizas fétidas, o por la emanación de H₂S a partir de las mismas.

Los cuerpos mineralizados de Todilto fueron pequeños del orden de 10 x 20 m y 1 m de espesor, con leyes medias de 0,30 % U.

En la zona de Guandacol (La Rioja, Argentina), se produjo un caso similar. El uranio movilizado por las aguas circulantes produjo espectaculares enriquecimientos al ser precipitado y al reemplazar al material carbonoso de troncos fósiles incluidos en la Fm. Panacán (Pérmico), llegando a dar concentraciones de hasta 70 % U, con minerales negros.

Pero las mismas soluciones dieron lugar a otro tipo de depósitos cuando atravesaron los sectores fracturados de las calizas marinas ordovícicas del distrito. Allí pueden encontrarse ricas pátinas de minerales amarillos en las grietas, como también enriquecimientos en bolsillos de arcillas contenidos en las mismas (arcilla residual de la alteración de los calcáreos o de proveniencia foránea).

6.3.2.6. Acción de aguas termales y otros procesos de lixiviación-acreción muy recientes

Ya se citó el caso de los caliches uraníferos de gran volumen de Australia, Somalia, etc, los cuales se formaron en tiempos bastante recientes, a partir de amplias zonas de aporte precámbricas y bajo condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas especiales.

Hay otros tipos de depósitos que muestran una cierta similitud gené

tica con los anteriores, pero que son de reducida importancia, pues los parámetros de los factores que contribuyeron a su engendramiento son distintos.

Al norte de Roma, en Viterbo (Italia), hay un campo volcánico alcalino, en el cual los productos efusivos (brechas, tobas, etc) expulsados hace menos de 1.000.000 de años, se interestratificaron con sedimentos en las cuencas vecinas. Algunas de las tobas volcánicas claras y vítreas tienen un contenido medio de 20 ppm U, pero valores de 50 ppm U y aún más son frecuentes (Mitterpergher, en IAEA, 1970; Locardi, 1974; etc). Entre 400.000 y 500.000 años atrás, varios sectores de la cuenca se elevaron, permitiendo el afloramiento de las tobas uraníferas (Fig. 19).

En el área de Viterbo son comunes las vertientes de aguas volcánicas póstumas, cargadas con CO₂ o H₂S, las que lixiviaron el uranio de las tobas y lo movilizaron hacia los nuevos bajos, habiéndose determinado que el 50 % del uranio original fue completamente extraído de la roca madre (toba). Parte del mismo fue luego precipitado por reducción en ambientes fluviátiles o lacustres y los movimientos del "water table" terminaron por definir la morfología tabular de los cuerpos mineralizados, casi siempre vinculados con niveles de tobas redepositadas y la presencia de sulfuros de hierro. Como la mineralización es muy reciente, se registra un fuerte desequilibrio U/Ra, tanto negativo como positivo, ocurriendo el primero en las zonas alteradas y el segundo en las reductoras.

Los cuerpos uraníferos son pequeños, con extensión menor de 1 km², espesor medio por debajo de 1 m y leyes medias inferiores a 500 ppm U.

En Dechan, Azarbaijan (Irán) hay otro excelente ejemplo de mineralización exógena epigenética formada en tiempos muy recientes. (Fig. 20).

Un cuerpo de sienita nefelínica terciaria, muy meteorizada, contiene sectores extensos con una mineralización cupro-uranífera diseminada: 30 ppm U, 30 ppm Th y 2.000 ppm Cu. Por lixiviación y arrastre causados por las aguas superficiales, dichos metales fueron movilizados y concentrados diferencialmente en distintas rocas huéspedes.

Hay brechas de pequeñas fallas, con espesores comprendidos entre 0,50 y 3 m, donde el U llega a estar con hasta 700 ppm y el Cu con 40.000 ppm, pero el Th se mantiene con el mismo tenor que en la roca madre: 30 ppm. En su camino, las aguas fértiles llegaron a una pequeña cuenca sedimentaria cuaternaria, produciendo la mineralización del conglomerado de base, que para un espesor medio de 2 m tiene 200 ppm U, 15.000 ppm Cu y 30 ppm Th (hasta 45).

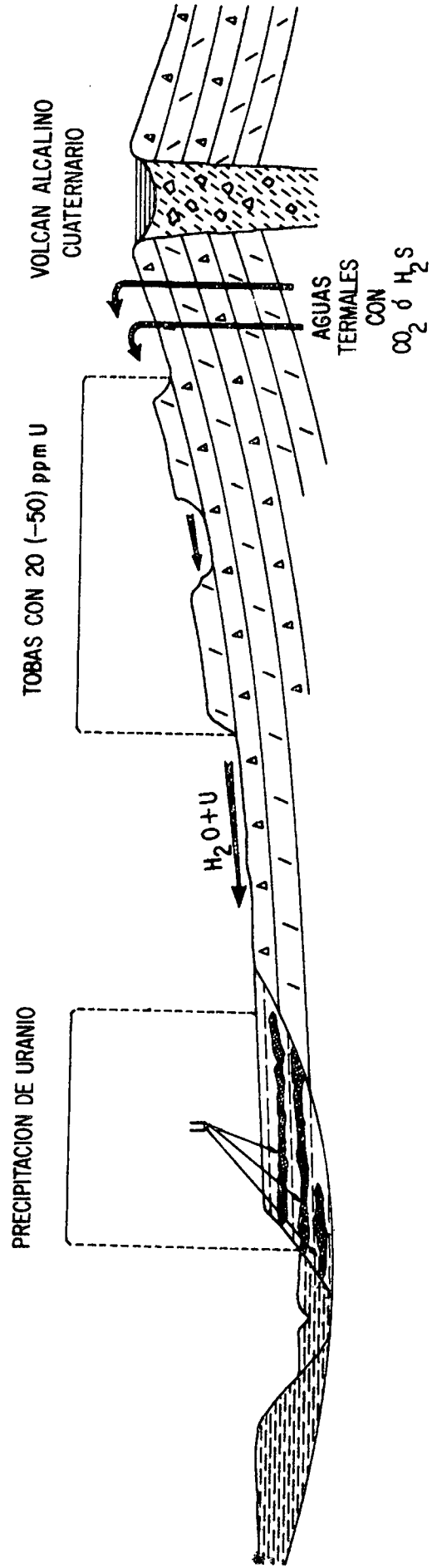
Este proceso de mineralización secundaria es muy reciente, neocuaternaria y los minerales de uranio están en desequilibrio.

6.4. DEPOSITOS URANIFEROS EXOGENOS CONTENIDOS EN SEDIMENTOS Y CON GENESIS ENMASCARADA

6.4.1. EL COPPER BELT DE ZAMBIA

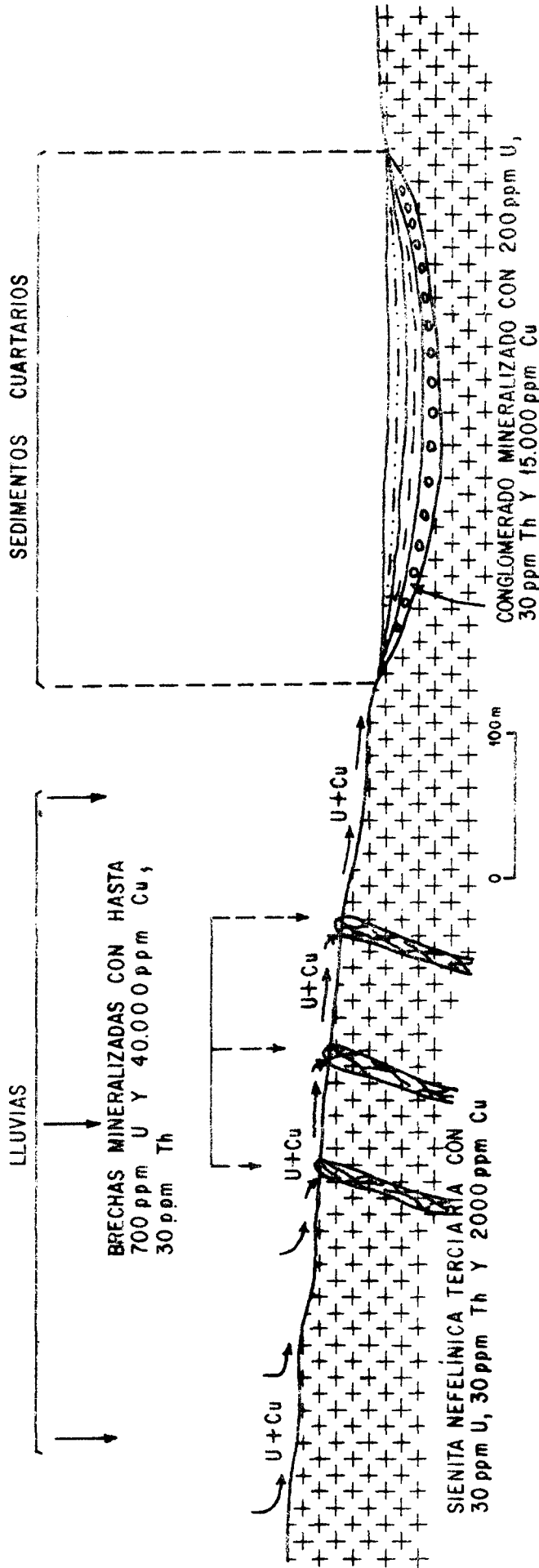
Los grandes yacimientos cupríferos del Copper Belt de Zambia, además de Co, Fe, etc incluyen cuerpos y manifestaciones uraníferas pequeñas, algunas de las cuales fueron explotadas hace años (Minas Nkana, Nchanga, etc).

Fig. 19



FORMACION DE LAS ACUMULACIONES URANIFERAS RECIENTES EN VITERBO, LAZIO (ITALIA)

Fig. 20



PROCESO DE FORMACIÓN DE LAS ACUMULACIONES EXÓGENAS EPIGENÉTICAS CUPRO-URANÍFERAS EN DECHAN, AZARBAIJAN (IRAN),
SEGUN STIPANIC, 1978

Desde su descubrimiento, este cinturón mineralizado fue considerado como típicamente hidrotermal y derivado de soluciones magmáticas que amanaban de "cuerpos graníticos intrusivos" y cercanos.

En 1929, Schneiderhöhn, después de visitar el Copper Belt, manifestó "in voce" su idea contraria a su génesis endógena, sosteniendo que el mismo tenía un neto control sedimentario exógeno, enmascarado por el posterior metamorfismo regional y luego publicó sus ideas en 1932.

A pesar de la incuestionable autoridad científica de Schneiderhöhn, no sólo la gran mayoría de los geólogos que trabajaban en la zona sino también buena parte de los genetistas de yacimientos minerales siguieron considerando al Copper Belt como un distrito hidrotermal, dada la marcada tendencia de aquellos tiempos a etiquetar como endógenos y vetiformes a todos los depósitos de este tipo.

En 1972, Garlick analizó el problema y con toda claridad demostró como estas mineralizaciones cupro-cobalto-ferro-uraníferas tienen una típica génesis sedimentaria, enmascarada por un posterior proceso de metamorfismo regional.

Todos los depósitos del Copper Belt están incluidos en dolomitas, lutitas, cuarcitas y conglomerados de la Serie de Minas, la cual, junto con la Serie de Kundulungu que la cubre (con el "Gran Conglomerado" basal, lutitas y dolomitas), integran el Sistema de Katanga (450-840 m.a.).

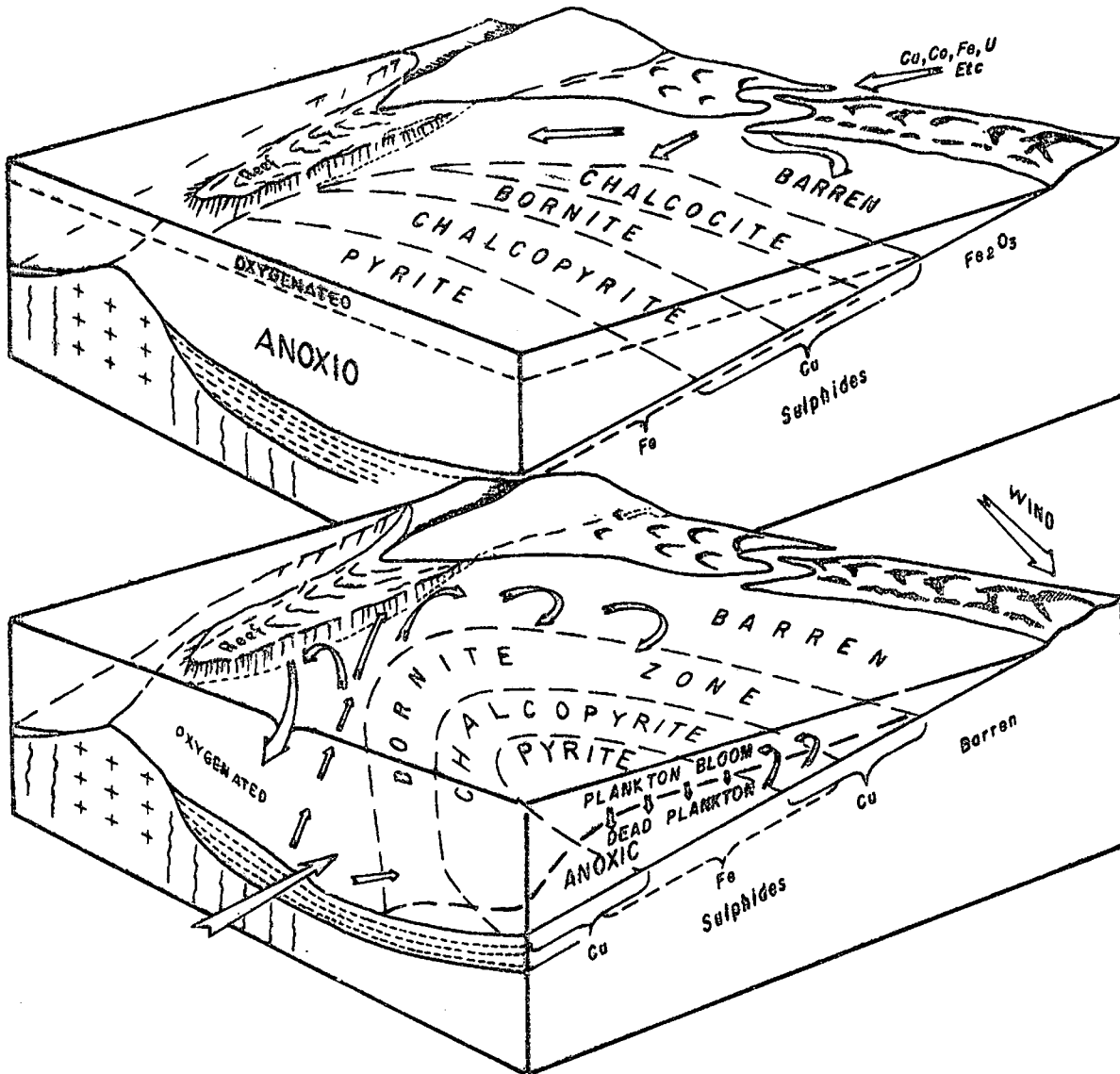
Como puntos básicos se demostraron dos hechos sorprendentes:

- i) Que los cuerpos graníticos del Geosinclinal de Katanga en el Copper Belt, de los cuales se decía provenían las soluciones mineralizantes, son anteriores (1.100-1.300 m.a.) a estas últimas y a las rocas huéspedes cupríferas, de la Serie de Minas (620-840 m.a.).
- ii) Que las "apófisis" o "pegmatitas" provenientes de los granitos y que "intruirían" a la Serie de Minas, eran meras arcosas entrecruzadas y recristalizadas.

Luego, Garlick (Op. cit.) explicó sencillamente todo el proceso mineralizante del Copper Belt por simple difusión primaria del Cu, Fe, Co, U, etc traídos en solución desde las zonas de aporte dentro de una cuenca sedimentaria cubierta por aguas (Fig. 21).

En los momentos en que las mismas tuvieron bajas energías (sin corrientes), sólo las aguas superficiales de la cuenca estaban oxigenadas y todo el resto del cuerpo líquido quedó bajo un régimen euxínico, inclusive sus bordes bastante proximales. Los metales disueltos por las aguas fluviales precipitaron por reducción en el cuerpo acuoso estable a partir de la boca de los ríos de descarga, haciéndolo primero el Cu y luego el Fe (Fig. 21 de arriba).

Si bajo tales condiciones se produjo luego la diagénesis de los sedimentos y su posterior metamorfismo, tal distribución singenética original pudo preservarse.



GENESIS DE LOS YACIMIENTOS METALIFEROS DEL COPPER BELT, EN ZAMBIA
(Cu, Fe, U, etc), SEGUN GARLICK

Pero si en cambio las aguas adquirieron cierta energía a causa de las corrientes producidas por los vientos costaneros (hay pruebas sobre la existencia de dunas), el ambiente oxidante pudo llegar a mayores profundidades (Fig. 21 de abajo) y el sector euxínico quedó limitado a las partes más profundas de la cubeta. La distribución mineral primaria se alteró y se hizo más concordante con la geometría general de la cuenca, pero siempre manteniendo una zonación bien definida. Para el caso del Copper Belt de Zambia, dicho ordenamiento con control sedimentario se hace evidente en la Fig. 22, que muestra que la misma secuencia mineral y con idénticas extensiones se repite en dos localidades distantes entre sí 22 km, como las de Chambesi y Nkana (esta última con cuerpos uraníferos).

El simple proceso de depositación mineral singenética en ambiente sedimentario fue luego enmascarada por un metamorfismo regional, que llegó al grado de clorita-biotita de la facies de esquistos verdes inferiores en la zona oriental del Copper Belt, pero hacia el oeste alcanzó la de tremolita-actinolita-epidoto en Nkana y la de granata a 30 km al oeste de Chingola.

La importancia de la dilucidación del origen no hidrotermal de los yacimientos cupro-uraníferos del Copper Belt de Zambia es muy grande, pues ellos se vinculan estrechamente con los de otro cinturón mineralizado que se desarrolla en el Zaire, el cual incluye al que fuera el gran depósito uranífero de Schinkolobwe y los menores de Swambo y Kolongwe, también referidos axiomáticamente como endógenos hidrotermales.

6.4.2. EL CINTURON URANO-CUPRIFERO DEL ZAIRE. EL DEPOSITO DE SCHINKOLOBWE

El eje del gran geosinclinal de Katanga (en esencia precámbrico) pasa por Kinshasa y con dirección NW se dirige hacia Jadotville para doblar luego hacia el oeste, con rumbo hacia Kolwesi (Fig. 23).

Paralelamente y al oeste de dicho eje se desarrolla una gran línea estructural de anticlinales, en la cual cae el del Copper Belt y también en su área de influencia lo hacen los depósitos uraníferos de Schinkolobwe, Swambo y Kolongwe, del Alto Katanga, en el Zaire.

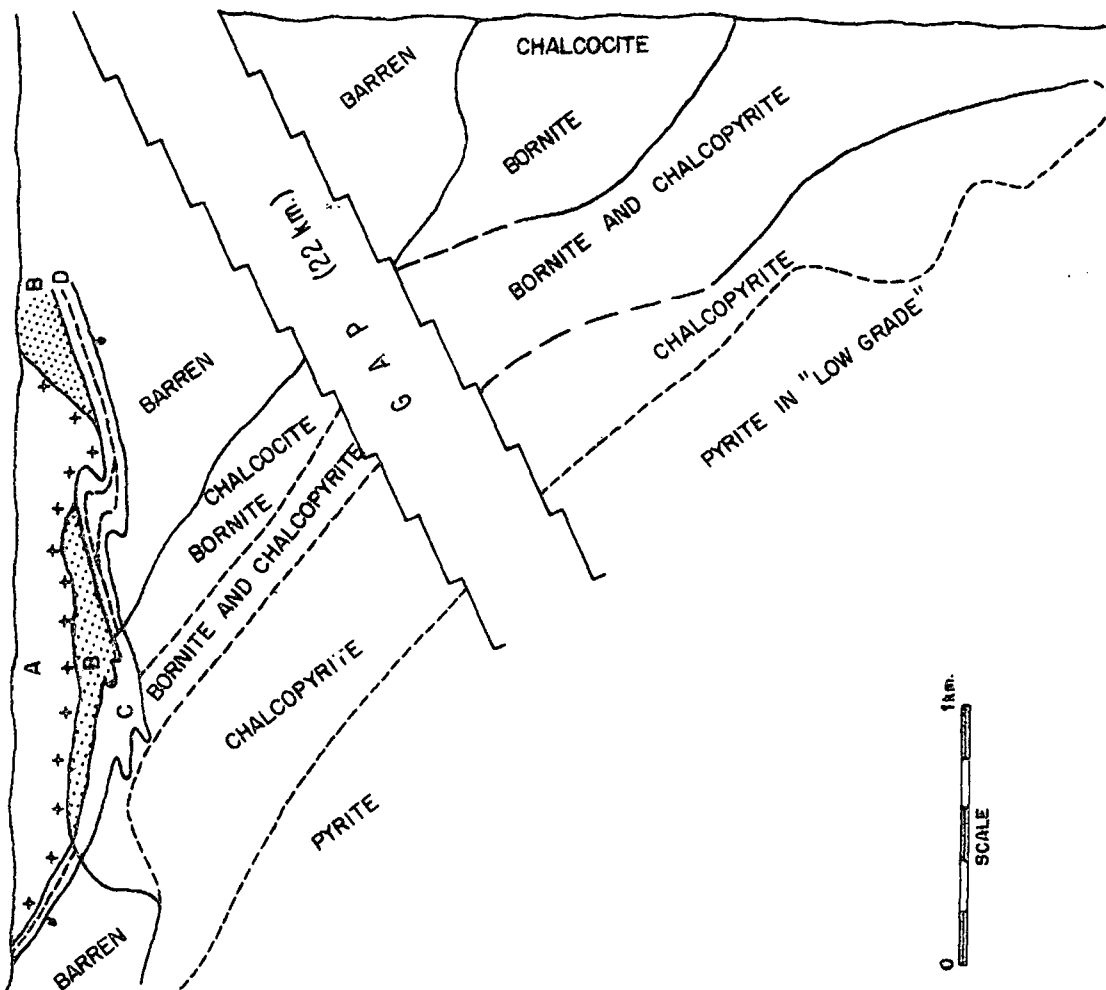
Estos tres últimos se alojan, igualmente que los de Nkana, Nchanga, etc del Copper Belt en la Serie de Minas.

Todos los depósitos cupríferos del Alto Katanga tienen control estratiforme y llevan pequeñas manifestaciones de uranio. No existe ninguna duda sobre su origen idéntico a los del Copper Belt de Zambia.

Sin embargo, Derriks y Vaes (UN, 1956) hicieron un tremendo esfuerzo para demostrar que el yacimiento uranífero de Schinkolobwe, tenía, por excepción en todo el distrito del Alto Katanga, una génesis por entero diferente, pues era "endógeno, hidrotermal y vetiforme", debido a:

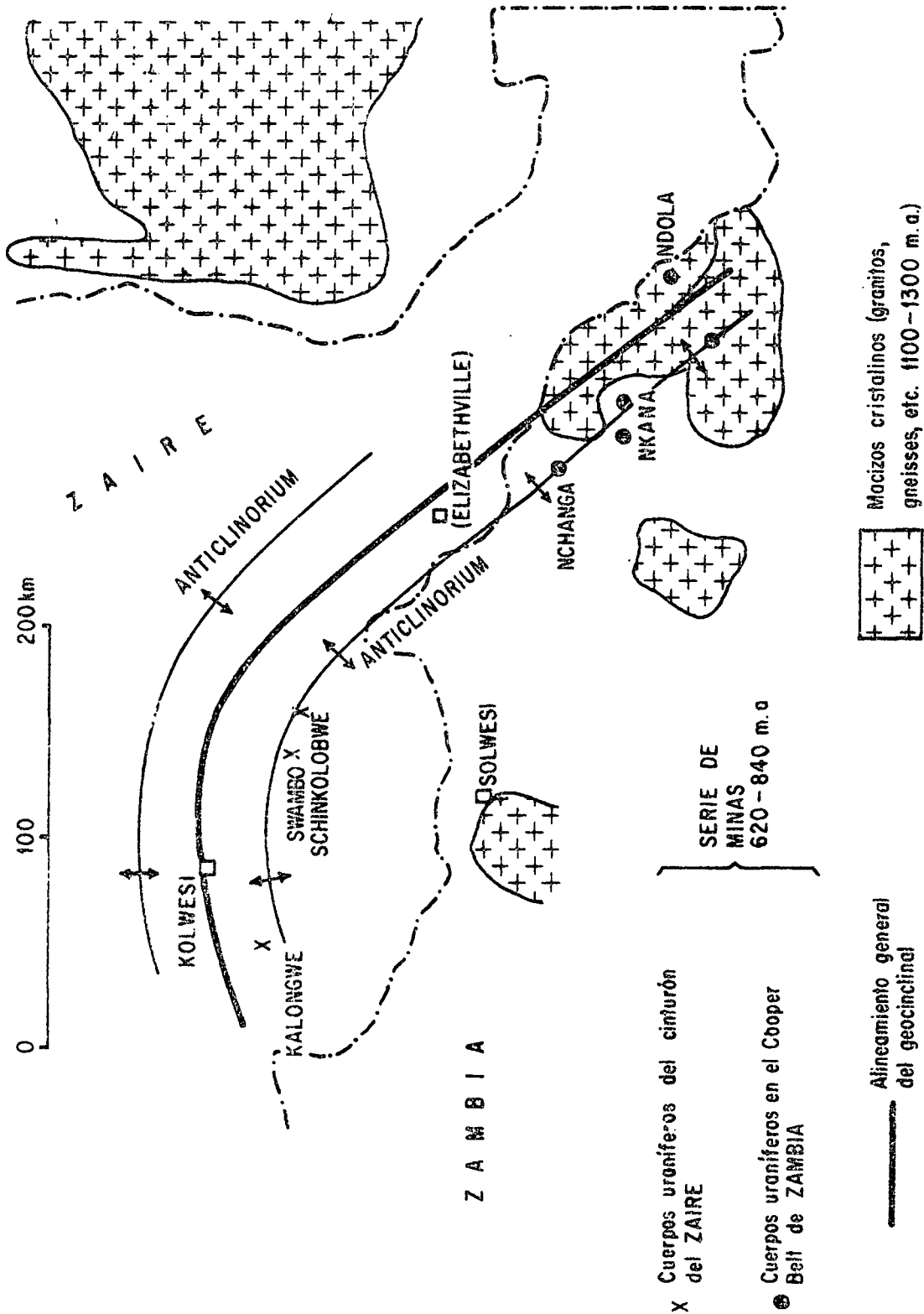
- i) La escasa participación del Cu y la abundancia de U.
- ii) La posible independencia genética entre el U y el Cu.
- iii) Que la mineralización de Schinkolobwe se "vincula incuestionablemente con un cuerpo magmático", según Thoreau y du Trieu (1933).

LONGITUDINAL PROJECTION
NKANA CENTRAL SHAFT



COMPARACION DE LA ZONACION MINERAL ENTRE EL DISTRITO DE CHAMBISHI Y EL DE NKANA (con U), DEL COPPER BELT DE ZAMBIA, A 22 km. DE DISTANCIA (según GARLICK, 1972).

Fig. 23



VINCULACIÓN GEOLOGICO-ESTRUCTURAL DE LOS CUERPOS URANIFEROS DEL Cooper Belt (ZAMBIA) Y LOS DEL ZAIRE (SCHINKOLOBWE, SWAMBO Y KALONGWE)

Desde esa época y hasta la fecha, este clásico depósito de Schinkolobwe fue, casi sin excepción, vinculado a procesos endógenos e hidrotermales, a pesar de que varios antecedentes demuestran la debilidad de tal postura.

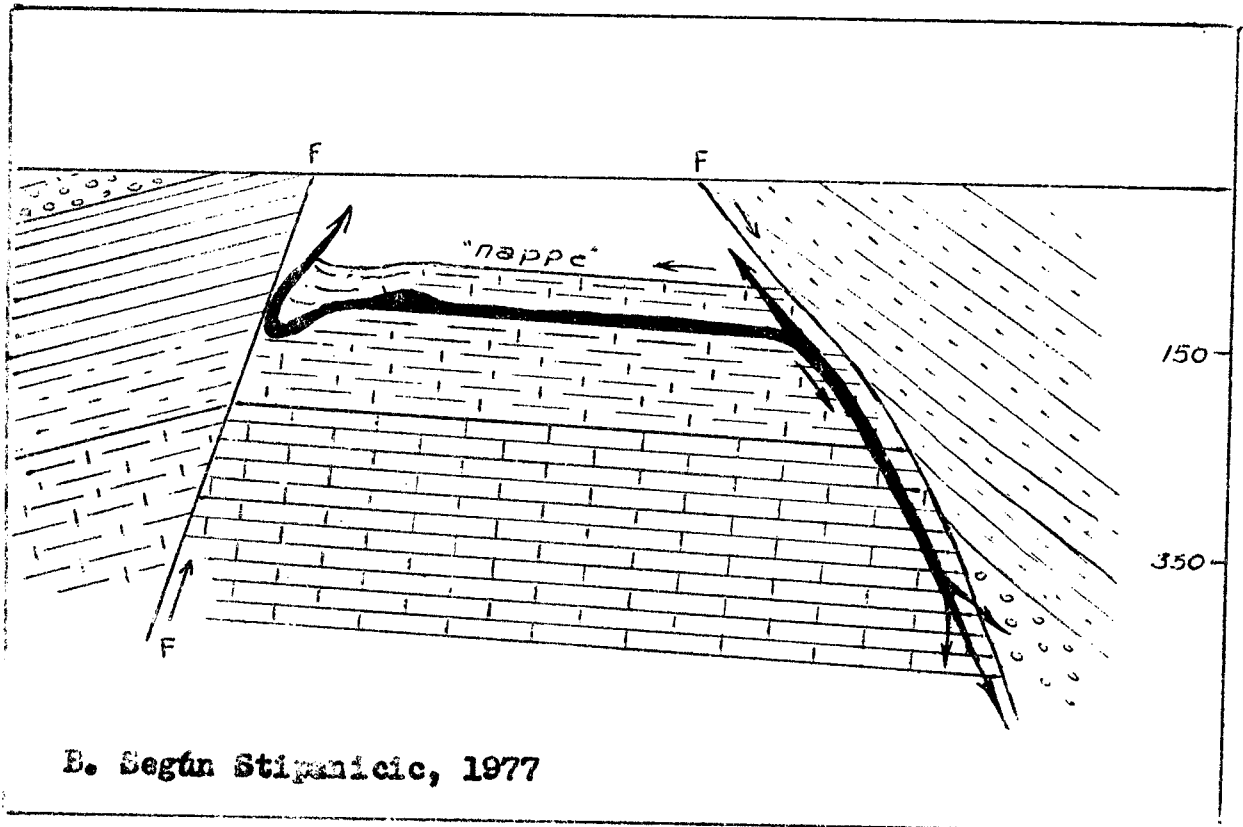
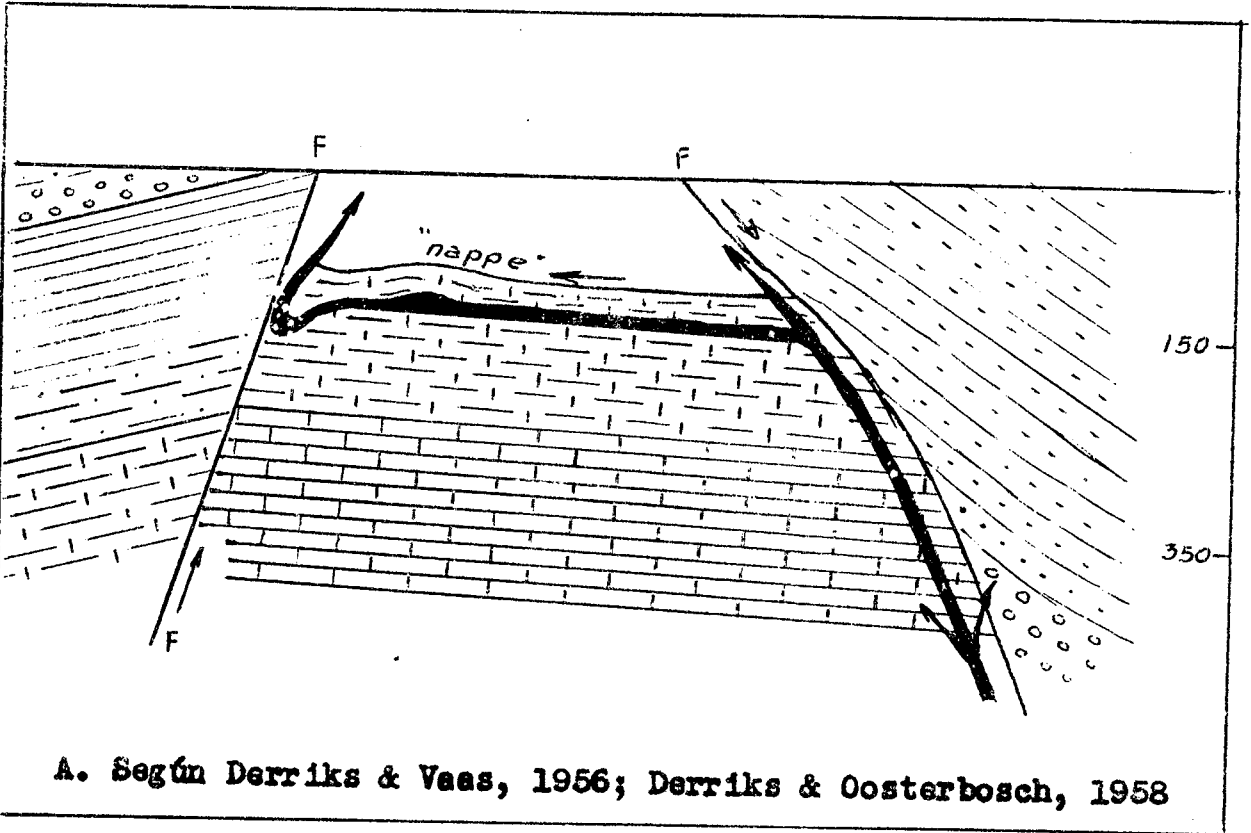
En 1958, Derriks y Oosterbosch describieron los cuerpos uraníferos de Swambo y Kolongwe, del mismo cinturón mineralizado y sostuvieron la misma génesis endógena e hidrotermal para ellos, vinculándolos con el proceso mineralizante de Schinkolobwe, a pesar de que en Kolongwe el cobre es abundantísimo, contradiciendo así uno de los argumentos fundamentales antes esgrimidos para independizar estos depósitos de los otros del Alto Katanga.

Los puntos de vista de Derriks y Vaes (1956) y de Derriks y Oosterbosch (1958) merecen serias objeciones, como las siguientes:

- a) Las mineralizaciones de Schinkolobwe y de Kolongwe tienen una antigüedad de 620 y 605 m.a., respectivamente.
- b) Los cuerpos graníticos del Geosinclinal de Katanga son más viejos, con 1.100-1.300 m.a., es decir que se repite el caso del Copper Belt de Zambia (Drysdall et al., 1972).
- c) El "incuestionable origen magmático" de la mineralización de Schinkolobwe por su presunta vinculación con "rocas ígneas" situadas al este del yacimiento y sostenida por Thoreau y du Trieu pierde total validez, y además tales "rocas ígneas", a estar con las propias descripciones de estos autores, serían meras arcosas residuales, es decir que también se vuelve al caso del Copper Belt de Zambia.
- d) En Schinkolobwe, la mineralización no se aloja en las fallas principales sino que aparece como pequeñas venillas en las fracturas secundarias a partir del cuerpo principal estratiforme.
- e) La mineralización en Schinkolobwe se va perdiendo en profundidad y no muestra raíces endógenas.

Hay toda una serie de argumentos que indicarían que el depósito de Schinkolobwe y con toda posibilidad también los de Swambo y Kolongwe, no son endógenos ni hidrotermales, sino que responden al simple esquema formacional sedimentario que controló toda la mineralización no sólo del Copper Belt en Zambia sino también la del distrito del Alto Katanga, en el Zaire. Luego de la depositación original del Cu, Fe, U, Co, etc y de la litificación de los sedimentos portantes, hubo una redistribución de la mineralización por medio de soluciones subterráneas (en especial del Cu y U) y finalmente todo el proceso quedó enmascarado en parte por el metamorfismo regional, que confirieron a aquellas acumulaciones secundarias producidas en las zonas de fracturas un aspecto "vetiforme" (Fig. 24).

FIG. 24 (A y B). DEPOSITO SCHINKOLOHWE (ZAIRE)
INTERPRETACION SOBRE SU GENESIS



BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL(*)

- ANDRADE RAMOS, J.R. e FRAENKEL, M.O., 1974. Principais ocorrências de urânio no Brasil. Com.Nac.Energ.Nuclear, Bol. 12. Ríó de Janeiro.
- BACKSTRÖM, J.M. von, 1972. Some favourability criteria in the search for uranium in the major sedimentary formations of South Africa. Atom.Energ. Board, Pretoria, South Africa.
- BACKSTRÖM, J.M. von, 1975. The Dominion Reef Group, Western Transvaal, South Africa. Atom. Energ. Board, Pretoria, South Africa.
- BARBIER, M.J., 1974. Continental Weathering as a Possible Origin of Vein-Type Uranium Deposits. Mineral Deposita, 9. Berlin.
- BOWIE, S.H.U., DAVIDS, M. & OSTLE, D., 1972. Uranium Prospecting Handbook. London.
- BRODKORB, M.A.S.K., 1966. Mineralogía y condiciones genéticas del yacimiento Huemul, Prov. de Mendoza. Rev. Asoc.Geol.Arg., XXI, 3. Buenos Aires.
- BROWN, H., BLACKIE, W.J. et al, 1953. Leaching studies of interstitial materials in igneous rocks. Bull. Geol.Soc.Amer., Vol. 64.
- CAMERON, J., 1973. Report on consultant mission to mineral and ground water survey project. Mudugh uranium area, Somali Democratic Republic. IAEA, Vienna.
- CAMPBELL, C.D., 1953. Analytical studies of the uranium potential in some Northern Rhodesian Copper Belt ores and concentrates. Rep.Atom.Energy Div., Geol.Surv. U.K.
- DALL'AGLIO, M., 1971. A study of the circulation of uranium in supergene environment in the Italian Alpine Range. Geoch. et Cosmoch. Acta, Vol. 35. Pergamon Press.
- DEGENS, E.T., KHOO, F. & MICHAELIS, W., 1977. Uranium anomaly in Black Sea sediments. Nature, Vol. 269.
- DENSON, N.M. & GILL, J.R., 1965. Uranium-Bearing Lignite and Carbonaceous Shale in the Southwestern Part of the Wellington Basin. USGS, Prof. Paper 463.
- DOOLEY, J.R., HARSHMAN, E.N. & ROSHOLT, J.N., 1974. Uranium-lead ages of the uranium deposits of the Gas Hill and Shirley Basins, Wyoming. Econ. Geol., Vol. 69.
- DRYSDALL, A.R., JOHNSON, R.L., MOORE, T.A. and THIEME, J.G., 1972. Outline of the Geology of Zambia. Geologie en Mijnbouw, Vol. 51 N° 3.

(*) Se han omitido todas las citas de autores cuyos trabajos están incluidos en los simposios que se indican con +, los cuales comprenden numerosas contribuciones.

- EARGLE, D.H., DICKINSON, K.A. & DAVIS, B.D., 1975. South Texas uranium deposits. Amer. Ass.Petrol.Geol., Bull. 59.
- ERDA, 1975. National Uranium Resource Evaluation. Preliminary Report. US Energ. Res. Devel. Adm., Grand Junction.
- FINCH, W.I., 1967. Geology of epigenetic uranium deposits in sandstone in United States. USGS, Prof. Paper 538.
- GARLICK, W.G., 1972. Sedimentary environment of Zambian Copper Deposits. Geologie en Mijnbouw, Vol. 51 (3).
- GEFFROY, J., 1964. Generalities sur l'Uranium dans la Nature. Bull. Inf. Scient. et Tech. du CEA.
- GRUNER, J.W., 1956. Concentration of uranium in sediments by multiple migration-accretion. Econ. Geol., Vol. 51 N° 6.
- + G.S.C., 1975. Uranium Exploration' 75. Geol. Surv. Canada, Paper 75-26. Ottawa.
- HALLBAUER, D.K., 1973. The biological nature of the carbon in some Witwatersrand reefs and its association with gold. Res. Rep., Chamb. of Mines of South Africa, N° 9173.
- HAWKES, H.E. & WEBB, S., 1965. Geochemistry in mineral exploration. Harper & Row, Tokyo.
- HOEFS, J. & SCHIDLowski, M., 1967. Carbon isotope composition of carbonaceous matter from the Precambrian of the Witwatersrand System. Nature, Vol. 155 N° 3766.
- HOSTETLER, T.B. & GARRELS, R.M., 1962. Transportation and precipitation of uranium and vanadium at low temperatures, with special reference to sandstone-type uranium deposits. Econ. Geol. Vol. 57 N° 2.
- HURLEY, P.M., 1950. Distribution of radioactivity in granites and possible relation to helium age measurements. Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 61.
- + IAEA, 1970. Uranium Exploration Geology. STI/PUB/277. Vienna.
- + IAEA, 1974. Formation of Uranium Ore Deposits. STI/PUB/374. Vienna.
- + IAEA, 1975. Le Phenomene d'Oklo. STI/PUB/405. Vienna.
- + IAEA, 1976. Exploration for Uranium Ore Deposits. STI/PUB/434. Vienna.
- + IAEA, 1977. Recognition and Evaluation of Uraniferous Areas. STI/PUB/450. Vienna.
- + KELLEY, V.C. (Chairman), 1963. Uranium Field Conference. Memoir 15. Geology and Technology of the Grants Uranium Region. New Mexico Inst. Min. & Metall., Socorro, New Mexico.

- KLOHN, M.L. & PICKENS, W.R., 1970. Geology of the Felder uranium deposit, Live Oak County, Texas. Soc. Min. Eng., A.I.M.E.
- LANGFORD, F.F., 1977. Surficial Origin of North American Pitchblende and Related Uranium Deposits. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., Vol. 61 N° 4.
- LINARES, E., 1966. Geología isotópica del yacimiento Huemul. Rev. Asoc. Geol. Arg., XXI, 3. Buenos Aires.
- LINARES, E., 1968. Isótopos del azufre y su utilización en la génesis de algunos yacimientos metalíferos argentinos. Act. III Jorn. Geol. Arg., 1966. Buenos Aires.
- LOCARDI, E., 1974. Mineralizzazioni ad uranio nell' Alto Lazio. Notiz. del CNEN, 20, N° 7.
- NININGER, R.D., 1954. Minerals for Atomic Energy. D. van Nostrand Co., New Jersey.
- NOBLE, E.A., 1966. Genesis of uranium belts of the Colorado Plateau. XXI Intern. Geol. Congr., Copenhagen.
- PANSZE, A.J., 1977. The uranium deposits of the Sierra Peña Blanca, Chihuahua, México. Private Report, USA.
- PRASHNOWSKI, A.A. & SCHIDLowski, M., 1967. Investigation of Precambrian tucholite. Nature, Vol. 216 N° 5115.
- PREMOLI, C., 1976. Formation of, and prospecting for, uraniferous calcretes. Australian Min., April.
- PREMOLI, C., 1977. Metallogeny of radioactive raw materials of Madagascar. Adv. Group Meet. on Uranium Depos. in Africa. IAEA.
- PRETORIUS, D.A., 1974 a. The nature of the Witwatersrand gold-uranium deposits. Inform. Circul., Econ. Geol. Resp. Unit. N° 86. Johannesburg.
- PRETORIUS, D.A., 1974 b. Gold in the Proterozoic sediments of South Africa: Systems, paradigms and models. Ibidem, N° 87.
- PRETORIUS, D.A. 1975. The depositional environment of the Witwatersrand gold-fields. A chronological review of speculations and observations. Univ. Witwatersrand, Inf. Circ. N° 95. Johannesburg.
- ROBERTSON, D.S. & DOUGLAS, R.F., 1970. Sedimentary uranium deposits. Canad. Min. & Metall. Bull., May.
- ROSCOE, S.M., 1967. Huronian rocks and uraniferous conglomerates in the Canadian Shield. Geol. Sur. Canada, Paper 68-40.
- ROUTHIER, P., 1963. Les Gisements Metallifères. Vol. 1. Masson et Cie, Edit., Paris.
- RUBIN, B., 1970. Uranium roll zonation in the Southern Powder River Basin, Wyoming. Earth Sc., Bull. 3 N° 4.

- RUZICKA, V., 1975. New sources of uranium ?. *Canad. Min. Journ.*, Vol. 96.
- RYAN, G.R., 1977. Uranium in Australia. *Geol. Min. & Extrac. Proces. Uranium Symposium. Inst. Min. & Metall.*, London.
- SCHNEIDERHÖLN, H., 1932. The geology of the Copperbelt, Northern Rhodesia. *Min. Magaz.*, Vol. 46. LONDON.
- SOUTH, S.A., 1972. Uranium in Australia. *Atom. Energ. Austral.*, 15 (4). Coogee, NSW.
- SPILSBURY, E.G., 1908. Discussion on "The origin of the gold in the Rand blankets" by J.W. Gregory. *Trans. Inst. Min. & Metall.*, Vol. 17.
- + STIPANICIC, P.N., 1969. (Director) *Curso Regional de Capacitación en la Prospección de Uranio - IAEA-CNEA. Buenos Aires.*
- STIPANICIC, P.N., 1975. Report on the Namukulimba (Siavonga) uranium district, Republic of Zambia. *Atom. Energ. Org. Iran, Explor. Div., Tech. Rep. N° 11. Tehran.*
- STIPANICIC, P.N., 1977. A joint venture programme to develop the uranium district of Baghal Chur (Dera Ghazi Khan) and to explore the Siwalik Formation. *Ibidem*, N° 20.
- STIPANICIC, P.N., 1977. Comments on the technical parts of the report "Information for bidders on the Dusa Mareb Uranium Deposits", Somali. *Ibidem*, N° 37.
- STIPANICIC, P.N., Comments on the Dechan (Azarbaijan) copper-uranium occurrences. *Ibidem, Intern. Tech. Report N° 17.*
- STIPANICIC, P.N., BAULIES, O.L., et al., 1962. Depósitos uraníferos argentinos con control sedimentario. 4th Inter-American Symp. *Peac. Appl. Nuclear Energy, México.*
- STIPANICIC, P.N. & RODRIGO, F., 1975. Uranium possibilities of Zambia. *Intern. Tech. Report N° 6. AEOI. Tehran.*
- TERMIER, H. et TERMIER, G., 1956. *Petrogènesese. Masson et Cie, Vol. 1. Paris.*
- THOREAU, J. & du TRIEU de TERDONCK, R., 1933. Le gite d'Uranium de Schinkolohwe-Kasola. *Mém. Inst. Colonial Belge, T. 1 Fasc. 8.*
- TUKERIAN, K.K., & WEDEPOHL, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's Crust. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, Vol. 72.
- + U.S.A.E.C., 1957. Geologic investigations of radioactive deposits. TEI-690. Book 2. Oak Ridge.
- U.S.A.E.C., 1959. Guidebook to Uranium Deposits of Western United States. RME - 141.
- + UNITED NATIONS, 1956. Geology of Uranium and Thorium. *Proceed. Intern. Conf. Peac. Uses Atom. Energy, Vol. 6.*

- + UNITED NATIONS, 1958. Survey of Raw Materials Resources. Ibidem, Vol. 2.
- + U.S.G.S.-A.E.C., 1956. Contribution to the Geology of Uranium and Thorium by the United States Geological Survey and Atomic Energy Commission for the United Nations International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, Switzerland, 1955. US Geol. Surv. Prof. Pap. 300.
- VINE, J.D., 1962. Geology of Uranium in Coaly Carbonaceous Rocks. USGS, Prof. Pap. 356-D.
- WEDEPOHL, K.H., (Editor), 1969. Handbook of Geochemistry. Springer Verlag, Berlin.
- WOLF, K.H., 1974. Handbook of Strata-bound and Stratiform ore deposits. Elsevier Scient. Publis., Amsterdam & New York.