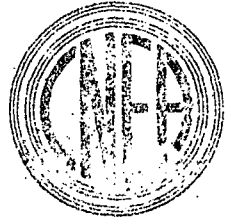


05.78.10



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-10/78

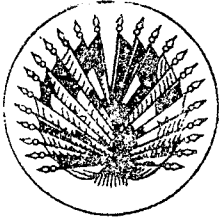
II. YACIMIENTOS URANIFEROS

3. SELECCION DE AREAS GEOLOGICAS FAVORABLES
Y GEOLOGIA DEL URANIO

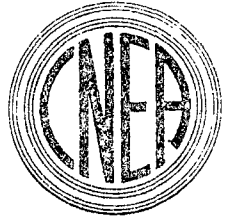
ALBERTO E. BELLUCO - EDUARDO RODRIGUEZ

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-3

SELECCION DE AREAS GEOLOGICAS FAVORABLES Y GEOLOGIA DEL URANIO

C.N.E.A.

Alberto Belluco -- Eduardo Rodríguez

I.- INTRODUCCION

El mercado mundial del uranio se encuentra en una fase de excepcional expansión y se estima que las actuales relaciones de equilibrio entre recursos y demandas se distorsionará a partir del quinquenio 1985/90. Desde esas fechas se produciría un notorio déficit en el rubro recursos de uranio a largo término, correspondiente a la previsión de necesidades de / consumos de combustibles nucleares para atender los 30 años de vida útil / de los reactores que se prevé estarán instalados o se instalarán a partir de esa fecha.

Las actuales reservas mundiales de uranio (excluidos países de economía dirigida) a nivel de Recursos Razonablemente Asegurados más Recursos Adicionales Estimados, para precios de hasta 130 U\$S el Kg/U alcanzan a 4.290.000 Th. U. La evolución de esas reservas marca una curva de crecimiento promedio de unas 50.000 Th. de U por año, con una inflexión fuertemente positiva entre 1969 y 1975 en que esas cifras subieron hasta 115.000 Th. de U por año.

De mantenerse esa curva de crecimiento hasta el año 2.020 las / reservas mundiales podrían crecer hasta valores variables entre 5.300.000 y 6.900.000 Th. de U, mientras que las demandas para ese año variarían entre un requerimiento acumulado de 7,5 millones de Th. de U y una previsión de consumo a largo plazo de 16 millones de Th. de U..

Para cubrir esta importante diferencia resulta evidente que deberá realizarse en ese lapso un enorme esfuerzo técnico y financiero, que / tendrá parangón con ningún otro nivel de crecimiento de reservas de mine

rales en el mundo.

Ese esfuerzo será aún mas notorio si nos atenemos a que los ya cimientos y reservas conocidas a la fecha han sido la mas fáciles de ubi- car y que por el contrario el desarrollo del nuevo potencial uranífero // que requiere el mundo corresponderá a mineralizaciones mas difíciles de / reconocer por razones de índole geográfico, económico, y sin duda en forma preminente, por situaciones geológicas aún desconocidas.

Será entonces imprescindible incrementar al máximo la aplica- / ción de todas aquellas técnicas que permitan optimizar los resultados de / todo programa nacional de desarrollo de sus recursos uraníferos potencia- / les.

En este sentido cabe destacar que no se han desarrollado nuevos métodos revolucionarios en la prospección del uranio por lo que se debe / buscar la optimización de esos programas en base a:

- Incrementar al máximo la sensibilidad de los equipos geofísi- / cos y de otros métodos que se utilizan en la prospección: radimetría, geo / química, etc. aplicándolos a programas nacionales en forma sistemática so- / bre bases de imprescindibles normalizaciones operativas.

- Llevar al máximo grado de elaboración los estudios, análisis y evaluaciones de los programas de prospección - exploración y de los resul / tados que se alcancen en los mismos.

En esta conferencia centraremos nuestra atención en algunos te- mas de este último punto y refiriéndonos en forma especial a la geología / del uranio como fundamento técnico principal e imprescindible para plani- ficar y desarrollar todo Programa Nacional de evaluación de materias pri- mas nucleares.

II.- DEFINICION, FINALIDAD Y ALCANCES:

La Geología del Uranio es la disciplina que investiga la vincu / lación espacial y temporal de los compuestos del uranio con determinados / tipos de ambientes geológicos. Se funda esencialmente en el conocimiento / de dos procesos: el ciclo geoquímico del uranio y la evolución geológica / de un territorio.

En áreas sin indicios uraníferos conocidos, aporta criterios / para la prospección en un orden determinado de prioridades fundadas en // sus favorabilidades relativas. En las áreas donde se conocen indicios ura / níferos tiende principalmente a interpretar los modelos metalogénicos pre / sentes para orientar la prospección y exploración de esa u otras áreas si / milares.

Dado que el uranio es uno de los elementos de la corteza de ma- yor movilidad por la capacidad de sus compuestos para transformarse-remo- / vilizarse y redepositarse, la geología del uranio no descarta "a priori" / ningún ambiente geológico pues constantemente aparecen nuevos modelos de / distinta geología. Sólo tiende a indicar cuáles son los cuadros geológicos

que demuestran mayor favorabilidad de acuerdo a la experiencia acumulada/ hasta la fecha. La Geología del Uranio es susceptible de aplicación en di-
versas magnitudes de fenómenos. Nosotros designamos como Geología del Ura-
nio I a la de mayor alcance, englobando conceptos de diferente amplitud://
primero los que se refieren a la distribución del uranio en el planeta ///
(especialmente en la corteza) y la tectónica global, hasta el ciclo del //
elemento que se desarrolla en cuadros geológicos genéricos o supra-regio-
nales (escudos, geosinclinales, etc.) segundo: (teniendo en cuenta la geo-
grafía política) el que se cumple dentro de cada país y tercero el que cor-
responde a cada unidad o ambiente morfoestructural o simple unidad orográ-
fica. Podemos definirla como la etapa que tiende a delimitar las eventua-
les "provincias metalogénicas del uranio", y que posibilita clasificar y //
cuantificar la favorabilidad geológico-uranífera de ambientes regionales/
y locales donde puede encontrarse este elemento en concentraciones de in-
terés económico.

Los objetivos que se buscan con la aplicación de la Geología //
del Uranio I en un país se pueden sintetizar así:

- Establecer las condiciones de favorabilidad y eventualmente la potencialidad geológico - uranífera nacional. Servir de base a toda prepa-
ración de un Plan Nacional de Prospección.

- Delimitar unidades estructurales geológico - uraníferas y uni-
dades de prospección; proceder a la clasificación y cuantificación de sus
índices de favorabilidad según extrapolaciones a la presencia de condicio-
nes geológicas similares a las que rigen la yacencia de los modelos meta-
logénicos de uranio conocidos en el mundo.

- Ordenar y prioritar el desarrollo de los programas nacionales/
de prospección nuclear y los métodos que mejor se adecuen en cada unidad/
de trabajo.

La Geología del Uranio II, de ámbito mucho mas restringido, se/
aplica dentro de las unidades geológicas de tercer orden (unidades morfo-
estructurales).

Cubre los estudios e interpretaciones morfogenéticas de los in-
dicios uraníferos conocidos en esas unidades, mediante el análisis litoes-
tructural de las rocas huéspedes y sus relaciones con las condiciones de/
yacencia de los minerales de uranio. Su alcance es de varios hectómetros
o kilómetros cuadrados. Se desarrolla "pari pasu" con la prospección y /
exploración del área, y si bien aparenta ser independiente de estas acti-
vidades, en realidad sirve como herramienta para orientar su planifica-//
ción en la búsqueda de los cuerpos económicos normalmente ocultos.

Finalmente la Geología del Uranio III, se desarrolla a escala/
de cuerpo mineral o yacimiento, tendiendo a reconocer las condiciones de/
yacencia y distribución del uranio en la intimidad del fenómeno minerali-
zador para extraer conclusiones extrapolables a las interpretaciones geo-
lógicas generales. Esta etapa apoya a la anterior en la orientación de la
exploración de los distritos uraníferos.

El presente informe tratará de dar ideas generales respecto de la Geología del Uranio I con miras a su utilización para la selección de áreas prioritarias para la prospección uranífera.

En su desarrollo trataremos: el Ciclo geoquímico del U, los tipos de evolución geológica que pueden presentarse a la escala de un país; la distribución geocronológica y metalotectónica de los depósitos de U en el mundo y finalmente esbozaremos las distintas fases que hacen a su aplicación en la preparación y desarrollo de un Plan de Prospección por uranio en un país.

III.- EL CICLO GEOQUIMICO DEL URANIO

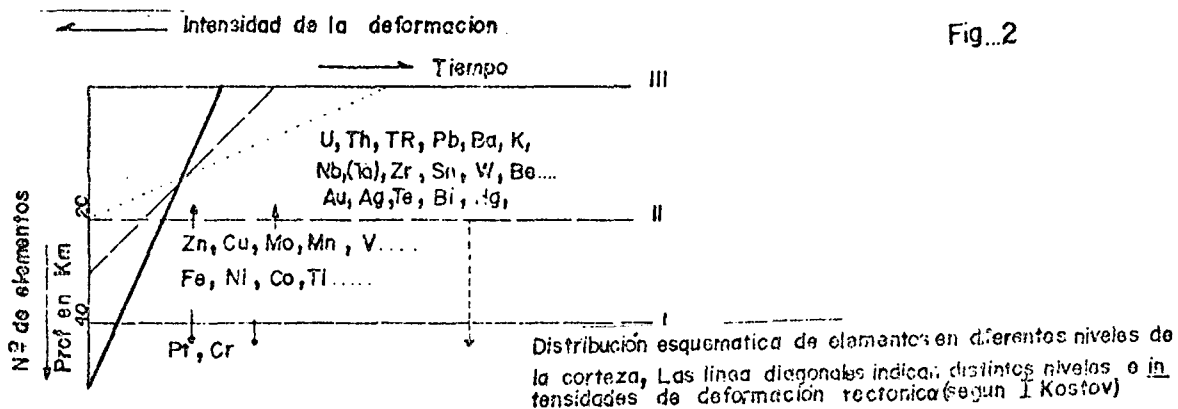
III.1.- El Uranio en el planeta (Ver Fig. 1)

Si admitimos que la tierra se originó, como lo establece la // teoría planetesimal, por la acreción de partículas cósmicas al estado sólido, podemos suponer que en la etapa inicial o cósmica, el planeta estuvo formado por una masa indiferenciada de partículas que sufrieron un proceso dinámico esencialmente debido al calor (algunos autores lo consideran de origen radiogénico) y a la gravedad y atracción entre los cuerpos celestes cercanos (mareas sólidas). Esta diferenciación según I Kostov // (22) se verificó asimismo siguiendo dos direcciones opuestas: una centrípeta, que tendió a constituir un núcleo homogéneo y simple (de pocos / elementos siderófilos) y otra centrífuga, que originó, por migración de / elementos muy variados, un manto heterogéneo constituido por los componentes litófilos y calcófilos, incluyendo entre los primeros los radiactivos como el U Th, K, etc..

Por efectos del mismo proceso se originaron dentro del manto / enriquecido en elementos radiactivos, zonas de fusión que fueron dando hacia el exterior una primera corteza sólida.

Esta corteza fué creciendo, en forma desigual en distintos sitios del planeta, hasta constituir una lámina estable cuyos trozos actualmente inconexos constituyen los escudos o plataformas arcaicos.

La figura 2 muestra la distribución de los elementos, según Kostov en las envolturas exteriores de la Tierra:



Es destacable en estos esquemas que el uranio y el torio, juntamente con otros elementos litófilos y radiactivos (K,Zr,etc.) van a concentrarse en la parte mas periférica.

Para el autor citado ello se debería a que dichos elementos no encajan en la estructura cristalina de los minerales máficos: piroxenos, // olivina, granates, etc. que caracterizan las capas mas internas o profundas (octaedros y tetraedros densos) por tener radio iónico y una energía / muy superior o inferior a las de los elementos constitutivos de los basaltos, peridotitas y eclogitas de la parte inferior de la Corteza o superior del Manto.

En coincidencia, Vinogradov (citado en (Kostov 22) da la siguiente distribución media del uranio en rocas de creciente acidez: Condritas 0,015 ppm; ultramafitas 0,03; mafitas 0,5; intermedios 1,8; ácidas 3,5.

En resumen, la capa externa III viene a constituir una especie/ de "bolsa de desperdicios" dada su heterogeneidad, donde van a terminar todos los átomos que no encajaron en la estructura cristalina de los minerales profundos, mediante un proceso de "exudación" o "transudación" según // Rittman (cit en 22) que podría compararse con una flotación.

A la lista III del esquema presentado debe agregarse Si y Al // muy abundantes en la corteza, los volátiles (F, Cl, Bo) y metaloides como As, Sb.

Si consideramos que el uranio y el torio son los primeros "expulsados" por exudación, comprenderemos por qué las capas primitivas de la corteza son ricas en estos elementos que fueron previamente concentrados / en las cámaras de fusión del manto por debajo de la primera película cortical y de ahí eyectados por exudación singenética o mediante intrusiones // y/o hidrotermalismo en las rocas arcaicas. A partir del momento en que se constituyó la corteza, podemos iniciar el análisis del ciclo geoquímico // del uranio integralmente desarrollado en la corteza, aunque posiblemente // una pequeña cantidad de elementos radiactivos pueda volver al manto con // las lenguas de subducción para ser nuevamente expulsado hacia la corteza, cerrando así su participación en un ciclo completo de evolución geológica. (Fig. 3).

Quando la atmósfera permitió el desarrollo de los procesos de / denudación, de esta corteza primitiva se derivaron las concentraciones en capas proterozoicas actualmente grandes productoras de uranio, Resumiendo el ciclo global del uranio:

URANIO COSMICO DISEMINADO

↓
Selección centrífuga → concentración en el manto → fusión → expulsión a la corteza primitiva (Arcaico) → primera concentración detrítica sedimentaria más endógena en el Proterozoico → procesos de reciclaje en el resto del criptozoico y el fanerozoico.

III.2.- Hemiciclo Endogeno

El uranio y el torio parecen haber tenido un circuito primario/común que comienza con la exudación y concentración en el nivel III del esquema de Kos. tov. (La relación de abundancia Th/U en la corteza es 3/1). Este autor supone que sobre el manto fundido o en estado de fluidez, la corteza se fué formando con mayor rapidez (luego con mayor espesor) inmediatamente por encima de las corrientes convectivas ascendentes (ver esquema // Fig. 3) constituyendo protuberancias en la película siálica que fueron inmediatamente atacadas por la erosión, dispersando los productos detríticos.

En consecuencia ambos elementos manifiestan una tendencia direccional de abajo arriba (centrífuga) y desde las prominencias superficiales a los bajos perimetrales de las plataformas siálicas. Precisamente en esta segunda fase se produce la separación del uranio del torio, pues el primero por su capacidad de cambiar de valencia cuatro a valencia seis (compuestos solubles) puede continuar una ruta que el torio, carente de dicha capacidad no puede seguir, limitado a las inmediaciones de sus áreas endógenas. Mediante este proceso se explicaría la coexistencia de U y Th en depósitos detríticos no oxidados en el Proterozoico (Withwatersrand en Africa del Sur Elliot Lake y Agnew Lake en Canadá) donde la falta de oxígeno en la atmósfera habría impedido al uranio continuar su ciclo exógeno con valencia. 4+.

Una vez en superficie, el uranio, mediante el circuito exógeno, migra hacia las áreas perimetrales o depresiones internas de las plataformas, donde encuentra las fajas inestables de gran actividad tectomagmática (orógenos) y queda así retenido (en el caso en que no se llega a alcanzar mar abierto) para seguir un reciclaje vertical ya dentro de la Corteza. // Mediante la subsidencia, metamorfismo, refusión y ascenso intrusivo hasta hidrotermal circula en circuito cerrado entre la superficie y el interior de la corteza. Los fenómenos impulsores de este proceso son los que reconóce la geología estructural: calor radiogénico y dinámico, presión, metasomatismo y gradiente geotérmico.

Respecto al circuito endógeno, dado que escapa a la observación directa del hombre cuyas técnicas indirectas de prospección en profundidad son muy limitadas, presenta numerosos puntos oscuros para la interpretación. Uno de ellos es la posible intercomunicación permanente entre el manto superior y la corteza respecto al uranio: como ya se dijo, algo de uranio // volvería al manto en las lenguas de subducción, pero no sería muy abundante dada la naturaleza símica de la placa en subducción. También podría haber algo de aporte de arriba abajo en la base de las placas donde material siálico puede ser refundido y mezclado con elementos del manto. A su vez éste siempre estaría expulsando algo de uranio según lo demostraría el rastreo geoquímico en algunos puntos accesibles de los bordes divergentes de placas (Mar Rojo).

La figura siguiente, totalmente esquemática, tienden a graficar lo expuesto para el hemiciclo endógeno y su integración con el hemiciclo / exógeno (extremo superior izquierdo).

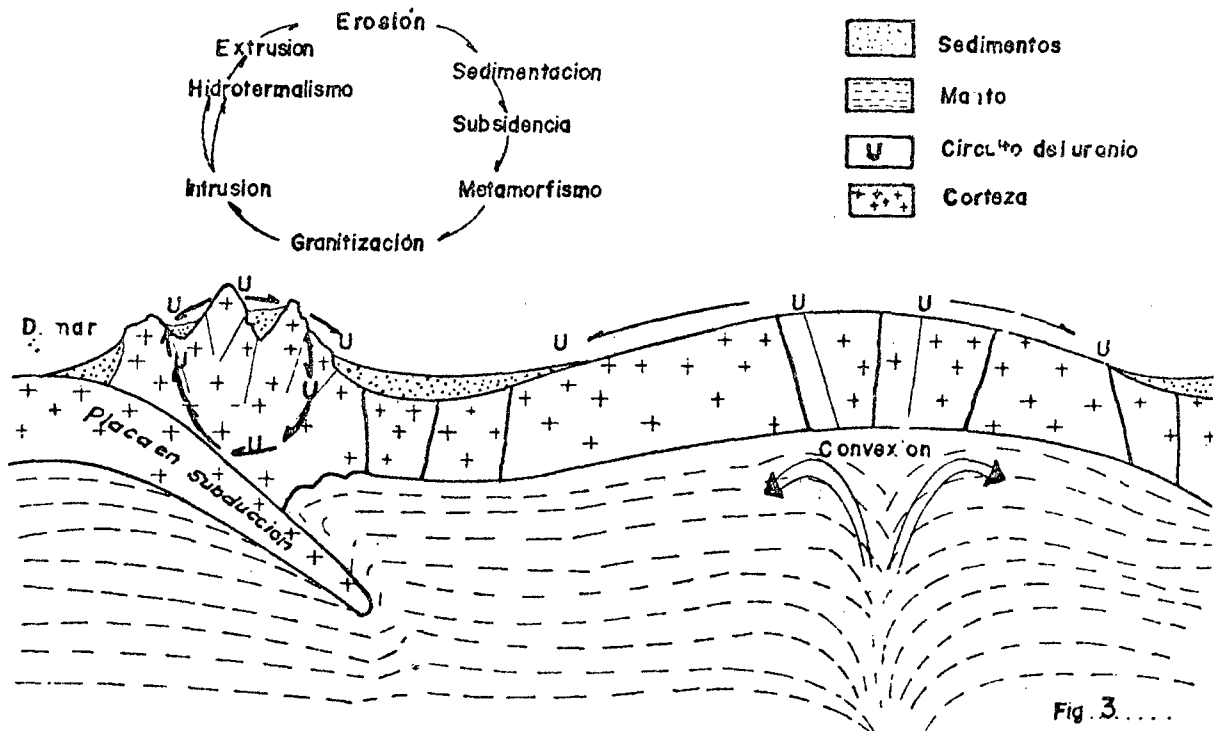


Fig. 3.....

III.2.1.- El uranio en las rocas igneas;

Es admitido que las condiciones reinantes en el interior pro-
fundo de la corteza: alta presión y temperatura, más los esfuerzos tectó-
nicos (stress) que modifican el cuadro de equilibrio en diversos puntos /
de la corteza, producen la fusión cortical con formación de cámaras mag-
máticas. De ello deriva el ascenso intrusivo o la cristalización "in situ"
por enfriamiento. En ambos casos se produce una diferenciación magmática.

Se ha demostrado que el uranio tiene una tendencia definida a
asociarse con diferentes fenómenos o etapas de este proceso. Por ejemplo,
tiende a concentrarse en las ampollas intrusivas que ascienden a través de
la corteza, quedando las cámaras anatécicas empobrecidas en ese metal.

Al producirse el enfriamiento (en primer término consideramos/
el producido en el interior profundo de la corteza) para formar rocas plu-
tónicas, sobreviene una concentración preferencial del uranio en las dife-
renciaciones mas ácidas y alcalinas, siendo los granitoides alcalinos los
mas ricos, junto con los granitos a dos micas. Asimismo se produce la con-
centración en rocas peralcalinas del tipo de las sienitas agpáiticas. Es/
menor el contenido medio del U en las rocas mesosilícicas, bajando más aún
en las básicas y ultrabásicas.

Según Adler (1) el "rol" del uranio en las rocas magmáticas es
predominantemente el de un componente menor de sustitución iónica: susti-
tuye al Ca en la apatita y al torio y metales de tierras raras; está liga-
do siempre al circonio (isomorfismo o sustitución) y también se combina/
con el titanio.

El gran tamaño de estos elementos (U, Zr, Ti, Th, Nb, Ta, etc.)

y elevada energía no les permite formar parte de los "rocks forming minerals" y por eso se concentran en las soluciones magmáticas residuales. // Luego habrá una especial concentración de ellos en rocas alcalinas felsíticas como granitos y sienitas. El titanio (como esfero) y el circonio (como Zircón) cristalizan como minerales accesorios en granitos, arrastrando pequeñas cantidades de uranio y torio.

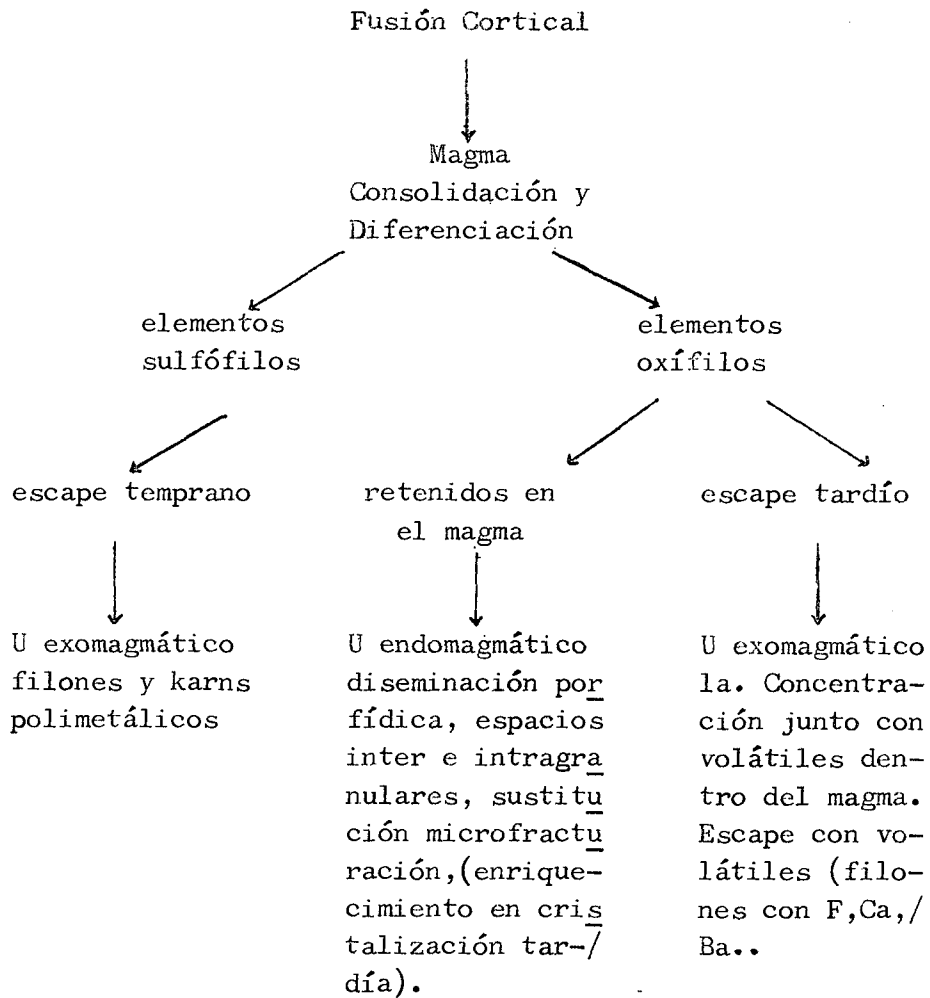
Se ha demostrado el enriquecimiento de dichos elementos fisio-nables en rocas cada vez más alcalinas, siendo más rico un basalto alcalino que otro toleítico; un granito alcalino que otro calco-alcalino; un miembro tardío que otro temprano de rocas ígneas calco-alcalinas; una bostonita félsica que otra máfica; una sienita nefelínica feldespatoidica (agpaítica) que otra feldespatica (miaskítica).

Durante la diferenciación magmática puede producirse un escape temprano de los elementos sulfófilos (Sørensen 31) que forman compuestos exomagmáticos derivados en filones hidrotermales (hipotermales) polimetálicos, que pueden arrastrar parte del uranio presente en la bolsa magmática. En cambio los elementos oxífilos permanecen retenidos en el ambiente endomagmático pudiendo suceder dos casos: que no haya ningún escape hasta la cristalización total del magma, en cuyo caso el uranio quedará retenido en los minerales de cristalización tardía (cuarzo, feldespatos, etc) o que haya vías de escape antes de la consolidación final. En este caso el uranio conjuntamente con los volátiles irá a formar parte de las rocas diasquísticas ácidas (pegmatitas, aplitas), skarns y filones hidrotermales, generalmente oligometálicos, acompañados de gangas de cuarzo, fluorita, baritina, calcita.

Si el enfriamiento se produce en niveles superficiales tendremos enriquecimiento de uranio en rocas efusivas e hipabisales ácidas o mesosilícicas (riolitas, riodacitas, pórfidos cuarcíferos, etc.) y finalmente en las rocas piroclásticas y dentro de éstas en los vidrios volcánicos.

Del cuadro expresado, surge que como expectativas de mineralización uranífera que brinda el circuito endógeno en rocas ígneas tendremos los depósitos diseminados o porfídicos (modelo Rössing) los de "pipes" peralcalinos y carbonatíticos (asociados con tierras raras), de aplitas y pegmatitas (tipo Bancroft, Canadá) skarns (tipo Mary Kathleen en Australia) y los filones poli u oligometálicos de tipo hidrotermal. Además tendríamos los depósitos volcánicos tipo Lazio (Italia), Cotaje, etc. (Bolivia) y diseminación en tobas e ignimbritas.

El siguiente cuadro resume lo arriba expuesto:



rocas ultrabásicas U 0,1 ppm.	rocas básicas U 0,5 a 1 ppm.	rocas mesosilíceas U 1 a 3 ppm.	rocas ácidas U 3 a 5 ppm.
----------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	------------------------------

III.2.2.- El uranio en las rocas metamórficas:

Según Kostov (op. cit) "es discernible cierta tendencia de los // procesos metamórficos a "camouflar" el uranio dentro de las estructuras de los minerales estables para los correspondientes niveles de presión y temperatura". Esto evita el escape del uranio en el transcurso de los procesos metamórficos y pueden ocurrir dos cosas: que el metamorfismo prosiga hasta/ la refusión o anatexis volviendo así el uranio al circuito de rocas igneas o bien que el proceso se interrumpa en cualquiera de sus fases por ascenso a la superficie. En este último caso es de suponer que este tipo de rocas / no ha de ceder fácilmente su uranio ante las sollicitaciones del intemperismo. En consecuencia las rocas de alto metamorfismo podrán aportar uranio en algunos casos, pero no resultan especialmente productivas.

No debe confundirse esta condición de las metamorfitas con su capacidad para recibir el uranio del ciclo exógeno y convertirse en recipientes favorables (caso de los esquistos de bajo metamorfismo por ejemplo.)

Un resumen de los conceptos predominantes (Sørensen(31) Bohse(7)) sobre el ciclo endógeno del uranio indicaría:

- El uranio (y el Th) se concentra generalmente en los miembros más jóvenes, más félsicos, más silícicos y más potásicos de una secuencia comagmática, con algunas excepciones. Estas excepciones pueden explicarse por:
 - a.- Empobrecimiento relativo en los miembros más jóvenes o finales debido a un cambio de valencia (U_4+ pasa a U_6+) con la consiguiente fuga en solución.
 - b.- El uranio puede separarse de la masa fundida (luego cristalizada) para concentrarse y emigrar (como U_4+) junto con los volátiles que van a formar cuerpos exomagmáticos. (skarns, filones hidrotermales). En este caso podrá aparecer una roca intrusiva teóricamente favorable pero con escaso clarko de uranio. Si se conserva el uranio en la cámara magmática (caso de rocas peralcalinas del tipo sienitas nefelínicas, por ej. Ullimaussaq, Groenlandia) la masa intrusiva será más rica en U.
 - c.- Si el uranio separado junto a los volátiles de la masa fundida en proceso de cristalización se alojó en las partes más elevadas de la bóveda magmática y ésta comienza a ser vaciada por extrusión en etapas sucesivas que comienzan por el techo, la parte más rica en U de las rocas eruptivas resultantes estará en los miembros más antiguos.
- En las rocas intrusivas granitoides el Uranio (y el Th) se concentran en la masa de tardía cristalización y no en los niveles de primera cristalización ("rocks forming minerals"). Los granitoides húmedos (magma con exceso de H_2O) son más ricos en U que los "secos". En cualquiera de estos casos el uranio estaría esencialmente concentrado en la masa residual de la cristalización: en los espacios inter-granulares e intragranulares, en la intimidad de los cristales (sustitución entre U y Th, Zr, etc.) en las microfisuras y en los minerales accesorios de última formación (monacita, allanita, zircón, apatita, etc.).
- En las rocas efusivas y piroclásticas el uranio y el torio se concentran en los vidrios ácidos y quedan retenidos aún en los vidrios hidratados. Esto demuestra la fuerte preferencia del uranio por los magmas húmedos, ácidos, ricos en fluor y cloro y de tardía consolidación. Los vidrios posteriormente tienden a cristalizar y en la etapa de devitrificación el uranio es liberado para cumplir su circuito exógeno. El torio, en cambio, queda retenido.
- En las rocas metamórficas el uranio sufre un empobrecimiento relativo, a medida que progresa el metasomatismo, pero como su tenor depende grandemente de la cantidad original de las rocas ígneas o sedimentarias que se metamorfizan, este grupo petrográfico puede llegar a tener elevados tenores de uranio (en el orden de ppm.) y en tal caso constituirse en una fuente de recursos potenciales.

III.2.3.- Evolución Geológica

No resulta lógico tratar el ciclo del uranio en la corteza sin/ mencionar la influencia de la tectónica global. Desde el punto de vista más amplio, el uranio debería mantener cierta relación con las placas tectónicas y así han tratado de demostrarlo varios autores. Para Kostov (op.cit.) / el esquema de circulación y enriquecimiento del uranio en la corteza queda expresado en la Fig. 5 que representa un corte ideal del continente americano. En el mismo se puede apreciar la favorabilidad para producir concentraciones en partes del orógeno, especialmente en su "foreland belt" y zona / tafrogénica que bordea el Escudo Brasileño. Igual opinión sustenta Gabelman (17) y otros autores. No obstante el cuadro de la fig. 4 muestra / ría que las principales provincias uraníferas se encuentran bastante apartadas de los bordes actuales de las placas y en cualquier posición relativa. Ello implica: o bien una independencia original entre ambos fenómenos, o una falta de exploración y conocimiento de las áreas en blanco o que las localizaciones de los depósitos obedecerían a paleo - bordes de placas fosilizados en el panorama actual. Si este fuera el caso, es válida la opinión / nió de Nininger (obra citada) quien dice que en este caso no tiene / utilidad investigar si existen o no tales bordes de placas para buscar uranio.

En suma, parece ser que la distribución actualmente conocida // del uranio no presenta una relación clara con los límites de placas. Ello / tendría cierta lógica si se admite que el uranio comenzó su evolución cortical muy tempranamente, antes de la segregación de la corteza en placas // móviles. Como corolario surge que una tectónica profunda, que afecta las / partes basales de la corteza, con ascenso de productos de este nivel y del manto, es menos propicia que la tectónica superficial que permite el flujo de elementos puramente corticales de tipo granítico. (Ver pag.5.).

Un resumen de los conceptos predominantes sobre la relación: // tectónica de placas - mineralización de uranio indicaría:

Límites de placas	{	frentes de expansión (ridges mesoceánicos) → no favorab.
		frentes de falla transformante → no favorables
		frentes de subducción (franjitas geosinclinales) → favorab.

Considerando el Mar Rojo y las grandes fosas del Africa oriental como fases tempranas de esta expansión quizás habría que revisar estos conceptos.

- Los distritos uraníferos principales se presentan lejos de los bordes / de placas actuales (ver fig. 4) pudiendo corresponder a antiguos // frentes de subducción (?) cratonizados.
- Los frentes de subducción considerados favorables en realidad actuarían indirectamente a través de los procesos orogénicos inducidos en la placa continental, con tectónica, metamorfismo, intrusión, etc. propias // de estas áreas de inestabilidad, que facilitan el ascenso y concentración del uranio en niveles superficiales. La favorabilidad en los cinturones orogénicos de bordes de placas es mayor en su frente externo, /

en dirección a la depresión tafrogénica que los separa de los escudos o // plataformas ("foreland belt"). Esta tendencia estaría confirmada por el incremento de la acidez de los magmas y el contenido potásico de las intru-siones y volcanismos que suele presentarse a medida que estas se alejan del borde de subducción de las placas.

- La movilización del uranio via tectónica depende del tipo del diastrofismo: una tectónica profunda remueve elementos del manto superior y de la // corteza inferior (nivel 1 de la fig. 2) con aporte de rocas igneas bá-sicas y ultrabásicas. Muchos granitos y rocas mesosilíceas de la Cordillera de Los Andes son también producto de un ascenso desde gran profundidad/cortical siendo pobres en uranio y torio. Las fallas de este tipo son generalmente de plano bastante verticalizado. En cambio una tectónica subsuperficial, de mayor alcance tangencial, moviliza materiales de los niveles // II y III mas ricos elementos radiactivos (U, Th, etc.).
- Las plataformas(escudos precámbricos) son las regiones mas favorables para contener uranio y torio, y en ellas se encuentran las mayores reservas del mundo.

III.3.- Hemiciclo Exogeno

Quando el uranio accede a la superficie o a moderada profundi-dad, queda sujeto a un proceso de movilización de sentido tangencial predominante, gobernado por la ley de gravedad y en el cual intervienen como // factores fundamentales el clima y el relieve, en conjunción con las estructuras geológicas.

III.3.1.- Concepto de Roca Fuente (F) Fertilidad y labilidad

Lo expuesto sobre el circuito endógeno y la relación del ura-nio con las rocas igneas y metamórficas permite tipificar en ese sentido/las unidades líticas que aparecen en la superficie de la tierra aportando el uranio que necesitamos, ya sea en su estado inicial (circuito endogeno) como en depósitos secundarios o de removilización.

Las rocas igneas (plutónicas y volcánicas) constituyen las principales fuentes del uranio endógeno. Corresponde determinar a continuación el grado de "fertilidad" uranífera que pueden tener las rocas endógenas / para constituir fuentes de mineralización.

Dahlkamp (12) establece que ciertas rocas graníticas o // consanguíneas especialmente del Arcaico superior/Proterozoico inferior; de edad Hercínica (por ej. Macizo central francés) y con una importancia aún no definida ciertas rocas alcalinas leucocráticas de edad Proterozoico superior (Alaskita de Rössing), se caracterizan por un contenido de uranio anormalmente elevado, particularmente en sus zonas altas, con contenidos mínimos de por lo menos 2 veces el clarke normal (4 p.p.m.) pero a veces en roca fresca superan las 10 p.p.m..

El enriquecimiento en U es mayor en las zonas próximas a la su

perficie y decrece hacia profundidad.

Moreau, et/al (——) describe las características que distinguen a "granitos fértiles" de Francia pero cabe hacer una observación a la condición de "fertilidad" y que es que todavía no está bien sabido si un alto contenido de U total en la roca justifica su calificación como "fértil" o si tiene mas importancia la composición química (y/o mineralógica) en que interviene el U. En otras palabras: ¿serán los minerales con U fácilmente/lixiviable la única fuente (uraninita por ej.) o también podrían aportar los minerales refractarios o estables de Re-Th-U como la euxenita, allanita etc.?.

Los ensayos de laboratorio demostrarían que estos últimos requieren soluciones de Ph extremos para ceder algo de su uranio.

Parece que en ciertas tobas, como en los de la Fm. White River / en Wyoming, del Terciario, son también fuentes de uranio. Idéntica sospecha puede abrigarse en relación a las grandes masas tobáceas de la Patagonia // sobrepuestas a rocas portadoras de minerales uraníferos (Sierra de Pichiñán Chubut).

Como colorario resultaría conveniente considerar la fertilidad/ de una roca fuente, no como consecuencia de su alto "clarke" de uranio sino más bien como resultado de la "labilidad" del uranio contenido en ella, sea o no un tenor anormalmente alto.

Si tomamos solamente en cuenta el contenido total de U de un granito y con un tenor medio de 4 p.p.m. (4 g./Tn.) un bloque de este granito de un Km². de superficie por 10 m. de profundidad (alcance probable de la meteorización) podría aportar teóricamente 100 Tn. de U₃₀₈. La "labilidad" de este uranio, mucho menor, nos indicaría el aporte real hacia las cubetas. Resumiendo tendremos:

FUENTES (F) (AREA DE APORTE)	}	Rocas endógenas en superficie	{	Cuerpos intrusivos abisales; metamorfitas; lavas, piroclastos.
	}	Soluciones ascendentes y / exhalaciones	{	Desde los intrusivos: pneumatólicas, hidrotermales, post-volcánicas, /// aguas juveniles, etc.. Aguas ascendentes vadosas.
	}	Rocas sedimentarias	{	Areniscas arcósicas, feldespáticas, tufitas y cineritas (piroclásticas removilizadas y devitrificadas).
	}	Depósitos uraníferos.	{	Removilización de concentraciones / previas.

III.3.2.- Procesos de Movilización o Transporte (T)

El circuito externo del uranio está fuertemente influenciado // por el clima y el relieve si bien el transporte puede efectuarse por debajo de la superficie hasta cierta profundidad.

Este transporte se realiza en lo principal en dirección tangencial, mas o menos paralelo a la superficie del terreno. En la figura (8) puede verse como el uranio migra sobre y por debajo de la superficie, siguiendo la ley de gravedad. Esta misma ley rige para la movilización vertical descendente, a partir de una fuente superpuesta (tobas, lavas).

Siendo frecuente la existencia de una fuente común para el U y el Th (caso de rocas intrusivas) ambos elementos radiactivos siguen el // mismo camino pero con distinto alcance. El uranio en superficie se oxida/ pasando de U^{4+} a U^{6+} siendo solubilizado en forma de ión uranilo (UO_2^{2+}) estable bajo condiciones normales de acidez, temperatura, presión de las // aguas naturales, lo que lo lleva a recorrer un largo camino hasta encontrar condiciones fisico-químicas favorables para su depositación. En cambio el torio, que no pasa a valencia $6+$, solo puede andar un corto trayecto en forma de detrito sólido, por lo general, quedando retenido en las // inmediaciones de la fuente de aporte. Parte del torio es disuelto y puede aparecer también en los óxidos hidratados de sedimentos hidrolizados.

El desprendimiento del U de la roca madre o fuente puede producirse de dos maneras: por disgregación mecánica de la roca fuente con extracción del uranio al estado sólido (generalmente ocluido en otros minerales) o por alteración química o lixiviación (con pasaje de U^{4+} a U^6) originadas por aguas superficiales cargadas de gases atmosféricos y iones diversos).

En el primer caso podremos encontrar el uranio juntamente con otros minerales en depósitos detríticos (con min. de Zn; Th; Fe^{++} ; Ti; // etc.) en las cercanías de los cuerpos intrusivos.

Es posible que cualquiera sea el clima imperante en una región, en el área de rocas fértiles, permanentemente algo de uranio sea desprendido de la fuente y transportado aguas abajo, pero los yacimientos de importancia solo se forman cuando se produce una lixiviación masiva por causas de episodios climáticos especiales, donde se conjugan favorablemente factores climáticos: pluviosidad, temperatura, distribución anual de ambas, etc..(Salvo el caso de los conglomerados especiales del Proterozoico basal.)

En este punto debemos aclarar que para los depósitos del circuito exógeno (sedimentarios) el concepto de Ciclo Metalogénico tiene una doble implicancia: hay un primer episodio que es el de la implantación de una roca fértil en las cercanías de la superficie o a flor de tierra (por intrusión, extrusión o denudación) y un segundo episodio, que puede ser sincrónico o posterior al anterior, que produce el arranque y transporte/ hasta el sitio de formación de los yacimientos. Sin embargo ocurre generalmente que a la escala de tiempo geológico, ambos pueden coincidir aunque entre ellos existan diferencias de hasta algunos millones de años.

III.3.3.- Nociones de Biorexistencia

Hardhart (16) es el creador de esta teoría que podemos sintetizar así: En épocas de alto contenido de vapor de agua en la atmósfera, // con fuerte pluviosidad, las áreas continentales se cubrirán con espeso manto vegetal (Biostasia). El escurrimiento superficial solo arrastrará hacia/ el mar los productos solubles o fácilmente extraídos de las rocas (~~fase migratoria~~). Así se transportarán los elementos necesarios para formar rocas de/ origen químico y organógeno en los cuerpos de agua (calizas, dolomías).

Este sería un período metalogénico del uranio pues es fácilmente lixiviable. En cambio la evolución climática hacia condiciones de aridez implicaría el predominio de la desagregación mecánica sobre la química con // formación de los depósitos clásticos aguas abajo (Rhexistasia) por transporte conjunto de la fase soluble (o migratoria) y residual o detrítica. En este período poco uranio logra concentrarse en áreas continentales.

Aplicada a la movilización del uranio podemos resumir el circuito exógeno de acuerdo a la fig. 6 y 8. .

- 1.- Area de aporte: (F) afloramientos de rocas endógenas en zona de montañas o alto-relieves diversos con granitoides, metamorfitas, metasedimentos, fértiles, incluso yacimientos de diversos tipos (hipóginos o detríticos)
- 2.- Area de transporte: (T) las aguas pueden escurrir en superficie o penetrar en los sedimentos, o en las aberturas de origen tectónico para incorporarse al circuito de aguas subterráneas, donde irán a constituir / diferentes celdas geoquímicas, según los conceptos de Shokey.
- 3.- Area de captación: (R) donde aparecen barreras o trampas (C) para la circulación de los fluidos que al modificar el equilibrio físico-químico / producen la precipitación.

III.3.4.- Recipiente o Caja (R)

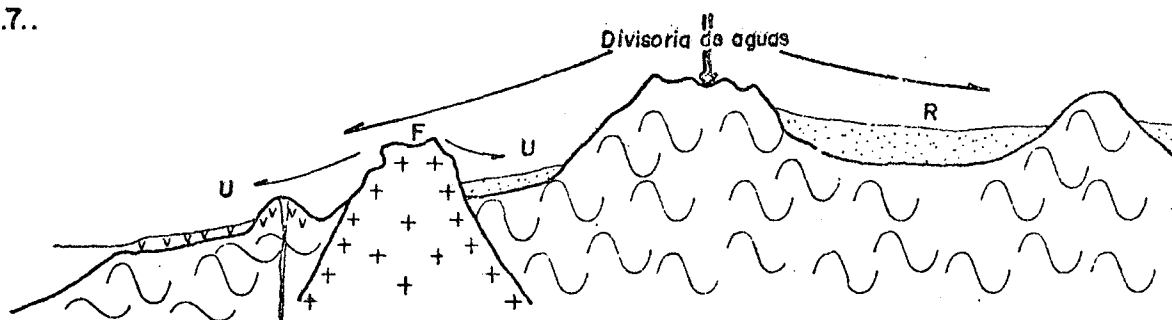
La consideración de este factor reconoce dos elementos específicos:

- a.- La estructura geológica - geomorfológica regional y local.
- b.- La existencia de agentes de retención autóctonos (o alóctonos introducidos previamente al pasaje de la solución).

Los elementos morfoestructurales de carácter regional son los // que involucran, la relación favorable entre la fuente y el recipiente (F y R) de modo tal que el uranio extraído de F vaya a parar a R en una localidad / determinada.

De nada valdría en el ciclo exógeno que existieran excelentes // condiciones de F y R si el flujo de soluciones no pudiera pasar de una a // otra, según se ve en el ejemplo siguiente:

Fig.7.



Es obvio que la favorabilidad de un área para constituir un recipiente con mineralización está ligada al desarrollo de una red de drenaje que parte de una cadena montañosa o "plateau", altiplano o cualquier relieve sobreelevado con respecto a una zona más baja con rocas susceptibles de recibir sus aguas o sedimentos con minerales de U. Esto es válido para magnitudes regionales o locales (por ej. frente oriental del Orógeno Andino, Altiplano de Bolivia, etc., para la magnitud regional y una depresión intramontana, una simple quebrada o valle entre cordones, como en el caso de Sierra Pintada, en San Rafael, Mendoza, o una depresión erosiva a nivel de un enclave metamórfico (roof pendant) en un macizo granítico, caso de Sañogasta, La Rioja y algunos yacimientos en esquistos de Francia y Península Ibérica).

La fig. 8 ilustra sobre esta relación regional. Los depósitos uraníferos tipo "arenisca" del oeste de EE. UU., muestran la existencia de grandes cuerpos o litosomas de areniscas mantiformes en una cuenca circundada por cordones montañosos con batolitos graníticos.

En consecuencia se puede establecer que las mejores condiciones morfoestructurales de una unidad receptora estarían dadas por:

- a.- Una masa sedimentaria con permeabilidad en escala regional. Suficientemente amplia para recibir volúmenes apreciables del uranio desprendido de la fuente (no demasiado extensa para que no se produzca una exagerada dispersión del flujo).
- b.- Presencia en su seno de factores de diversificación de velocidades, presión, temperatura, dirección del flujo de aguas subterráneas. Estos factores pueden ser: cuñas estratigráficas, o cambios litológicos (y de permeabilidad), paleocanalizaciones, intercalaciones de capas impermeables que den presión confinante al agua; fallas, pliegues, diques, fracturas diversas, que dan una permeabilidad secundaria en ciertos sitios. En suma se trata de las llamadas "trampas" estructurales de la mineralización.
- c.- Existencia de sustancias componentes de los sedimentos o introducidas en ellas que son física o químicamente activas en relación a la solución circulante (materia orgánica, bacterias, minerales oxidables, gases, etc.).

d.- Condiciones geomorfológicas apropiadas para la concentración/ de soluciones en un espacio definido. Las mejores condiciones estarían dadas por cuencas centrípetas con cierre en todos // sus planos. En las cuencas con un flanco abierto (hacia el // mar) se requerirán con mas razón las pantallas de contención temporaria o "trampas".

En caso de áreas sin cubierta sedimentaria permeable, tendríamos que considerar un sustrato de rocas tales como rocas graníticas, metamórficas y efusivas o piroclásticas y aún sedimentos no permeables, donde/ el uranio puede quedar retenido. En estos casos pasa a ser importante la / permeabilidad secundaria que es dada por factores estructurales tectónicos: fallas, brechas, diaclasas, etc. o bien estructuras no tectónicas (brechas y rellenos de tipo kárstico por ej.)

Se debe agregar un factor de quimismo que es aportado por la naturaleza primaria de la roca y en mayor grado por sus productos de alteración química. Es por ello que las mejores condiciones suelen presentarse en zonas de alteración hidrotermal o meteórica de las rocas.

Se pueden ejemplificar estos fenómenos con la ayuda de las // figuras 6 y 8.

La precipitación de U puede producirse en el área de transporte (punto A) si existen fallas que afectan los sedimentos acuíferos, o solamente el sustrato para el caso de una circulación a nivel de la discordancia basal del relleno sedimentario. Si no hubiera tales estructuras también podría producirse la precipitación en el plano inclinado (piedemonte/ o bajada en una cuenca intermontánea) del área de transporte, por un cambio en el quimismo de las aguas según la clásica zonación entres áreas /// (carbonática, sulfática y clorurada) que suele presentarse en los bolsones o cuencas interiores. Un cambio en la presión hidrostática induce por ejemplo el desprendimiento de CO₂ y la precipitación de uranio a partir de soluciones bicarbonatadas.

Mas abajo las aguas superficiales pueden encontrar (punto B) una cubeta local con un cuerpo de aguas permanentes) donde se formen lodos que darán esquistos negros ("black shales") o fosforitas capaces de retener el uranio. Si el quimismo de estas cubetas no fuera favorable para la precipitación gran parte del uranio irá a volcarse al océano (punto C) donde podrá encontrar condiciones de mar cerrado o mar abierto, en el primer caso/ favorable para la acumulación de materia orgánica capaz de retener uranio/ (ambiente euxínico).

Muy favorables resultan las discordancias que separan un sustrato complejo o zócalo, de una cubierta sedimentaria. En primer lugar porque el zócalo suele presentar canalizaciones ~~con el~~ conglomerado de base (sitios especialmente favorables para la circulación de fluidos con abundante aporte de iones uranilo y presencia de elementos precipitantes (C) originales de la roca) y en segundo lugar porque a nivel de la discordancia se ponen en contactos los fluidos pertenecientes a dos celdas geoquímicas diferentes: la del zócalo (aguas vadasas y a veces juveniles) y la de la cu-//

bierta. El choque de ambas celdas produce un intercambio de iones y condiciones de Ph, Eh, temperatura y presión diferentes, lo que altera el equilibrio original de la solución portadora permitiendo la precipitación del uranio.

La roca recipiente R puede ser:

- a.- La misma roca fértil (área de aporte)
 - b.- La que sustenta el transporte superficial o subterráneo (área de transporte)
 - c.- Un litosoma diferente al de los dos anteriores (secuencia de areniscas, conglomerados, pelitas, tobas, etc., interestratificadas. Depósitos de marismas y mar playo).
- La existencia de los factores C es la que determina la formación de las menas en una roca cualquiera.

Como sería muy largo de enumerar los diferentes tipos de /// áreas posibles de servir de recipiente para la mineralización uranífera, // sólo se expresan las condiciones de óptima favorabilidad del tipo sedimentario clástico según Nininger (26) y Grutt jr. (19).

- a.- Favorabilidad de ambientes deposicionales (según Nininger) en orden decreciente:
 - 1.- Fluvial
 - 2.- Lacustre
 - 3.- Litoral
 - 4.- Lagunar costero (lagoon)
 - 5.- Marino poco profundo
- b.- Roca recipiente de máxima favorabilidad (según E. Grutt jr.)

Arenisca fluvial feldespática, arcósica y cuarzosa:

 - a.- Derivada de rocas graníticas
 - b.- Inmediatamente por encima de una discordancia
 - c.- Estratigráficamente inferior a rocas tobáceas
 - d.- Depositada dentro de cubetas intracratónicas o geosinclinales.

III.3.5.- Factores de concentración (C):

Para que el uranio circulante en solución acuosa diluída (con Ph desde ácido hasta alcalino) pueda precipitar, se requiere un modificación de las condiciones de equilibrio de la solución (físico o químico).

Los factores principales que pueden producirla son:

- 1.- Modificación del Ph: Es tan importante que integra los procesos de precipitación en las plantas industriales. En la naturaleza el cambio de Ph suele producirse por el aporte de otros fluidos o celdas geoquímicas/

cas o por contacto con minerales que al descomponerse producen condiciones de Ph antagónico con el de la solución. Por ejemplo cuando las soluciones alcalinas que transportan el uranio (se considera que la mayor cantidad de uranio es transportado en las aguas subterráneas bajo la forma de ión complejo bicarbonato o tricarbonato de uranio y sodio), encuentran depósitos de sulfuros (especialmente piritas) que al descomponerse dan reacción ácida. Esto produce la consiguiente acidificación de la solución precipitando uranio tetravalente (minerales negros).

- 2.- Reducción: El aporte de hidrógeno sulfurado desde una fuente cualquiera, la presencia de materia orgánica carbonosa, asfáltica o bituminosa, bacterias, etc. son agentes precipitantes del uranio reducido. El pasaje de soluciones reductoras por depósitos continentales tipo "red beds" se señala con fuerte decoloración de la roca, que de tonos rojizos pasa al gris verdoso (amarillo en superficies oxidadas). Estas áreas de decoloración ("bleaching") son buenas guías para la prospección uranífera.
- 3.- Adsorción: Las arcillas, zeolitas, compuestos orgánicos húmicos, etc. pueden fijar el uranio por adsorción o intercambio iónico. En este caso de retención por fenómenos de superficie puede producirse la precipitación del uranio directamente con valencia 6+ en forma de minerales amarillos.
- 4.- Oxidación: Sobre una formación reducida puede actuar una celda geoquímica oxidante. En el frente de avance de la celda oxidante dentro de las areniscas o acuíferos, se produce una brusca variante de Ph y Eh/ que provoca la precipitación del uranio (que puede ser autóctono o aportado por la misma solución oxidante) y otros elementos (molibdeno, selenio, azufre, vanadio, calcio, etc.) Este es el modelo "roll" destacado en los distritos mineros de Colorado y Wyoming en EE.UU.
- 5.- Cambios de presión y temperatura: En todo sistema acuífero la circulación está sujeta a cambios de presión y temperatura capaces de producir desequilibrios en la composición de la solución (desprendimiento de gases disueltos, como CO₂; precipitación de soluto).
- 6.- Modificaciones en la composición química de fluido: El pasaje de una solución dentro de rocas químicamente activas puede producir modificaciones en su contenido iónico con precipitación y/o disolución de elementos. Es importante en este proceso el efecto del ión común y el consiguiente desplazamiento de la reacción en los depósitos ya formados. También es de consideración el efecto de iones incorporados que son catalizadores de la precipitación del uranio. Sin contar con el efecto de combinaciones químicas que pueden producirse entre los iones pre-existentes y los incorporados al fluido circulante. En síntesis los factores "C" son variados y pueden ser aportados tanto por la solución transportante como por la roca de caja. Su papel principal en la formación de las menas es el de precipitar, concentrar por acreción y preservar los compuestos del uranio que proviene

de una solución diluida en tránsito por un área determinada.

III.4.- Concepto de ciclo metalogénico:

El registro mundial de los yacimientos de uranio conocidos hasta la fecha muestra claramente que el emplazamiento de este elemento en las rocas que lo contienen se ha producido en épocas preferenciales y no en forma continuada a través de los tiempos geológicos. Estas épocas son coincidentes con los grandes ciclos tectomagmáticos del globo, como se detallará más adelante en este trabajo.

Esta coincidencia puede ser menos ajustada en el caso de los depósitos sedimentarios puesto que, para que éstos existan se requiere un paso previo que es la puesta en superficie de las rocas endógenas fértiles. En consecuencia habrá sincronismo con el emplazamiento de la roca fuente endógena para los yacimientos de este origen, mientras que para los exógenos se producirá cierto retardo correspondiente al ciclo erosivo subsiguiente al diastrofismo.

Es importante destacar que es frecuente un registro de múltiples ciclos metalogénicos del uranio para un mismo yacimiento de paragénesis compleja. Por ejemplo para los depósitos de Rabbit Lake, en Saskatchewan, Canadá, Knipping (23) da edades de formación de pechblenda que van desde los 1.124 m.a hasta 508 millones de años, mostrando episodios escalonados a través de los eones Criptozoico y Fanerozoico.

La falta de manejo de este concepto suele llevar a algunos geólogos a falsas hipótesis genéticas de los criaderos. Es el caso de la presencia conjunta en un mismo sistema de vetas, de minerales reconocidamente hipóginos, con minerales de uranio que la Geología del Uranio tiende a ubicar como de origen exógeno. Bien puede ocurrir que los minerales hipóginos fueran emplazados primeramente en las fracturas, posteriormente removidos y éstas invadidas por soluciones uraníferas descendentes. Cuando se puede recurrir a las dataciones de edades absolutas pueden resolverse estas incongruencias aparentes.

III.5.- Formación de Menas (M)

La existencia de acumulaciones anormales de uranio en determinado ámbito geológico está condicionada por los factores antes analizados. Considerando primero los mas generales o remotos, tendremos que analizar el ciclo geoquímico del uranio en la corteza, donde si bien el U tiene un tenor medio de alrededor de 3-4 p.p.m, merced a sus características geoquímicas puede ir concentrándose en determinados procesos geológicos hasta alcanzar tenores ligeramente superiores: 4-6 p.p.m. en tobas ácidas y más de 10 p.p.m. en ciertas rocas graníticas (granitos hercínicos de Francia).

Este proceso da origen a la existencia de "areas de enriquecimiento" o "rocas enriquecidas" en uranio (difundido en la masa rocosa) // que para muchos autores es condición "sine-qua-non" para la formación de/

depósitos uraníferos de interés económico. Para otros éste no es siempre válido.

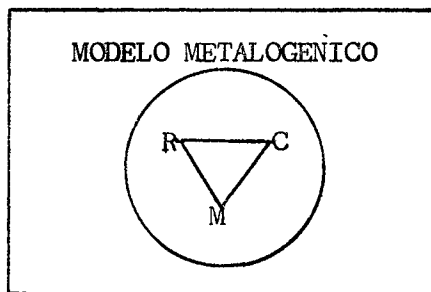
Para los primeros estas condiciones se dan en áreas uraníferas// del escudo Canádico, en Rum Jungle y Alligathor River en Australia como así también el de los cordones graníticos de diversa edad que bordean las areniscas del Plateau del Colorado en EE.UU..

Ejemplos donde no se aprecia esta relación serían los "shales"// de Chatanooga en EE.UU. y los esquistos aluníferos de Suecia. También lo sería el caso de los asomos del basamento cristalino de Witwatersrand en Sudáfrica. Para Nininger en el caso del Plateau del Colorado y Wyoming las fuentes del uranio serían las tobas y cenizas que se intercalan en la cubierta sedimentaria.

La mayoría de los autores consideran sugestiva la constante asociación de un vulcanismo regional ácido y los depósitos uraníferos exógenos. Sin embargo se señalan casos de alto tenor en tobas y cenizas sin la secuela de cuerpos minerales.

Finalmente deben considerarse los factores locales que influyen en la formación de los depósitos.

Estos son múltiples, pero fundamentalmente de dos tipos: litoestructurales (geológicos) (R) y físico - químicos (C). Ellos condicionan el MODELO METALOGÉNICO del criadero, es decir su génesis, morfología, período de formación, alteración, desplazamiento, etc.. Tomando solamente sus rasgos generales podemos expresar:



Donde R indica los factores litoestructurales (caja); C son los factores genéticos: físico - químicos de precipitación y retención y M son los minerales o menas resultantes y sus gangas, tanto primarios como de neoformación.

Correspondería en esta parte de la exposición el análisis de los distintos modelos metalogénicos que se asocian para constituir un agrupamiento de indicios y luego un distrito minero (cuando se define la existencia de uno o más cuerpos con reservas comerciales y una constelación de /// cuerpos menores).

Sin embargo sólo se presenta un cuadro de Dahlkamp (12) con los modelos más típicos pues el tema será desarrollado in extenso en otros trabajos de este curso.

En los párrafos precedentes se ha tratado de destacar cuáles son los factores concurrentes para la formación de un depósito uranífero. Correspondería ahora describir los distintos modelos que pueden presentarse mediante la conjugación de los factores enunciados (F-T-R-C-M-).

Como este tema se desarrolla en otros trabajos, solo nos quedaría por explicar aquí como se utilizan los conocimientos de la Geología del Uranio en las distintas etapas de un programa de prospección y exploración uranífera. (Ver fig.10).

Se pueden considerar dos situaciones extremas: áreas vírgenes de prospección, en las que no se conocen indicios de uranio, y áreas donde /// existen cuerpos conocidos (a veces yacimientos en explotación y sus satélites) descubiertos por azar, o por anteriores programas de prospección.

En el primer caso (ver fig. 9) utilizamos un proceso deductivo con las premisas de la Geología del Uranio I establecidas para una región o unidad morfoestructural, definimos áreas de mayor favorabilidad para contener minerales de uranio. Si como consecuencia un programa de prospección general revelara la existencia de agrupamientos de indicios (nunca éstos se encuentran solitarios), a medida que se desarrolla la exploración de los indicios individuales, la Geología del Uranio II interpreta sus condiciones genéticas y morfológicas y las correlaciona obteniendo inferencias útiles para la continuidad de la exploración en el área y da las pautas para la búsqueda de nuevos indicios o cuerpos no aflorantes. Finalmente la Geología del Uranio III, íntimamente ligada a la exploración individual, al desarrollo y hasta la explotación de un yacimiento, aprovecha esta "cirugía interna" para conocer la intimidad del fenómeno dando pautas para determinar los nuevos frentes de exploración (por ejemplo la definición de un control por borde de paleocanal facilita el rastreo aguas arriba y aguas abajo del antiguo cauce). A su vez permite corregir interpretaciones generales y orientar la exploración de nuevos cuerpos. Muy significativas son las interpretaciones de la Geología del Uranio aplicadas en las cubetas sedimentarias de Nigeria por parte de los geólogos franceses, pues les ha permitido ir descubriendo grandes yacimientos no aflorantes.

En el segundo caso (cuando se tiene una mineralización conocida) se trata de extrapolar condiciones a áreas semejantes que resultan en mayor o menor medida prioritarias por su similitud con las mineralizadas, basada en la presencia de factores comunes de favorabilidad. Precisamente este procedimiento se utiliza con una base matemática en la determinación del potencial uranífero de un país, cuantificando los factores anteriormente analizados. La figura 10 muestra esquemáticamente lo expuesto en estos párrafos.

IV.- SELECCIÓN DE ÁREAS GEOLOGICAS FAVORABLES

La selección de áreas geológicas favorables cubre una amplia // gama de objetivos tendientes a:

- Evaluar a nivel mundial las perspectivas geológicas potenciales de encontrar los recursos de uranio que la humanidad necesita / para cubrir sus futuros programas núcleo - eléctricos.
- Definir sobre los amplios cuadros geológicos regionales o conti- / nentales los límites y distribución de las provincias uraníferas mundiales.
- Extrapolar a niveles nacionales las evaluaciones anteriores, a / fin de poder estimar el Índice de Favorabilidad Geológico-Uraní- / fera (I.F.G.U.) de sus unidades geológicas, estructurales y ope- / rativas. Esta estimación permite conocer las perspectivas de su eventual potencial uranífero, dimensionar el Programa de Pros- / pección que deberá enfrentar el país y aún más, dar las bases / técnicas necesarias para el lineamiento de una política de desar- / rollo de sus planes nucleares (recursos económicos propios; /// "joint venture", riesgos por terceros, etc.).

Para el logro de esas finalidades la geología del Uranio I cons- / tituye una disciplina de aplicación primordial.

En estos casos no solo se sirve de todas las especulaciones teó- / ricas que surgen del conocimiento de su circuito geoquímico y de su parti- / cipación en el ciclo de evolución geológica, sino que se apoya también en / otra serie de consideraciones empíricas y estadísticas como son:

- El conocimiento de la distribución mundial de los depósitos /// económicos y subeconómicos de U y la correlación de esas ubica- / ciones geográficas con los factores geológicos que participan / en su yacencia: posiciones geocronológicas, metalotectónicas, // etc..

Este conocimiento posibilita ampliar las delimitaciones regiona- / les de favorabilidad uranífera, circunscribir provincias metalo- / génicas y hacer extrapolaciones de esa condición de yacencia, a otros ámbitos con similitudes geológicas.

- La evaluación de cómo se integran porcentualmente las reservas / conocidas de U en el mundo: según modelos metalogénicos de sus depósitos, y como se distribuyen esos modelos en las "provin- // cias uraníferas" mundiales.

IV.1.- Clasificación y distribución de los depósitos de U en el mundo.

En los capítulos anteriores hemos visto cómo la distribución // primaria del uranio se liga estrechamente a las condiciones que rigieron / la génesis y evolución cortical y a los procesos magmáticos que participa- / ron en los diversos ciclos geológicos que afectaron esa corteza.

Las concentraciones del uranio hasta llegar a constituir depósitos económicos o subeconómicos derivan de esa distribución primaria a través del hemiciclo hipógeno o de la remoción desde esa yacencia original, // con solubilización, transporte y precipitación, en el hemiciclo supérgeno/ o exógeno.

La formación de los depósitos de U responde a un número relativamente amplio de procesos geológicos, que pueden cubrir la gama de situaciones que conciernen a la tectónica de placas, a la zonación metalotectónica, a la erosión, a la sedimentación, a la paleogeografía, a los paleoclimas, etc., con un grado de amplitud que afecta desde los ambientes de / orden regional ("provincias metalogénicas") hasta los simples esquemas locales con magnitud de metros o centímetros (frentes redox en "rolls" etc.).

Todas estas condiciones convenientemente analizadas y evaluadas, permiten intentar una clasificación y prioritación de los depósitos de uranio según condiciones de yacencia e importancia de su participación en las reservas mundiales.

IV.1.1.- Clasificación de los depósitos de uranio

De los diversos intentos de clasificación realizados (Heinrich, Bowie, Ziegler, Dahlkamp, etc.), es probablemente el ensayo de Ziegler // (33) el más evolucionado en su búsqueda de correlacionar las condiciones geocronológicas, metalotectónicas y genéticas que controlan la yacencia y distribución de los depósitos mundiales de U.

En esta ocasión utilizaremos la clasificación de Dahlkamp que // tiene bases exclusivamente genéticas y para la que sería válido lo expresado por Lindgren: "Toda clasificación genética de depósitos minerales es // equivalente a una clasificación de unidades geológicas, la que presenta todas las dificultades que surgen del imperfecto conocimiento de esos procesos".

La clasificación de Dahlkamp (fig.16 bis) señala en forma simple / los procesos que pueden haber intervenido en la formación de los depósitos a partir de una fuente de aporte de U; esa fuente puede radicar en la etapa previa del hemiciclo endógeno, es decir en el magma y sus diferenciaciones, o en cualquier otro tipo de roca que posea contenidos anómalos de U / lábil y lo aporte al hemiciclo exógeno.

Este principio de la clasificación nos permite distinguir los // depósitos de origen singenético de aquellos epigénicos.

El autor destaca luego el modo de formación del yacimiento, el ambiente de su emplazamiento, el tipo de roca huésped portadora de la mineralización, para terminar por señalar la importancia que poseen esos depósitos en el mundo, jerarquizando sus respectivos modelos metalogénicos.

Surge de esta forma el interés preminente de los yacimientos de uranio tipificados como:

- Depósitos en "conglomerados Precámbricos"
- Depósitos en "areniscas"
- Depósitos en "vetas hidrotermales y filonianos"
- Depósitos "intramagmáticos"
- Depósitos "supergenos"

Una evaluación de las condiciones que rigen la evolución y yacencia de estos depósitos permite establecer otros tantos modelos genéticos conceptuales de indudable interés, por ser extrapolables a condiciones geológicas similares en el mundo.

Si seguimos el análisis de Ruszicka (Fig. 11), vemos que 5 factores básicos intervienen en el proceso de formación de todos estos yacimientos:

- a.- Aporte: Integra los procesos que se inician con la presencia de fuentes fértiles que aportarán el uranio, la liberación de ese uranio original y su introducción en el hem ciclo exógeno de su ciclo geoquímico.
- b.- Transporte: Detalla los diferentes procesos físico - químicos que posibilitan el transporte del uranio desde sus fuentes de aporte a las áreas de depositación.
- c.- Depositación: Define las condiciones geológicas favorables (estructuras litológicas, etc.) y los mecanismos físico - químicos que permiten la concentración del uranio (cambios Redox; metasomatismo, diferenciación, absorción, etc.).
- d.- Modificación: Analiza los procesos que pueden modificar la yacencia / de los depósitos debido a factores posteriores a su concentración: // oxidación, metamorfismo, acreción, etc..
- e.- Preservación: Expone los factores que controlan la conservación de la yacencia de los criaderos.

Sobre este "modelo-tipo" se fundamenta la formación de los "5 / modelos conceptuales" de yacencia económica principal de los depósitos uraníferos mundiales.

- MODELO 1: Depósitos en "conglomerados precámbricos" (Fig. 12)

La fuente de uranio de estos depósitos singenéticos se ubicaría en la concentración original de ese elemento en rocas ígneas ácidas de la corteza primigenia; la destrucción de esas rocas liberaría el uranio original (uraninita), incorporándolo a los detritos que participaron de los sistemas fluviales, etc., produciendo el conocido proceso de concentración de minerales pesados en un medio hídrico. El déficit de oxígeno en ese ambiente no habría permitido la oxidación del U⁺⁴. La diagénesis de esos sedimentos y la existencia de un medio ambiente reductor (presencia de piritas, / etc.) habrían preservado la yacencia de este tipo de mineralización.

La distribución de los depósitos conocidos de este modelo en el mundo y las expectativas de ubicar nuevos distritos con este tipo de yacimiento se correspondería con la presencia de los amplios afloramientos del Proterozoico inferior en diversos escudos del Basamento Precámbrico. Expectativas de interés para la presencia de este modelo, quedan entonces preestablecidas para los Escudos de Brasil, Canadá, Sud Africa, Australia.

MODELO 2: Depósitos en "areniscas" (Fig. 15)

Cubren una serie de variables litológicas que van desde las areniscas fluviales a las marginales y hasta las de origen lacustre. Los ambientes de depositación favorables son las amplias cubetas intracratónicas planas con importantes rellenos clásticos fluviales, no disturbadas tectónicamente, pero que poseen abundancias de discontinuidades o trampas estratigráficas, estructurales, etc..

El uranio es transportado en soluciones acuosas y como ión uranilo (U^{+6}) especialmente en el sistema hidráulico subterráneo de la cubeta

Las fuentes del uranio pueden ser de origen múltiple, postulándose como tales las rocas ígneas ácidas o mesosilíceas con U lábil, que enmarcan el cuadro geológico de aporte de sedimentos a la cubeta, o las tómbas del mismo carácter que pueden integrar la columna litoestratigráfica de su relleno, etc..

La depositación del ión uranilo se produce por precipitación en frentes Redox de U^{+6} a U^{+4} . Los ambientes reductores se crean por presencia de restos carbonosos, bitúmenes SH_2 , piritas, etc..

La modificación de estos criaderos se produce por cambio en las condiciones Redox, en las condiciones hidrodinámicas, etc., y su preservación se puede deber al confinamiento del sistema hidrodinámico y por conservación del ambiente reductor.

La distribución mundial de este tipo de depósitos cubre una amplia dispersión geográfica con importantes yacimientos en Niger, Gabón, Australia, Yugoslavia, Francia, Argentina y en especial Estados Unidos.

La posición geocronológica de estos depósitos se polariza en el Mesocenoico y Paleozoico Superior, con una participación menor en el Proterozoico Inferior.

Las actuales reservas mundiales de este modelo se estiman en unas 600.000 Tn. de U lo que constituye a la fecha un 40 % de los R.R.A. del mundo.

Las perspectivas de ampliar las reservas mundiales con este modelo son de gran expectativa por el importante desarrollo de condiciones geológicas similares a las de su yacencia (Sud América: Argentina, Brasil, etc; Africa: Niger, Libia, Gabón; Australia; Norte América: EE.UU., Canadá; Europa: Francia, Yugoslavia., etc.).

MODELO 3: Depósitos en "vetas y filonianos"

Este modelo presupone un enriquecimiento de uranio en una fuente primaria (magma ácido, etc.), de donde se liberaría como compuestos solubles en soluciones acuosas, etc. que se movilizan en sentido lateral, descendente o ascendente. En bajas temperaturas el uranio puede ser transportado en forma de ión uranilo en soluciones con alto contenido en CO₂; en las condiciones de altas temperaturas de los procesos ígneos; esa movilización se produce generalmente como uranio tetravalente y acompañado por torio, tierras raras, etc.. La precipitación de ese uranio se produce ya sea como pechblenda, bien como uraninita, o incorporado a los minerales accesorios de la diferenciación magmática. Su depositación está controlada por factores litológicos, estructurales o físico - químicos: absorción, cambios P-T; cambios Redox, etc..

Las eventuales modificaciones de sus yacencias se deben a causas tectónicas, metamorfismo, efectos supérgenos, etc. que lo removilizan de sus posiciones originales. La preservación de estos yacimientos está controlada por su permanencia en zonas de reducción.

La distribución de yacimientos correspondientes a este modelo, es quizás la que abarca la mas amplia gama geográfica a nivel mundial y cubre las más variadas condiciones de yacencia litológica, geocronológica y metalotectónica. Yacimientos de este modelo se ubican en EE.UU., Canadá, Francia, España, Australia, México, India, Argentina, Argelia, Portugal, etc., emplazados en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias con una posición cronológica preferencial en el Proterozoico inferior y superior, Paleozoico superior y todo el Mesocenoico.

Este modelo participa con casi 500.000 Tn. de U en los R.R.A. actualmente conocidos en el mundo.

MODELO 4: Depósitos "intramagmáticos y anatéticos" (Fig. 13)

Estos depósitos se identifican también como de "uranio porfírico"; su origen radica en un enriquecimiento cristaloquímico de uranio en ciertas rocas de la diferenciación tardía de los magmas graníticos tales como ser: alaskitas, granito biotítico, cuarzo monzonita, sienitas, etc. que suelen estar acompañadas por diques aplíticos y filones pegmatíticos.

La movilización del U se circunscribe al ámbito de la actividad ígnea o en la gama de los procesos del ultrametamorfismo. La depositación de los minerales de U está circunscripta a los efectos de la cristalización del magma donde las reacciones químicas y físicas pueden provocar concentraciones económicas.

La modificación de la yacencia original de estos depósitos se puede deber a: sobreimposiciones por enriquecimientos secundarios supérgenos.

A la fecha este modelo totaliza un 10/15 % de los R.R.A. (Recursos Razonablemente Asegurados) del mundo y se los encuentra en una amplia distribución geográfica en: S.O. Africa (Rössing); Canadá (Charlebois Lake

Area); Australia (Crockerwell); Sud Africa (Palabora); Brasil (Serido).

Las posibilidades de incrementar las reservas mundiales de U en base a este modelo metalogénico se estiman ampliamente positivas.

Su participación en el mercado del uranio señala un proceso similar al que gobernó la comercialización del Cobre: en 1890 se explotaban minerales con ley mínima de 4% de Cu, actualmente ese límite se ubica en 0,5%; de la misma forma el uranio que antes solo se trataba con leyes del orden de 0,2 % U₃O₈, actualmente puede ser explotado en este nuevo modelo/ de depósitos, con tenores de 0,05 % U₃O₈. El incremento en el precio del U y las modernas tecnologías mineras y extractivas han hecho posible estas modificaciones.

MODELO 5: Depósitos de uranio "supergeno" (Fig. 16)

La fuente de aporte puede estar dada por todo tipo de roca con un contenido anómalo en uranio lábil (granitos, tobas ácidas, etc. fértiles en U lixiviable).

La meteorización libera ese uranio que es transportado como iones complejos de uranil - carbonato en aguas meteóricas superficiales, vadadas o a nivel de las freáticas en desplazamientos verticales y laterales

La precipitación del uranio se produce como U₆, normalmente // por pérdida de H₂O y CO₂ en la solución portadora. Se presenta solo como carnotita y asociado a arenas, arcillas y carbonato autígeno. Su ambiente normal de formación ha sido un medio oxidante con depresiones planas, paleocauces, etc. rellenados con depósitos aluvionales o de suelos cenozoicos cementados por carbonato de calcio, sulfato de calcio, calcio - magnesio, etc. ("calcrete", "giperete", etc.).

La removilización de estos depósitos estaría controlada por /// cambios climáticos o hidrodinámicos siendo de destacar la estabilidad de mineral presente vanadato de U, lo que colabora en la preservación del depósito aparentemente logrado merced a un "balance delicado entre movilización y estabilidad" Prémoli . (27).

Estos depósitos son de reciente descubrimiento (1972 Yeelirrie-Australia) y su metalogénesis es motivo de estudios intensivos, pues los yacimientos descubiertos en Sud Africa y Australia poseen elevadas reservas (Yeelirrie 46.000 Tn. de U₃O₈ con una ley de 1,5 ‰ U₃O₈) y las perspectivas geológicas potenciales de ubicar este tipo de depósitos a nivel mundial son de grandes posibilidades, especialmente en Africa, EE.UU., /// Sud América y Australia. En amplias regiones de esos ambientes aparece el // Basamento con notoria estabilidad tectónica y relieves peneplanizados durante el Cenozoico, con desarrollo de drenajes internos aluviales y presencia de las condiciones litológicas, climatológicas y geoquímicas, que normalmente controlan la yacencia de este modelo.

En todos los modelos conceptuales expuesto se considera que el cuadro metalogénico básico estaría dado por la presencia mínima de la du-

pla "fuente de aporte fértil" - "área de recepción adecuada".

En algunos países se jerarquiza aún más la necesidad de una /// "fuente de aporte", y sin llegar a descalificar la importancia de las otras fases, se estima que la evaluación de este parámetro es el punto de partida de todo programa analítico de la favorabilidad geológica uranífera. (Fig.17)

Bajo esta premisa, en esos países se enfatiza la necesidad de // reconocer originalmente las áreas de enriquecimiento anómalo que pueden /// llegar a constituir aportes fértiles y luego integrar ese conocimiento con el análisis de las regiones geológicamente conexas, donde tendrían lugar to dos los procesos secundarios que hemos considerado, hasta la precipitación del uranio.

Evidentemente la delimitación primaria de las "áreas anómalas" / de un país pueden llegar a involucrar un doble interés desde el momento // que las mismas pueden no solo constituirse en regiones fértiles de aporte / a otros ambientes, sino llegar a poseer ellas mismas perspectivas económicas, por reprecipitaciones locales de su mismo U hasta alcanzar concentraciones comerciales.

Dado que la amplitud con que se suelen presentar esas áreas // anómalas son de dimensiones importantes, es factible delinear sus regiones de emplazamiento mediante reconocimientos de malla amplia o itinerarios de igual índole. En Canadá por ejemplo se ejecuta actualmente un Programa de Reconocimiento Nacional con radiometría aérea en malla de 25 Kms. y geoquímica con muestreo (roca, agua o sedimento) cada 12,5/25 Km².

Por supuesto que la ejecución de un programa de esta naturaleza significa desarrollar en forma sistemática el reconocimiento integral de / un país, con todas las implicancias operativas y en especial económicas // que ello involucra.

En nuestra opinión la Geología del Uranio I debe evaluar todos / los factores que integran los modelos conceptuales expuestos a fin de estimar la favorabilidad tentativa de las unidades geológicas factibles de delimitar en un país. Las conclusiones de esa evaluación deben tender a alcanzar un ordenamiento de prioridades en la realización del programa nacional de prospección, mediante un cuadro orgánico que establezca una primera / clasificación tentativa de la favorabilidad de esas unidades.

Esta consideración es especialmente válida para países con re- / cursos económicos limitados donde se impone la prioritación de una opera- / ción de prospección.

IV.1.2.- Distribución geográfica de los depósitos mundiales de U (Fig.18 y 19)

El análisis de la distribución geográfica de los depósitos de U constituye un argumento complementario que debe ser utilizado por la Geología del Uranio I para la selección de áreas favorables. La evaluación de / esas ubicaciones y su contexto geológico, permiten extrapolar las condicio- / nes locales de favorabilidad a ámbitos regionales mayores con condiciones

de similitud comparable.

Los yacimientos conocidos a la fecha en el mundo (excluidos países socialistas) se distribuyen en siete unidades geográficas principales la mayoría de las cuales integran verdaderas "provincias uraníferas".

Por "provincia uranífera" entendemos a toda región de gran amplitud donde existe una concentración anómala de uranio y donde se hacen // presente un gran número de depósitos dentro de los distintos modelos metalogénicos del U.

Normalmente los límites de esas provincias son poco definidos / debido a la extrema movilidad e irregularidad, en los posibles emplazamientos primarios y secundarios del uranio. Otra condición relevante es su persistencia a través de los tiempos geológicos debido a que las interacciones de los dos hem Ciclos de su circuito geoquímico, se desarrollan en ámbitos relativamente cerrados. pese a la fuga de parte de su uranio hacia / el mar.

Como ejemplos de esa persistencia tendríamos los viejos escudos Precámbricos de Canadá, Brasil, etc. donde ubicamos yacimientos con edades que van desde el Proterozoico Inferior (1.700 a 2.750 millones de años) // hasta el Mesocenozoico.

En esas siete regiones o "provincias uraníferas" se ubica el 85% de los recursos del mundo no socialista.

<u>"Provincias productoras"</u>	<u>R.R.A. - R.A.E.</u> <u>hasta 130 U\$S Kg./U308</u>
1.- Centro W y S de EE.UU.	1.660.000 Tn.
2.- "Zócalo" Canadiense	850.000 Tn.
3.- Australia	360.000 Tn.
4.- Sur y S.W. de Africa	420.000 Tn.
5.- Centro y Centro W. de Africa (Gabón, etc.)	40.000 Tn.
6.- N. y N.W. de Africa (Niger, etc.)	210.000 Tn.
7.- Areas Hercínicas de Europa (Francia, España, etc.)	140.000 Tn.
8.- Otras (Zócalo brasilero, Argentina, México, India, Japón, Madagascar, Argelia, etc.)	610.000 Tn.
	<hr/>
	TOTAL 4.290.000 Tn. (O.D.E. 77)

* Fuente de información O.C.D.E./O.I.E.A.- 1977

R.R.A.: Recursos Razonablemente Asegurados

R.A.E.: Recursos Adicionales Estimados

El ítem 8 está integrado por un numeroso grupo de países que si bien no cuentan actualmente con cifras significativas en el cuadro mundial de recursos, estimamos en cambio que poseen un potencial geológico lo suficientemente válido como para esperar ubicar en los mismos, reservas de importancia comparable a la de las "provincias productoras".

La comparación entre los enormes esfuerzos técnico - financieros realizados en las grandes "provincias uraníferas" respecto a los incipientes programas de las regiones con expectativas geológicas potenciales/justifica las diferencias de sus respectivas participaciones en las cifras de las reservas mundiales de U. Muchos ejemplos pueden ilustrar esta situación: Australia en 1967 poseía una reserva de 6.200 Tn. de U₃₀₈; entre ese año y 1975 desarrolló un programa agresivo de prospección - exploración // que llevó esas cifras a 230.000 Tn. de U, aproximadamente un 15 % de los / R.R.A. a menos de 80 U\$S Kg/U de las reservas mundiales. Niger en 1964 no poseía prácticamente reservas pese a programas sistemáticos del C.E.A. de Francia desde 1958, sin embargo cuando esos planes fueron reorientados técnicamente y soportados por un importante presupuesto dieron sus frutos. Actualmente posee aproximadamente 200.000 Tn. de U en grandes yacimientos // con 20 a 60.000 Tn. de U cada uno.

Sobre este mismo esquema podemos ejemplificar las diferencias / entre los programas de Canadá con centenares de miles de Km² de prospección // anual, lo que permitirá en 10 años rehacer todo el conocimiento sobre la distribución superficial de U; o el de EE.UU. donde además de esos programas de revisión masiva de la prospección se ejecutan varios millones de metros anuales de perforaciones.

Esfuerzos técnico - económicos en regiones uraníferas como el / Escudo brasilero, Centro y Norte de Africa, sur de América del Sur, etc. // pueden llegar a hacer de las mismas, grandes productoras de U.

La continuidad de los esfuerzos técnico - económicos en las // "provincias mundiales productoras", permitirá ampliar los límites de sus // actuales yacencias dentro del contexto geológico que enmarcan su presencia, y consecuentemente posibilitará incrementar sustancialmente el nivel de // sus actuales reservas.

Un ejemplo de esta situación podría corresponder a las áreas // uraníferas de EE.UU. donde a la fecha se han cubicado (1.700.000 Tn.U₃₀₈) / (R.R.A. + R.A.E.) pero cuyo potencial uranífero a desarrollar en el próximo / futuro se ha estimado en ([±]4.000.000 Tn.U₃₀₈) (E.R.D.A. 1977).

Un desarrollo de intensidad creciente en las regiones del ítem 8 permitirá a su vez transformar sus actuales condiciones de pequeñas áreas o distritos de interés local en nuevas "provincias productoras". A esos fines se deberán integrar esas áreas a los ámbitos geológicos de amplitud regional y buena favorabilidad que encuadran su yacencia y que aún no han sido motivo de programas intensivos y sistemáticos de prospección - exploración.

Ejemplos de esta situación a nivel de países se podrían corres-

ponder con los distritos uraníferos locales de Brasil, Argentina, Argelia, México, etc., aún no integrados bajo la faz de su exploración a los ámbitos geológicos regionales donde yacen.

Finalmente cabe agregar que las regiones mundiales que aparecen actualmente como no integrantes de las reservas conocidas de U, no se pueden descartar en cuanto a sus perspectivas potenciales de participar en // las mismas.

En general esas áreas o países no han desarrollado a la fecha // programas sistemáticos de prospección y consecuentemente no se conocen /// realmente sus perspectivas potenciales de ubicar los modelos genéticos conocidos a la fecha o bien de descubrir en ellos nuevos modelos de yacencia.

Los parámetros geológicos de favorabilidad uranífera en muchos/ de esos países son de buenas expectativas y es previsible su futura participación en las reservas del mundo, si en ellos también se ejecutan programas intensivos de prospección - exploración.

IV.2.2.- Distribución geocronológica y metalotectónica de los depósitos de U en el mundo. (Fig. 20 - 21)

También estos conocimientos se constituyen en parámetros de apoyo a la geología del Uranio I en su faz de selección de áreas geológicas / favorables.

El análisis estadístico de Dalhcamp (12) permite reseñar la/ preferente ubicación metalotectónica y geocronológica de los depósitos mundiales de U, representativos de los modelos conceptuales que hemos descrito en los ítems anteriores.

El resultado de esta evaluación se puede sintetizar en el siguiente detalle, donde se correlaciona la posición geocronológica de los / depósitos mundiales con otros tantos eventuales "ciclos metalogénicos" del uranio.

a.- Precámbrico: Ciclos Arcaico Superior - Proterozoico Inferior y / Superior.

Yacencia preferente de depósitos de uranio hasta integrar aproximadamente un 40 % de las reservas mundiales en el lapso geológico que media entre el Arcaico Superior y el Proterozoico Inferior (Elliot Lake, Blind River, Canadá, Witwatersrand Sud Africa, etc.). Ese período de tiempo cubre el intervalo entre los 1.700 y 2.450 millones de años.

Una ubicación complementaria con otros modelos de yacencia se verifica en el Proterozoico Superior aunque con un peso matemático no superior al 5% de las reservas mundiales (Rössing, Sud W. / Africa; Palabora; Sud Africa, etc.).

b.- Paleozoico Superior: Ciclo Hercínico

Un importante número de depósitos, con diversidad de modelos de yacimientos en "areniscas" hasta el tipo "vetas hidrotermales

y filonianos", se los ubica ligados geocronológicamente a la // Sub - era Hercínica. Sus reservas intervienen aproximadamente / en un 10 % en los R.R.A. del mundo. (Arlette: Niger; Sierra Pin-tada: Argentina; Macizo Central: Francia, etc.)

c.- Mesozoico: Ciclos Triásico - Jurásico Supercretácico

En el amplio período que va desde el Triásico al Cretácico Supe-rior, se ubican en forma predominante yacimientos del modelo en "areniscas" (Colorado Plateau: EE.UU.; Malargüe, Tonco, Sa. Pi-chiñán: Argentina, etc.). Su participación en las reservas mun-diales de U es de aproximadamente un 30 %.

d.- Cenozoico: Ciclo Terciario y Pleistoceno

En el Terciario se emplaza una importante serie de depósitos / con modelos variables desde uranio en "areniscas", hasta los de hábitos "filonianos" y "vetas hidrotermales" (Gass-Hills, Wyo-/ming: EE.UU.; Cosquín: Argentina; Ningyô Tôge: Japón, etc.). // Estos depósitos intervienen en un 10 % en las reservas de U en el mundo.

En los últimos años se ha descubierto un nuevo modelo de depó-sitos supérgenos en "calcrete" con una posición cronológica preferente en el Pleistoceno. Si bien su actual participación en las reservas mundiales de U es de baja incidencia, las perspectivas futuras son de enorme interés atento a los enormes cuadros geológicos mundiales, similares a los que con-trolan su yacencia.

Una correcta evaluación de los elementos geocronológicos y me-talotectónicos expuestos nos permiten, en relación a la distribución y con-diciones de yacencia mundial de los depósitos de U, extrapolar nuevamente conclusiones tendientes a ampliar la delimitación original de algunas /// "provincias productoras" y definir nuevas regiones de favorabilidad poten-cial.

Ejemplos de algunas perspectivas de ampliar o ubicar nuevas // áreas productoras" en función de estas extrapolaciones:

Para el Precámbrico: Ciclos Arcaico Superior y Proterozoico Inferior:

En el Proterozoico Inferior del Escudo Brasileiro; // Suecia, Angola, etc..

Para el Paleozoico Superior: Ciclo Hercínico:

En el sistema Karoo de Sud Africa; en el sistema Pa-ganzo de Argentina; ídem los depósitos molásicos Per-mo-Carbónicos de Bolivia, Perú, etc..

Para el Mesozoico: Ciclo Supracretácico:

En el grupo Chubut y grupo Salta, etc. en Argentina; en depósitos marginales del relleno de cubeta cre-tácica S. de Bolivia.

Para el Cenozoico: Ciclo Terciario:

En las cubetas intracratónicas de Ecuador, Colombia.

En las efusivas ácidas de México, Bolivia, Perú.

Para el Cenozoico: Ciclo Pleistoceno, etc.:

En las amplias regiones con climas áridos y depósitos de tipo "calcrete" etc. en Sud Africa: Mauritania, Angola, Somalia, S.W. Africa; oeste de Estados Unidos; centro de México, oeste de Brasil, centro sur de Argentina.

V.- APLICACION DE LA GEOLOGIA DEL URANIO I EN UN PLAN NACIONAL DE PROSPECCION

Los argumentos expuestos como fundamento de la geología del Uranio I permiten, en una aplicación empírica de su amplio espectro de parámetros, utilizarlos para elaborar en países que carecen de antecedentes uraníferos (o que poseen sólo indicios inconexos) un cuadro regional de su favorabilidad y delimitar unidades con expectativas de albergar determinados modelos genéticos de uranio.

En instancias secuentes esos antecedentes posibilitan estimar // cuantitativamente esa favorabilidad y realizar una clasificación de prioridades para lograr un ordenamiento operativo, en un Programa Nacional de /// Prospección (Ver fig. 10).

Con un adecuado conocimiento de la geología regional es factible comenzar la preparación de los antecedentes y fundamentos de un Plan Nacional, mediante un primer estudio analítico de gabinete que posibilitará: delimitar unidades regionales de expectativas uraníferas; estimar un índice / orientativo de la favorabilidad geológico - uranífero y cuantificar tentativamente el interés potencial del Programa a ejecutar.

Con estas bases se podrá establecer el dimensionamiento del Programa a enfrentar y aconsejar sobre el lineamiento técnico político que /// conviene adoptar para el desarrollo del mismo.

Para llevar adelante esos objetivos, se estima aconsejable aplicar la siguiente secuencia metodológica:

V.1.- Delimitación de "Ambientes Geológico - Uraníferos Regionales"

Para cumplimentar esta etapa se debe comenzar por seccionar el/ país en una serie de unidades regionales, delimitadas en base a un análisis y evaluación de sus condiciones litoestratigráficas y de evolución geotectónica, intentando integrar cuadros geológicos con similitud a los que constituyen las provincias uraníferas conocidas en el mundo.

Luego es factible realizar una estimación de los valores geológicos uraníferos potenciales de esos "ambientes", mediante una evaluación de la presencia en los mismos de los parámetros básicos que rigen el "ciclo/ del uranio", y la yacencia geológica de sus modelos metalogénicos.

Los parámetros de esta estimación son:

- Litoestratigrafía
- Evolución geotectónica
- Ciclos metalogénicos asociados al U
- Condiciones geomorfológicas
- Condiciones climáticas, etc..

Normalmente, y sin que esto signifique una regla, esos "ambientes regionales" suelen coincidir con las unidades morfoestructurales de un país.

En la República Argentina esta etapa de estudios permitió la delimitación de 21 Ambientes Regionales. (Ver fig. 24).

V.2.- Delimitación de "Unidades de Prospección"

La amplitud de los "ambientes regionales" y el hecho de que muchas veces existe en los mismos una importante heterogeneidad litoestratigráfica, además de una gran variedad de condiciones fisiográficas, hacen aconsejable intentar una subdivisión de los mismos en áreas menores que nominamos "unidades de prospección".

Estas unidades se delimitan utilizando los mismos factores geológicos que se tuvieron en cuenta para los Ambientes Regionales, pero por lógica a una escala de mayor detalle (diferencias litológicas, posiciones geocronológicas, evolución geotectónica, vinculaciones genéticas paleogeográficas climáticas, etc.). Simultáneamente se analizan sus condiciones de operación (fisiografía, clima, alturas, accesos, etc.) a fin de establecer los métodos de prospección que mejor se adecúen a cada unidad.

En Argentina se delimitaron dentro de los 21 "Ambientes Regionales" 65 "unidades de prospección" a las que se clasificó empíricamente en 3 niveles de importancia y orden de prioridad, para la planificación de la prospección a nivel nacional.

V.3.- Estimación del Índice de Favorabilidad Geológico - Uranífera (I.F.G.U.) de cada "unidad de prospección".

En base a la evaluación de los parámetros que rigen el ciclo geológico del uranio y de otros factores que controlan la presencia de sus depósitos según ambientes geológicos en que yacen, es factible llegar a cuantificar el grado de favorabilidad geológico - uranífera potencial de cada unidad de prospección.

El cuadro siguiente detalla cómo se han clasificado esos factores y cómo se ha cuantificado su participación, en la estimación del I.F.G.U. de cada unidad litoestratigráfica presente en la "unidad de prospección" a estudiar.

-BASES PARA LA ESTIMACION DEL I.F.G.U.-

Ambientes sedimentarios: (modelos: "en areniscas", "calcrete", etc.)

PARAMETROS	Valoración parcial de favorabilidad uranífera.	Quantificación total																
1° <u>Ambiente</u> <u>Deposición:</u>	<table border="0"> <tr> <td rowspan="4">Sedimentos Continentales</td> <td rowspan="4">{</td> <td>Fluviales hasta</td> <td>3,0</td> </tr> <tr> <td>Deltaicos</td> <td>" 3,0</td> </tr> <tr> <td>Lacustres</td> <td>" 1,5</td> </tr> <tr> <td>Eólicos</td> <td>" 1,5</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Sedimentos Marinos</td> <td rowspan="2">{</td> <td>Marginales</td> <td>" 2,0</td> </tr> <tr> <td>Profundos</td> <td>" 0,5</td> </tr> </table>	Sedimentos Continentales	{	Fluviales hasta	3,0	Deltaicos	" 3,0	Lacustres	" 1,5	Eólicos	" 1,5	Sedimentos Marinos	{	Marginales	" 2,0	Profundos	" 0,5	Hasta 3,0
Sedimentos Continentales	{			Fluviales hasta	3,0													
				Deltaicos	" 3,0													
				Lacustres	" 1,5													
		Eólicos	" 1,5															
Sedimentos Marinos	{	Marginales	" 2,0															
		Profundos	" 0,5															
2° <u>Litología:</u>	<table border="0"> <tr> <td>Tipo de roca (arenisca, calizas, etc.)</td> <td>"</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>Permeabilidad, cemento, etc.</td> <td>"</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>Decoloración</td> <td>"</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>Limonitización Hematitización</td> <td>"</td> <td>0,5</td> </tr> </table>	Tipo de roca (arenisca, calizas, etc.)	"	1,0	Permeabilidad, cemento, etc.	"	0,5	Decoloración	"	1,0	Limonitización Hematitización	"	0,5	Hasta 3,0				
Tipo de roca (arenisca, calizas, etc.)	"	1,0																
Permeabilidad, cemento, etc.	"	0,5																
Decoloración	"	1,0																
Limonitización Hematitización	"	0,5																
3° <u>Estructuras</u> <u>Sedimentarias:</u>	<table border="0"> <tr> <td>Entrecruzamientos (láminas largas, cortas, etc.)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Canalizaciones</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Entrecruzamientos (láminas largas, cortas, etc.)			Canalizaciones			Hasta 1,0										
Entrecruzamientos (láminas largas, cortas, etc.)																		
Canalizaciones																		
4° <u>Agentes</u> <u>Reductores:</u>	<table border="0"> <tr> <td>Materia carbonosa vegetal</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bitúmen, SH₂, Pirita, etc.</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Materia carbonosa vegetal			Bitúmen, SH ₂ , Pirita, etc.			Hasta 2,0										
Materia carbonosa vegetal																		
Bitúmen, SH ₂ , Pirita, etc.																		
5° <u>Rasgos Estructurales</u> <u>Regionales:</u>	<table border="0"> <tr> <td>Discordancias piso - techo</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estructuras tectónicas</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Buzamientos</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Discordancias piso - techo			Estructuras tectónicas			Buzamientos			Hasta 1,0							
Discordancias piso - techo																		
Estructuras tectónicas																		
Buzamientos																		
MAXIMO GRADO DE FAVORABILIDAD		10,00																

Ambientes igneos y metamórficos: (modelos en: filones - vetas; intramagnéticos, etc.)

PARAMETROS	Valoración parcial de favorabilidad uranífera.	Cuantificación total
<u>Ambientes:</u>	Metamórficos hasta 1,0 Volcánicos " 3,0 Intrusivos " 3,0	Hasta 3,0
<u>Litología:</u>	Rocas Igneas Acidas hasta 3,0 Rocas Igneas Mesosilíceas " 3,0 Rocas Igneas Básicas " 1,0	Hasta 3,0
<u>Rasgos Estructurales:</u>	Grado de fallamiento, diaclasamiento, discordancias, metamorfismo.	Hasta 1,0
<u>Asociaciones Minerales y Agentes Reductores.</u>	Relaciones paragenéticas del U con otros metales. Presencia de piritas; SH ₂ , etc.	Hasta 1,0
<u>Grado de Meteorización:</u>	Alteraciones meteóricas, que pueden haber liberado U lábil.	Hasta 2,0
MAXIMO GRADO DE FAVORABILIDAD		10,00

Las cifras obtenidas de la valoración de cada unidad geológica / fueron integradas y promediadas a nivel de cada "unidad de prospección" // (Ver fig. 22), hasta obtener un valor índice de favorabilidad geológico -/ uranífera para cada una de ellas.

Esta valoración posibilita en definitiva adjudicar un ordenamiento de interés prioritario para la prospección de las unidades delimitadas / en cada país.

Esta etapa inicial de gabinete que posibilita un primer análisis estimativo de la favorabilidad uranífera de un país, se debe complementar/ con tareas de reconocimiento en el campo, de los parámetros de la Geología del Uranio I, antes de planificar el secuento Programa de prospección.

Esas tareas permitirán depurar la información original e introducir algunos resultados objetivos de ensayos geoquímicos y radimétricos / sobre itinerarios geológicos regionales en las "unidades de prospección".

Para obtener esta última información se aconseja realizar sobre dichos itinerarios, registros radimétricos autoportados y muestreos geoquímicos saltuarios de agua, aluvión o roca, en los puntos de observaciones / de los parámetros de la Geología del Uranio.

De esta forma se comienza a acumular una información práctica, / cuya incidencia evidentemente tiene importancia en la estimación del /// I.F.G.U. de las unidades de prospección, pues permite comenzar a delinear / el conocimiento de diferencias de "back ground", presencia de eventuales / áreas anómalas, etc. a nivel nacional.

En los casos en que esta nueva información acumule un importante número de datos será necesario cuantificar su participación en la estimación del I.F.G.U..

Una situación similar se produciría en los casos en que las unidades a evaluar su I.F.G.U. tuviesen ya anomalías, indicios o yacimientos, productos de descubrimientos anteriores. En estos casos se debe comenzar / por identificar el modelo metalogénico de esa yacencia, acorde a la clasificación expuesta anteriormente, analizar el interés potencial de los mismos y estimar la probabilidad de su repetición en la unidad de prospección que se analiza. Estas evaluaciones se deben integrar a nivel del país mediante un Registro Nacional de Anomalías cuya tipificación metalogénica, // posición geocronológica, metalotectónica, parámetros físicos, etc. permiten ir comenzando a identificar la distribución de las "áreas anómalas".

Las dos últimas situaciones expuestas, hacen notoria la necesidad de introducir los nuevos parámetros uraníferos de valoración del /// I.F.G.U.. A esos fines se propone modificar la incidencia de los factores / puramente "geológicos" jerarquizando la participación que compete a los // parámetros objetivos que aportan la radimetría, la geoquímica o la presencia de anomalías, etc..

Estos parámetros y el cálculo estadístico respectivo de sus múltiples registros o resultados analíticos, permitirán obtener valores de // "medianas" y "desvío tipo", que se volcarán a nuevos casilleros de las planillas de cálculos de I.F.G.U. y se contabilizarán para estimar el "índice" final de cada unidad geológica..

En una primera aproximación se ha previsto incorporar las siguientes modificaciones al cuadro original de cálculo del I.F.G.U. (Ver // fig. 23).

Ambientes Sedimentarios:

a.- Se mantienen los parámetros de "valoración" geológica de la Planilla // original según detalle:

- Ambiente Depositación
- Litología
- Estructuras Sedimentarias
- Agentes Reductores
- Rasgos Estructurales Regionales

pero se le adjudica a cada parámetro un valor máximo de valoración de 1,0 con lo cual el mayor grado de favorabilidad de la cuantificación geológica alcanzaría una cifra de 5,0.

b.- Se propone incorporar los siguientes nuevos parámetros de "valoración uranífera".

- Radimetría: Se calcularán estadísticamente la "mediana y el desvío/ tipo" de los registros radimétricos puntuales o continuos (autotransportada) de los itinerarios realizados con la "geología del uranio".
- Geoquímica: Se calculará la "mediana y el desvío tipo" de los distintos resultados de los muestreos geoquímicos de aproximación regional, que se realicen durante los itinerarios de los estudios de Geología del Uranio.
- Antecedentes de Anomalías: Se considerarán en este ítem las eventuales anomalías de uranio cuyas presencias se conocen en las unidades en estudio.

El análisis de los valores de las distintas medianas, desvíos // tipos, y presencia de anomalías, permitirá evaluar el conjunto de este casillero general de "valoración uranífera", pudiendo adjudicar al mismo hasta un valor máximo de 5,0.

De este modo tendríamos que los casilleros de valoración "geológico" y "uranífera" podrían respectivamente alcanzar sendos valores parciales máximos de 5,0 y su consideración conjunta llegar eventualmente al Máximo Grado de favorabilidad de 10,00.

Ambientes Igneos:

a.- Se mantienen los parámetros de "valoración geológica" de la planilla// original según detalle:

- Ambiente
- Litología
- Estructuras Tectónicas

la cuantificación final de este ítem se estima que puede llegar a una sumatoria máxima de 5,0.

b.- Se aconseja incorporar los mismos parámetros de "valoración uranífera"; y los correspondientes considerandos de su evaluación, ya expuestos, //

para los Ambientes sedimentarios.

Con la aplicación de estos nuevos parámetros de valoración del// I.F.G.U., se logrará una mejor evaluación de las Unidades de Prospección y en especial, un ordenamiento mas ajustado en la clasificación de sus prioridades de Prospección.

Completada la estimación de los I.F.G.U. a nivel de las "unidades de prospección" del país, se estará en condiciones de establecer una / clasificación de las mismas a fin de integrar un cuadro de ordenamiento de prioridades para el Plan Nacional de Prospección.

El establecimiento de los niveles de corte del I.F.G.U. a fin // de fijar la clasificación y ordenamiento antes descrito, pueden responder a lineamientos técnicos, económicos y políticos de orden nacional.

De ahí que muchas veces podamos encontrarnos con que la clasificación de la. prioridad en un país corresponda a un I.F.G.U. superior a un valor de 8 y en otros casos el corte para esa la. categoría se inicie a // partir de un valor de 6.

El interés de desarrollo del Plan Nuclear del país puede explicar estas aparentes distorsiones.

V.4.- Consideración final

Todos los considerandos expuestos en esta Conferencia ratifican que la Geología del Uranio debe participar en forma preminente en todo programa de prospección - exploración de ese elemento.

Esta conclusión es tanto mas válida cuando vemos que no existen nuevos métodos revolucionarios en las metodologías de prospección, y que / resulta que cada vez mas necesario introducir en todo programa de prospección - exploración un análisis más meticulouso de los parámetros geológicos básicos que rigen su yacencia y estudios geológicos más integrales y detallados de los resultados que se obtengan con esos programas.

En tal sentido son totalmente válidas y confirmativas de estos/ principios, los considerandos expuestos por el "Grupo de Trabajo I", que // trató la "Revisión de los métodos presentes y costos de exploración" en el Simposio Técnicas de Exploración de depósitos de uranio - Viena - 1976, al expresar:

"La exploración mineral es primariamente un ejercicio de la geología aplicada. Las consideraciones geológicas guían la preparación de un / programa, la selección e integración de las técnicas y la interpretación // de los resultados. La compilación de toda la información geológica de interés continúa siendo el punto de partida de todo esfuerzo de exploración, // sea para uranio u otro metal".

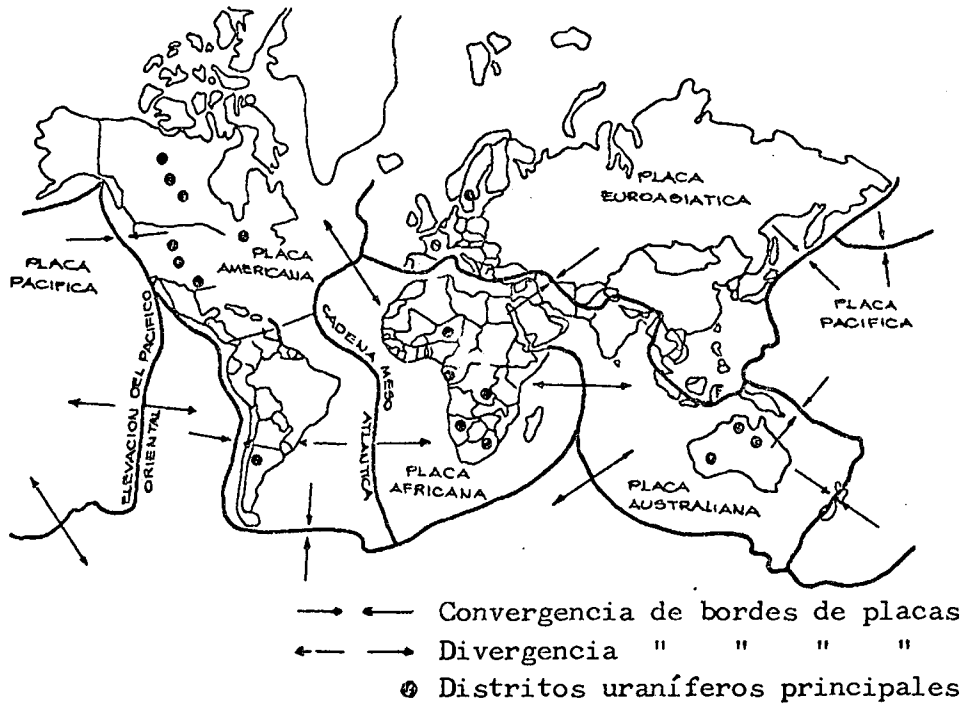


Fig. 4

FIG.- Principales placas tectónicas y distritos uraníferos.
 Tomado de RONA P.A., Sci. Am. (Julio 1973, p.89) (modificado por I. Kostov)

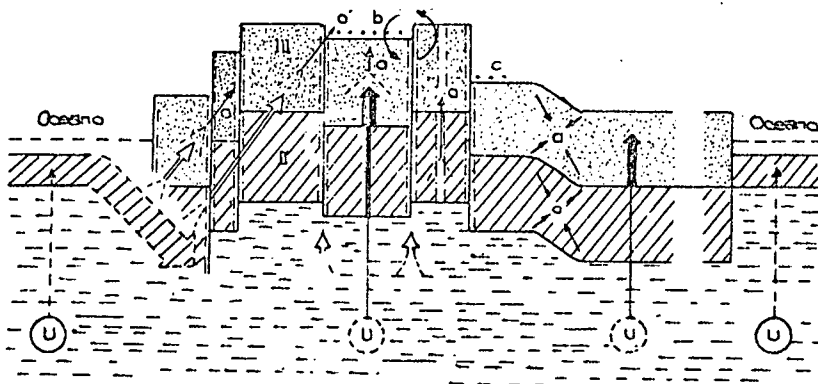


Fig. 5

FIG.- Representación esquemática de la migración del uranio en la corteza / (los Nos. romanos corresponden a los de fig. 2). Flechas en blanco = movilización de los magmas; a = sitios de movilización del U por soluciones hidrotermales; a' = concentración de U hidrotermal (vulcanógena) - sedimentaria; /// b = sitios de sedimentación de uranio; c = acumulaciones residuales de U //// (tomado de I. Kostov).

EL CICLO EXOGENO DEL URANIO

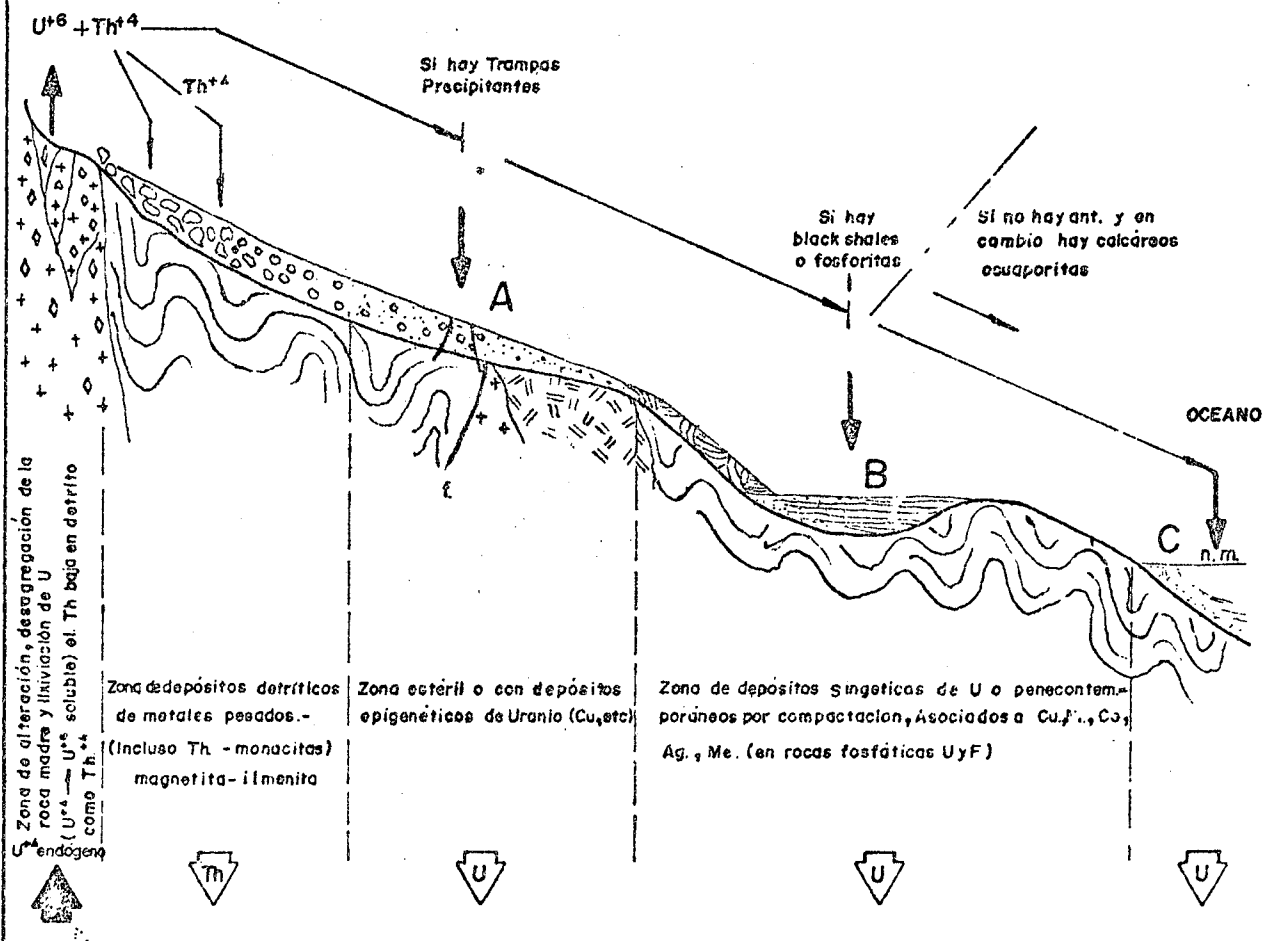
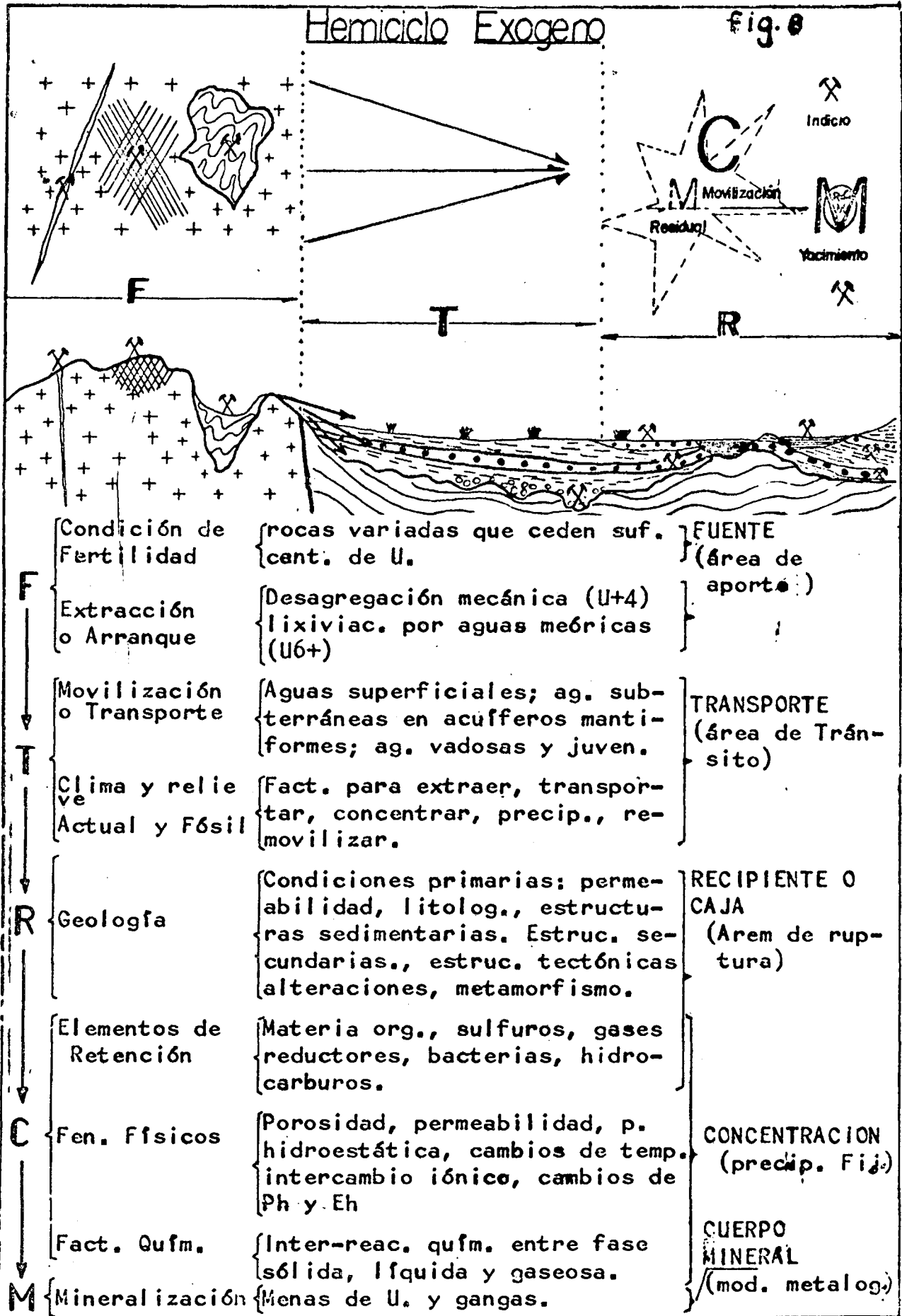


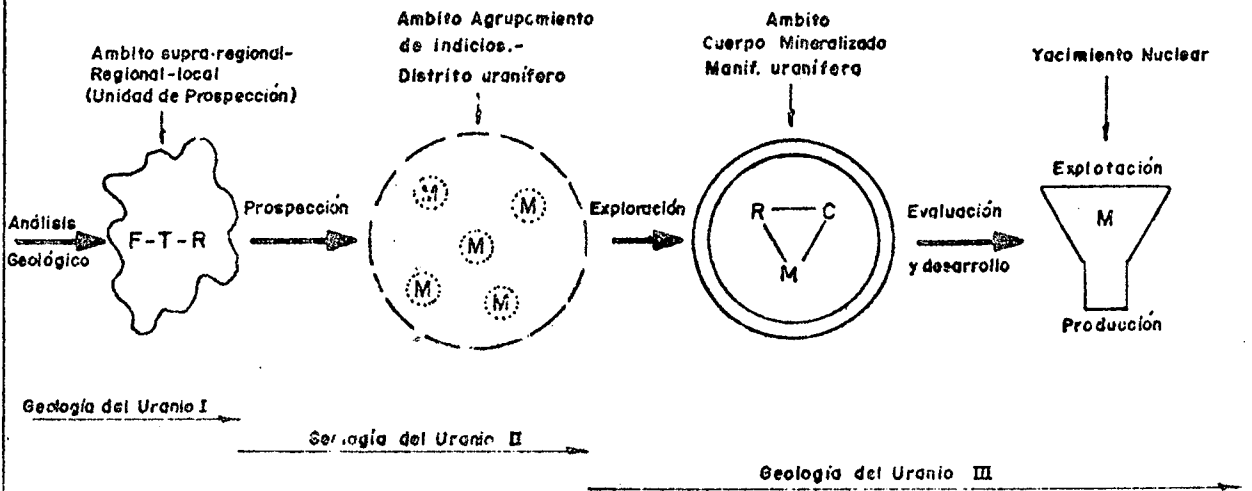
Fig. 6

Hemiciclo Exogeno

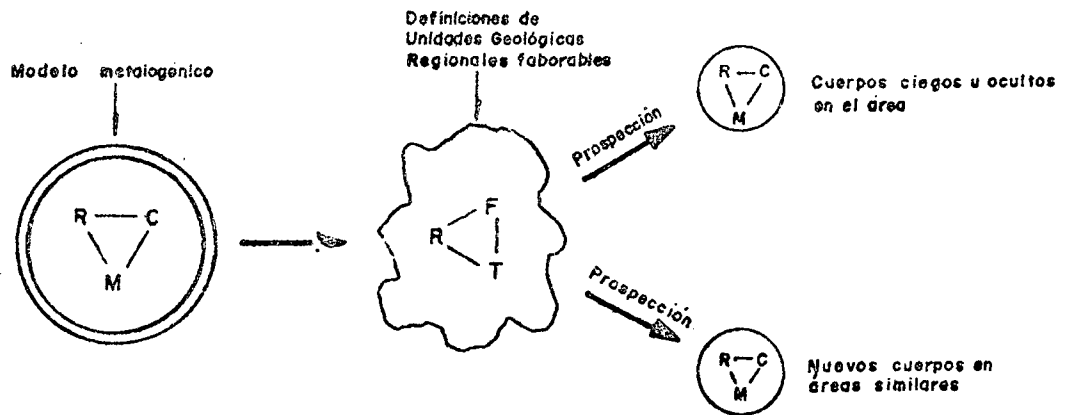
Fig. 8



PROCESOS DE INVESTIGACION



PROCESO METODOLOGICO DEDUCTIVO (áreas de investigación sin manifestaciones conocidas)



PROCESO METODOLOGICO INDUCTIVO (áreas con manifestaciones o modelos conocidos)

Fig. 9

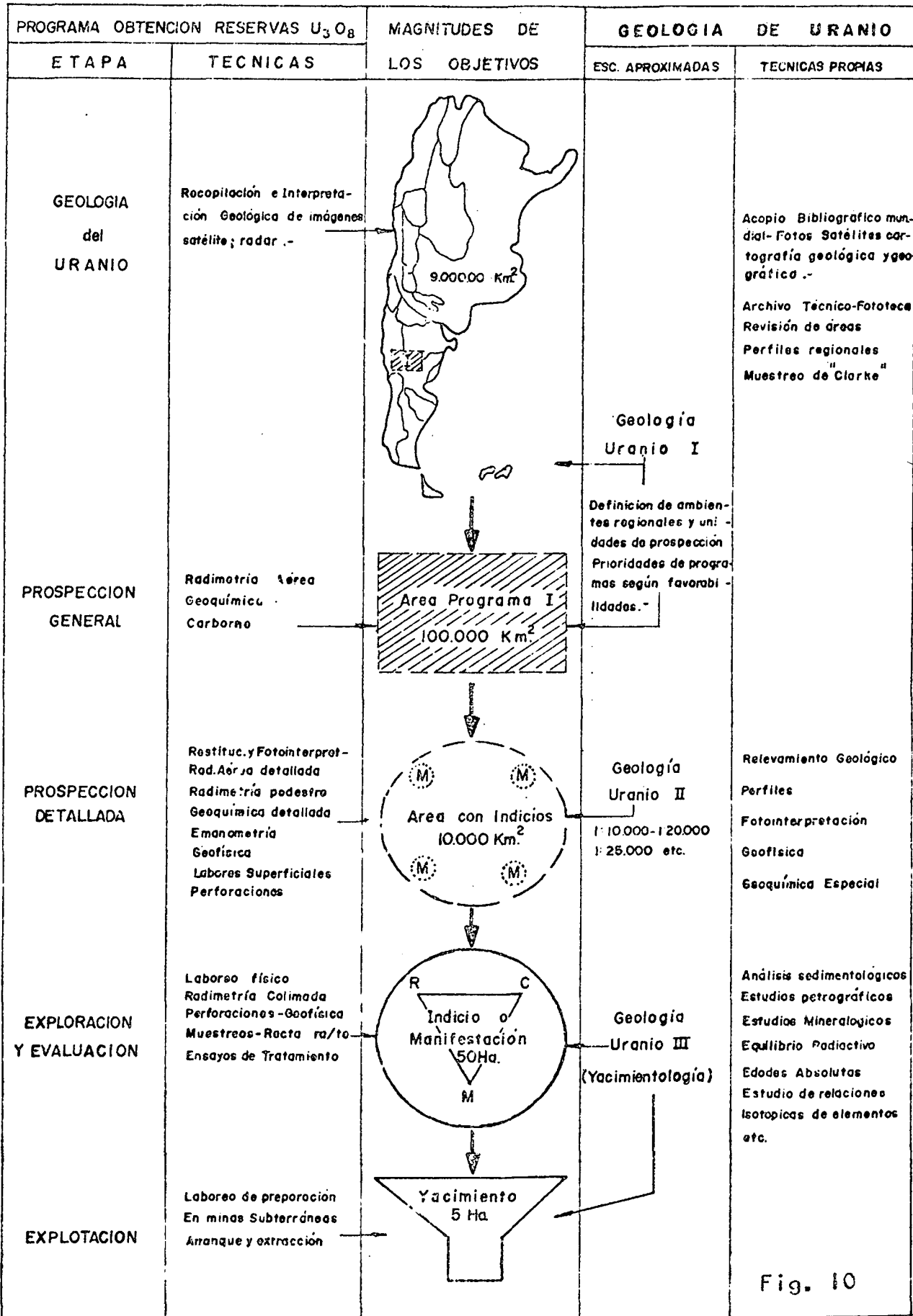
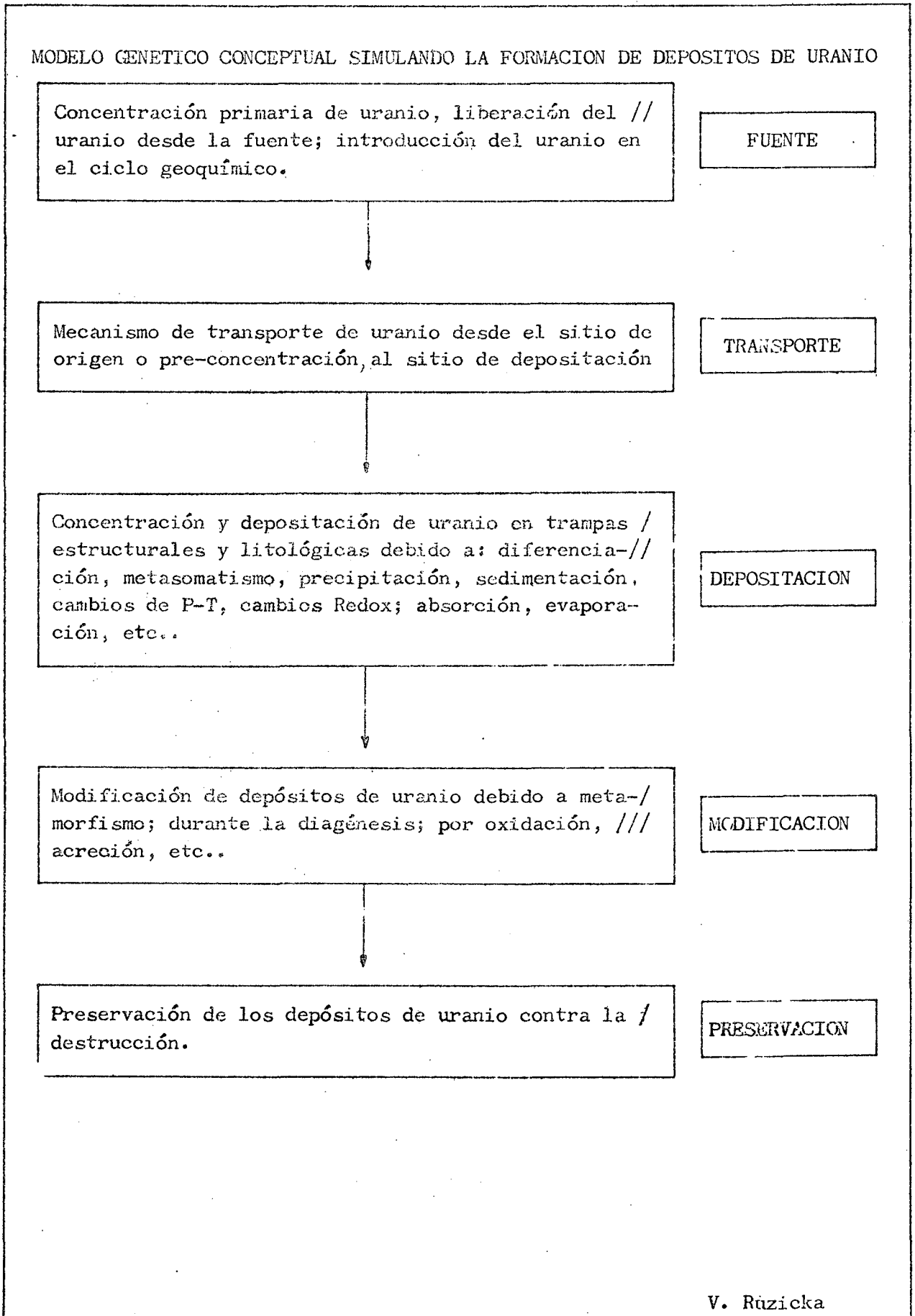


Fig. 10

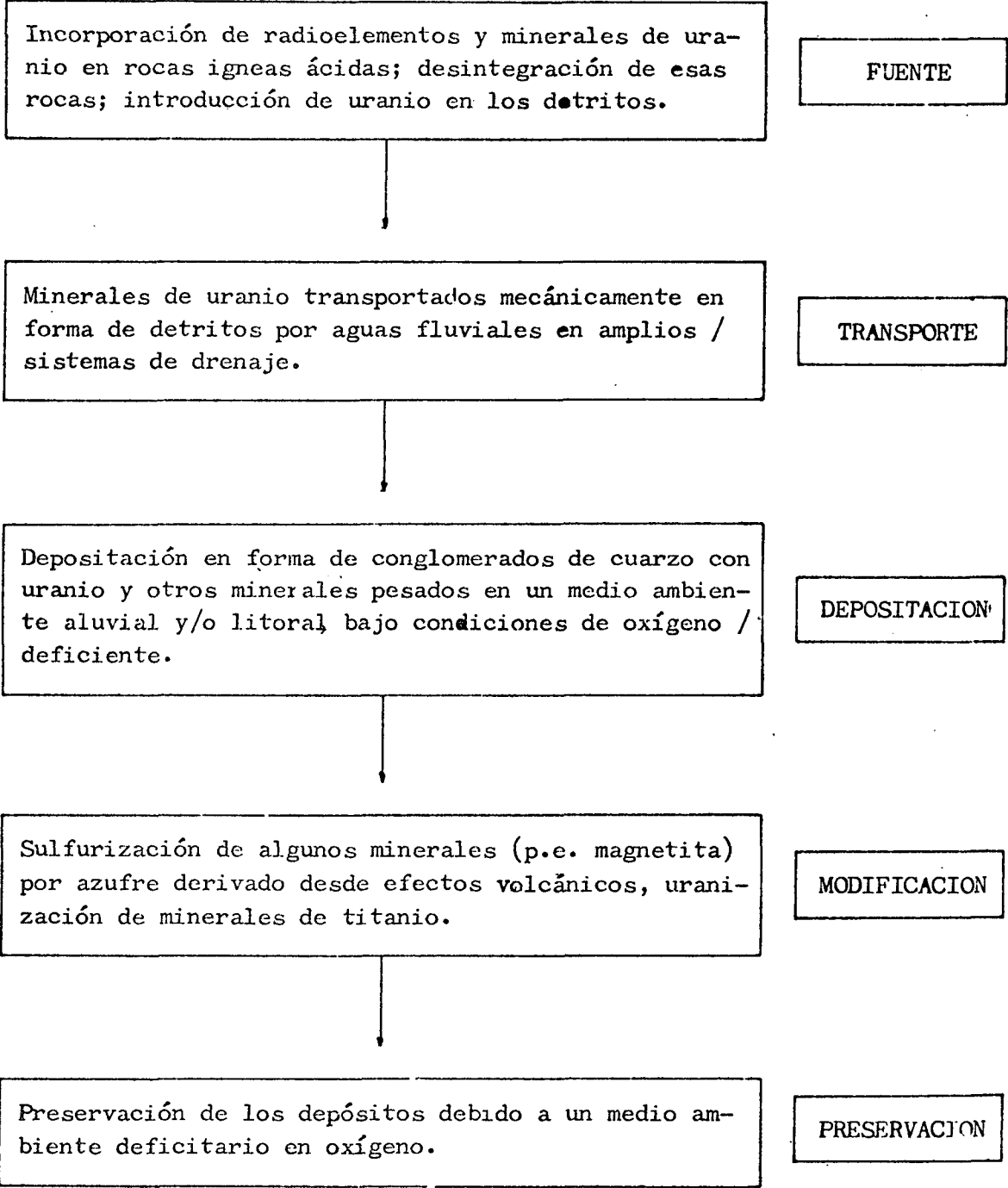
MODELO GENETICO CONCEPTUAL SIMULANDO LA FORMACION DE DEPOSITOS DE URANIO



V. Růžicka

FIG. 11

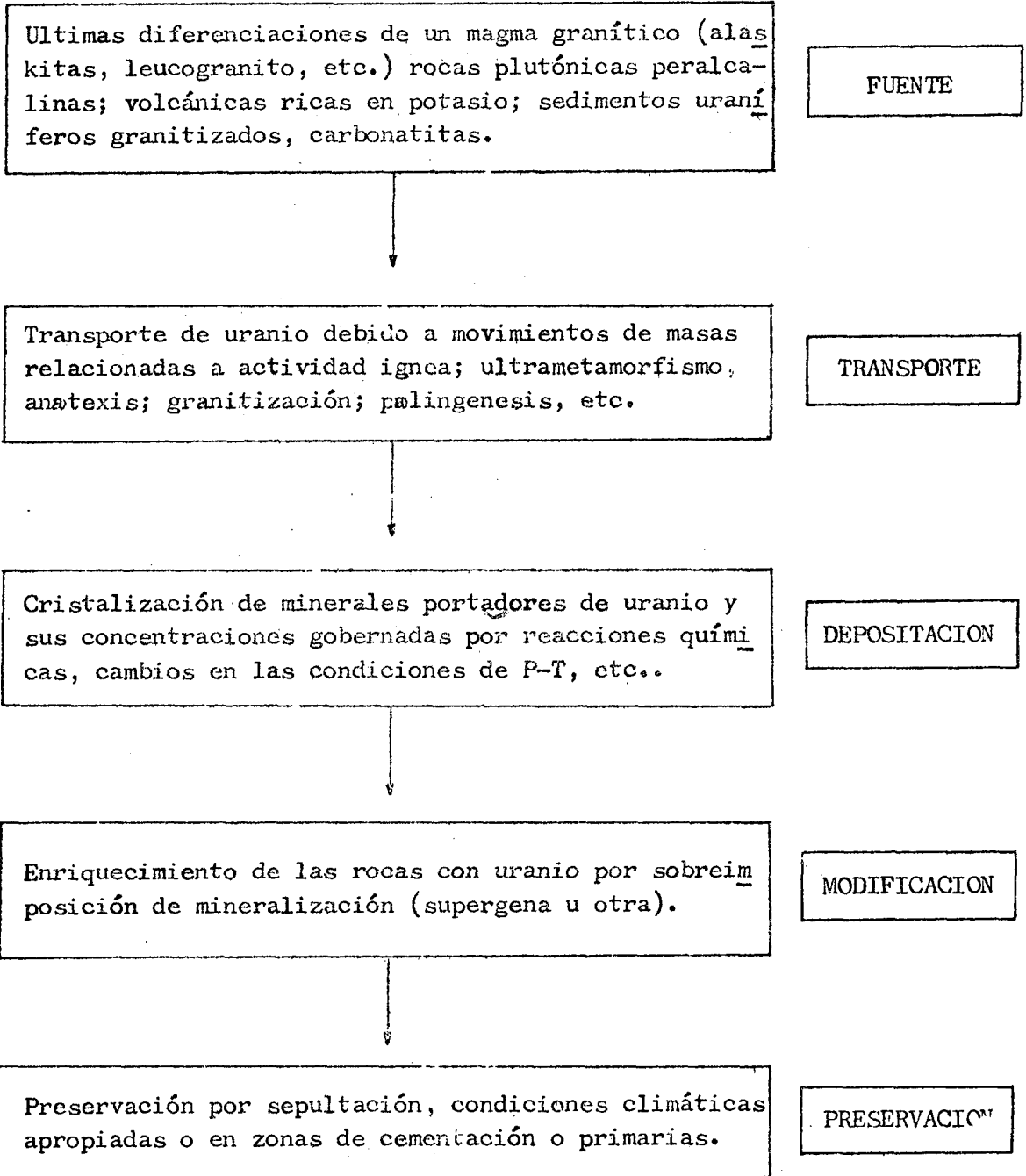
MODELO SIMULANDO LA FORMACION DE DEPOSITOS DE U EN CONGLOMERADOS HURONIANOS



V. Ruzicka

FIG. 12

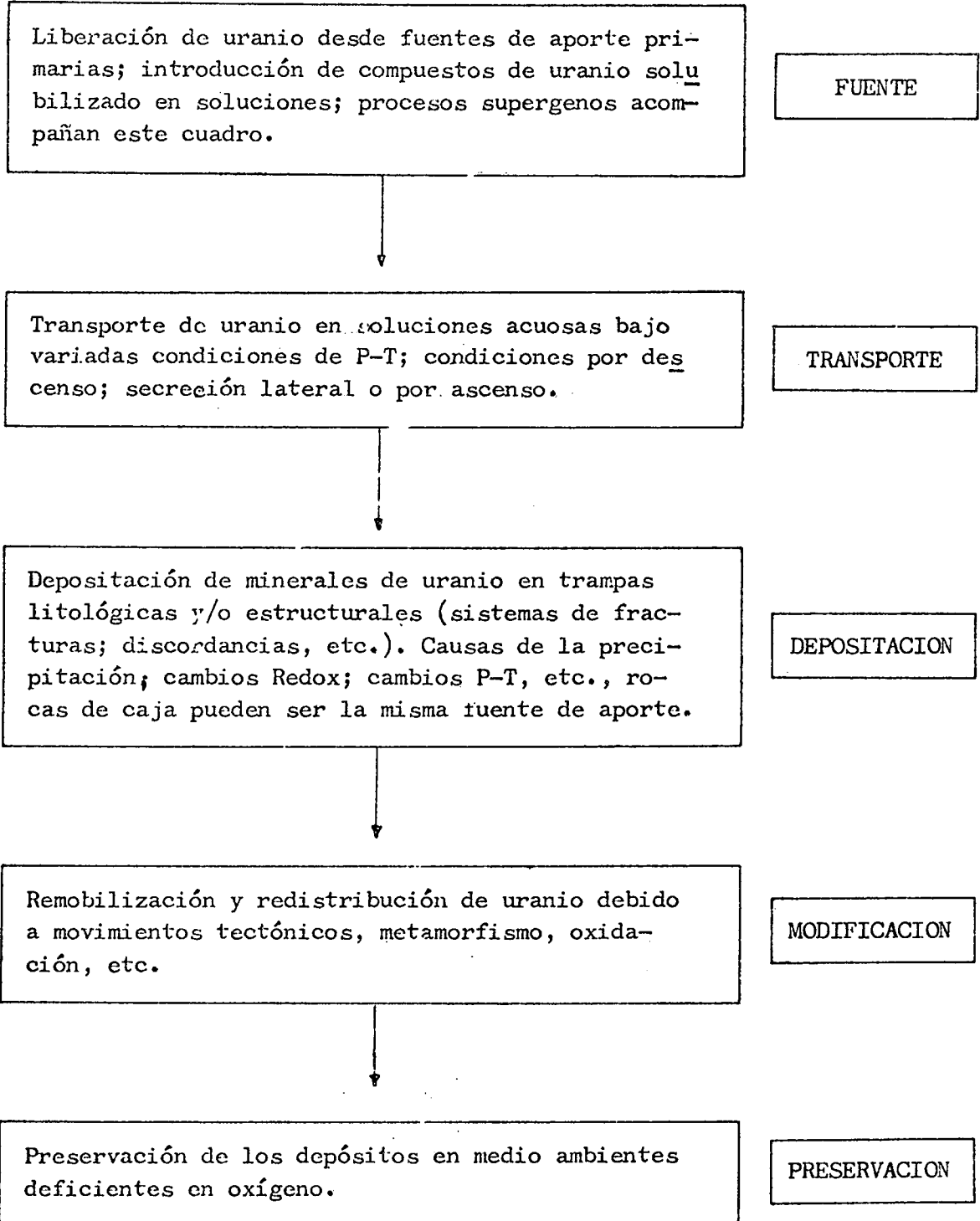
MODELO CONCEPTUAL SIMULANDO LA FORMACION DE DEPOSITOS DE U ORTOMAGMATICOS
Y ANATECTICOS EN ROCAS GRANITICAS Y PEGMATICAS



V. Ruzicka

FIG.13

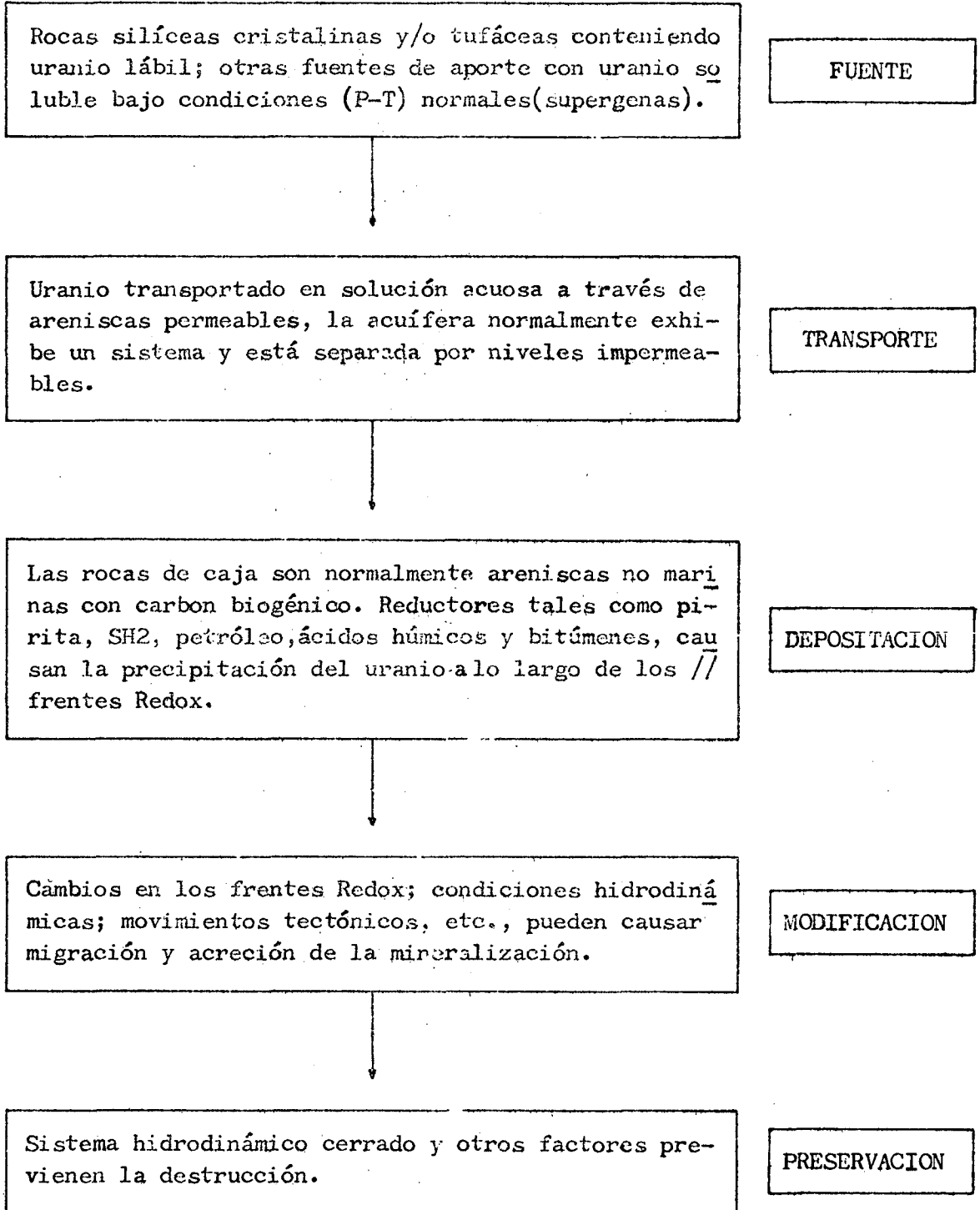
MODELO CONCEPTUAL SIMULANDO LA FORMACION DE DEPOSITOS DE URANIO FILONIANOS



V. Ruzicka

FIG.14

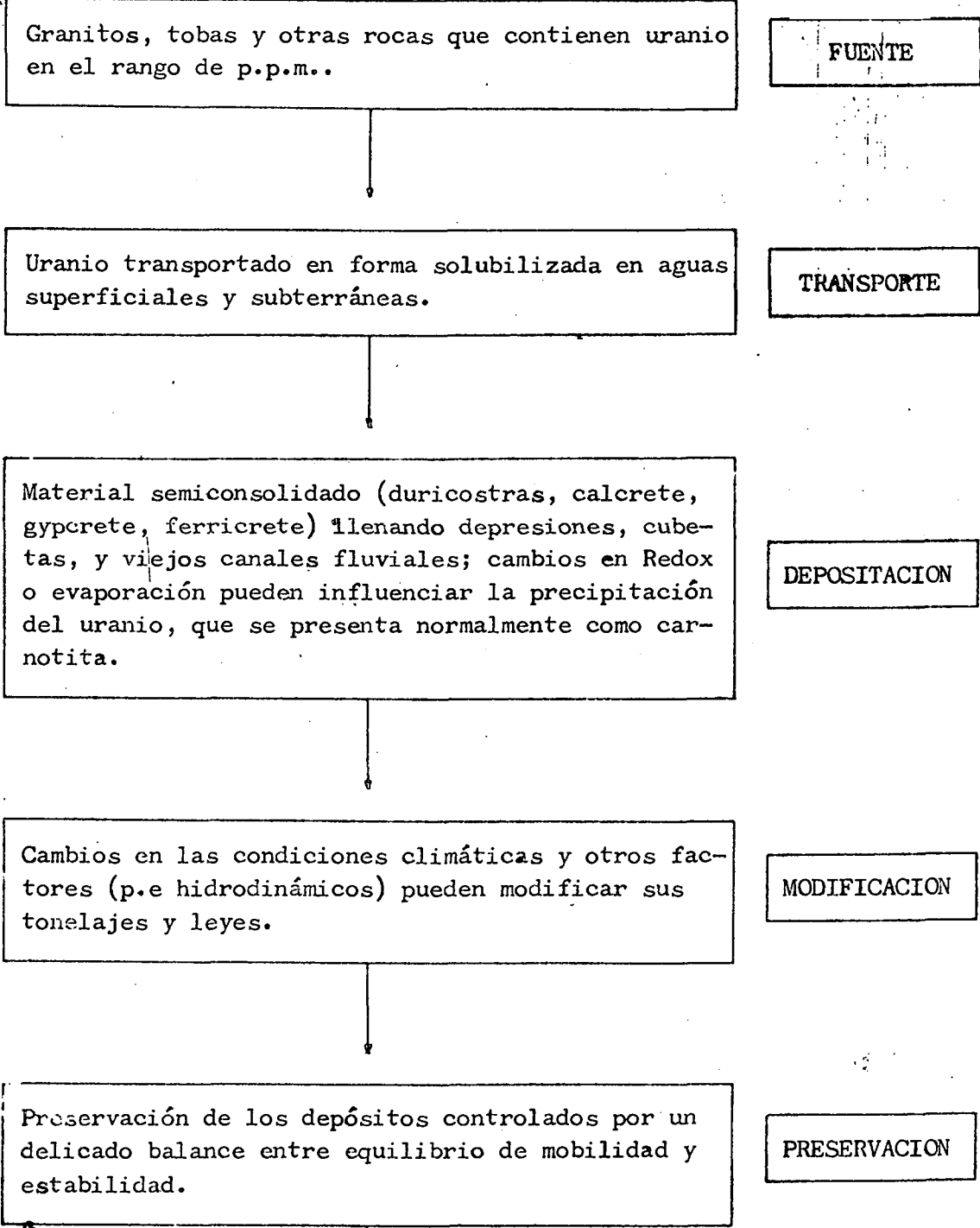
MODELO CONCEPTUAL SIMULANDO LA FORMACION DE DEPOSITOS DE U EN ARENISCAS



V. Ruzicka

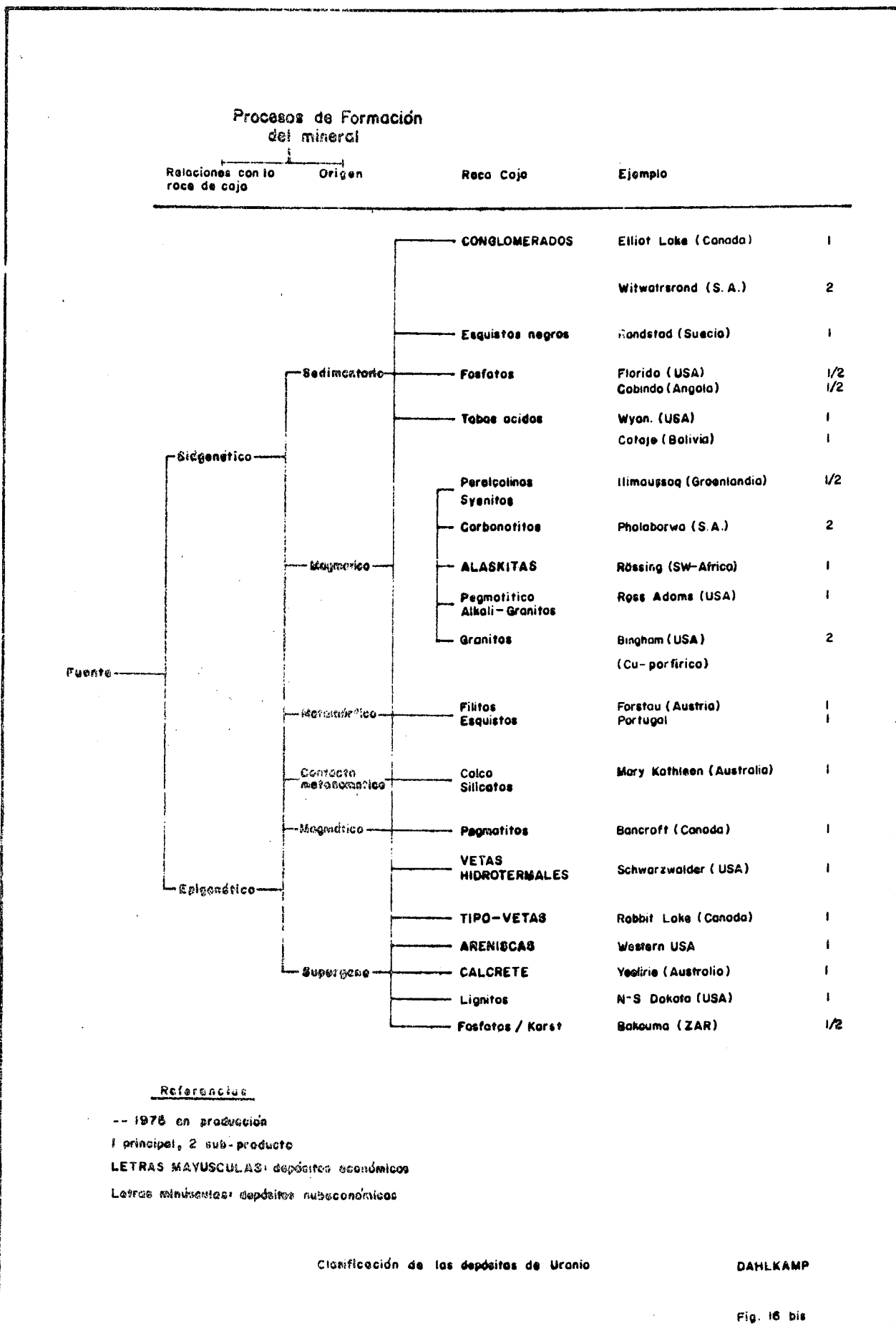
FIG.15

MODELO CONCEPTUAL SIMULANDO LA FORMACION DE DEPOSITOS DE URANIO SUPERGENOS



V. Ruzicka

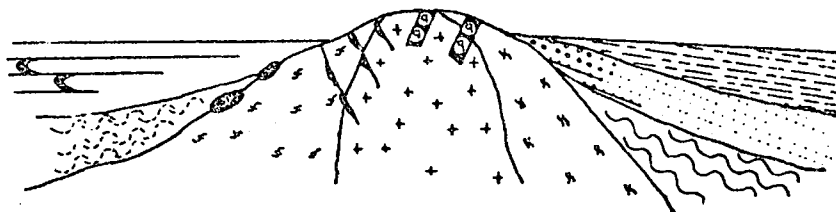
FIG.16



DARNLEY et al.

DEPOSICION AREA A
Conglomerados

DEPOSICION AREA B
Próximo a Discordancias Areniscas.



Contenido de Uranio
Alta concentración
Baja concentración

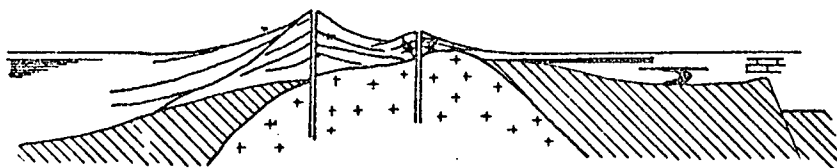
AREA APOORTE

Enriquecimiento regional de Uranio
Granitos, pegmatitas, vetas, metasedimentos.

Diagrama para ilustrar esquemáticamente la relación entre un área de aporte, áreas de depositación asociadas a la primera. El área de aporte consiste de granitos uraníferos, pegmatitas, vetas y metasedimentos. Las áreas de depositación muestran concentraciones de U en conglomerados, areniscas y en la vecindad de discordancias.

DEPOSICION AREA C
Calcáreas fosfáticas
Arenisca

DEPOSICION AREA D
Tobas
Esquistos negros



Contenido
Alta concentración
Baja concentración

AREA APOORTE

Coladas, tobas, brechas.

Esta área de aporte consiste de coladas de lava, tobas y brechas silíceas y uraníferas. En las áreas de depositación el U. se concentra en areniscas, calcáreos fosfáticos, carbón y esquistos negros.

Fig. 17



DAHLKAMP FIG. 18

Tipo de depósitos de Uranio	Recursos en U >25 000 25 000 - 10 000 <10 000	Tipo de depósitos de Uranio	Recursos en t. de U. >25 000 25 000 - 10 000 <10 000
Tipo Conglomerado	●	Tipo Intramagmático	◆
Tipo Arenisca	■	Tipo Calcáreo	◐
Tipo Vetiforme	▼	Otros Tipos	≡
Vetas (hidrotermal)	▲	Important Uranium Mine	X

Nº.	Nombre del depósito	PAIS	No	Name of uranium deposit	Country	No	Name of uranium deposit	Country
TIPO CONGLOMERADO								
1	Eliot Lake District	CANADA	19	Rim Jungle	AUS.	32	Reeving	South West Africa
2	Witwatersand	South Africa	20	Alligator River District Jabuluka, Kromdraai, Pangro, Nylarlek	AUS.	33	Phalaborwa	South Africa
TIPO ARENISCA								
3	Wyoming District	USA	21	Massif Central	FRANCIA	34	Yedineir	AUS
4	New Mexico District	USA	22	Ventise	FRANCIA	OTROS TIPOS		
5	remaining Colorado Plateau	USA	23	Iberian Meseta	ESPAÑA	35	Bakouma (U Phosphate)	ZAIRE
6	Gulf Coast District	USA	VETAS HIDROTÉRMICAS			36	Ransstad (Black Shales)	SWITD
7	Malargue, Sierra Pintada	ARG.	24	Port Radium	CAN.	37	Mary Kathleen	AUS
8	Salta	ARG.	25	Shinkolobwe	ZAIRE	(Uranium deposit)		
9	Arlit	NIGER	26	Schwarzwalder Mine, Ohio	USA			
10	Mounana, Oklo	GABON	27	Spokane District, Washington Sunshine Mine	USA			
11	Mingyó Tope, Tonó	JAPAN	28	Mudhole Mine	MEX.			
12	Ziroveki Vhr	YUG.	29	Sonora, Durango, Chihuahua Prov. Pecos de Caldas	BRASIL			
13	Lake Frome Basin	AUS.	30	Apurimbo	INDIA			
14	Westmoreland District	AUS.	31	Cerrodo Sumbalum District Hanger	ALGERIA			
TIPO VETIFORME								
15	Beaverbridge District	CAN.						
16	Rabbit Lake	CAN.						
17	Cluff Lake	CAN.						
18	Key Lake	CAN.						

Fig. 4 Distribución Metatectónica-geocronológica de los depósitos de Uranio

FIG.19

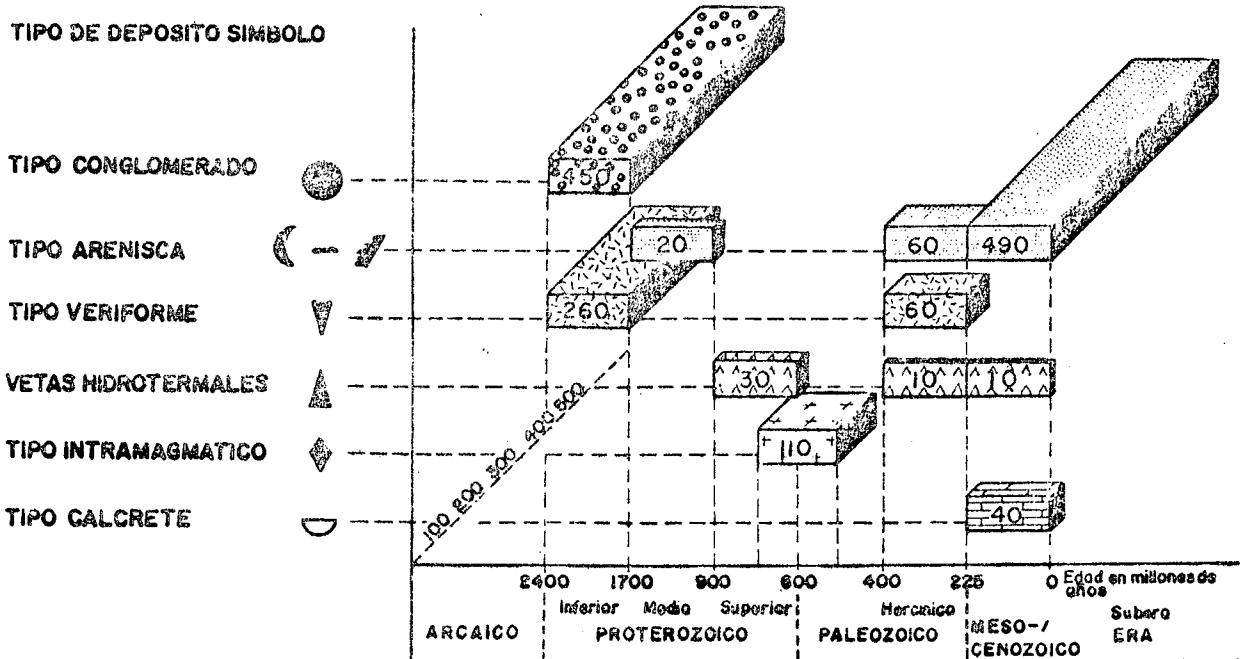
DALHKAMP

ERA	OROGENIA	EDAD ABSOLUTA EN MILLONES DE AÑOS	MODELOS DE DEPOSITOS DE URANIO SEGUN UN ORDENAMIENTO Y SU SIGNIFICADO ECONOMICO				
			1	2	3	Ultima	
GENOZOICO	FANEROZOICO	ALPINE	0-70				
MESOZOICO		LARAMIDE	70-225				
PALEOZOICO		CIMMERIAN					
PROTEROZOICO SUPERIOR	PRECAMBICO	HERCYNIAN	225-600				
PROTEROZOICO MEDIO		CALEDONIAN	600-900				
PROTEROZOICO INFERIOR		ASSYNTIAN					
ARQUEOZOICO		GRENVILLE	900-1750				
		HUDSONIAN	1750-2400				
		KENORIAN LAURENTIAN	2400				

REFERENCIAS TIPO DE DEPOSITOS DE URANIO			
	Tipo Conglomerado		Tipo Veriforme
	Arenisca - Tipo penconcordante		Vetas hidrotermales
	Arenisca - Tipo roll		Tipo Intramagmático
	Arenisca - Tipo		Tipo calcrete
	Esquistos negros		Fosforitas

Distribución geocronológica de modelos de depósitos de Uranio

FIG. 20



Distribución cronológica de los recursos mundiales de Uranio

FIG. 21

CUADRO DE FAVORABILIDAD - GEOLOGICO URANIFERA

Unidad de Prospección..... Km.
Sector..... Km.

1º AMBIENTE SEDIMENTARIO:		"A" PARAMETROS GEOLOGICOS		"B" PARAMETROS URANIFEROS		Σ	Km ² D	C x D E	E x D E	Espesor m.	Observaciones
		Litología Estructuras Sedimentarias	Agentes Estructuras Reductores	Geología C. P. S. Medios	Geología C. P. S. Medios						
Unidad Litoestratigráfica	Ambiente										
SUB TOTALES Y GRADO DE FAVORABILIDAD DEL AMBIENTE SEDIMENTARIO											

2º AMBIENTE IGNEO:

"A" PARAMETROS GEOLOGICOS		"B" PARAMETROS URANIFEROS		Σ	Km ² D I	C x D E'	E x D' E'	Espesor m.	Observaciones
		Litología	Estructuras Ectónicas						
Unidad Litoestratigráfica	Ambiente								
SUB TOTALES Y GRADO DE FAVORABILIDAD DEL AMBIENTE IGNEO									

TOTALES GENERALES Y GRADO DE FAVORABILIDAD FINAL DE LA UNIDAD DE PROSPECCION	$D + D'$	$E + E'$	$(E + E') / (D + D')$
---	----------	----------	-----------------------

3º RASGOS GENERALES PARA ASEGURAR METODOS DE PROSPECCION

RELIEVE	ALTURAS		ACCESOS	CLIMA	HIDROLOGIA	COBERTURA	OBSERVACIONES	Tipo Prospección Aconsejada
	Máxima	Mínima						

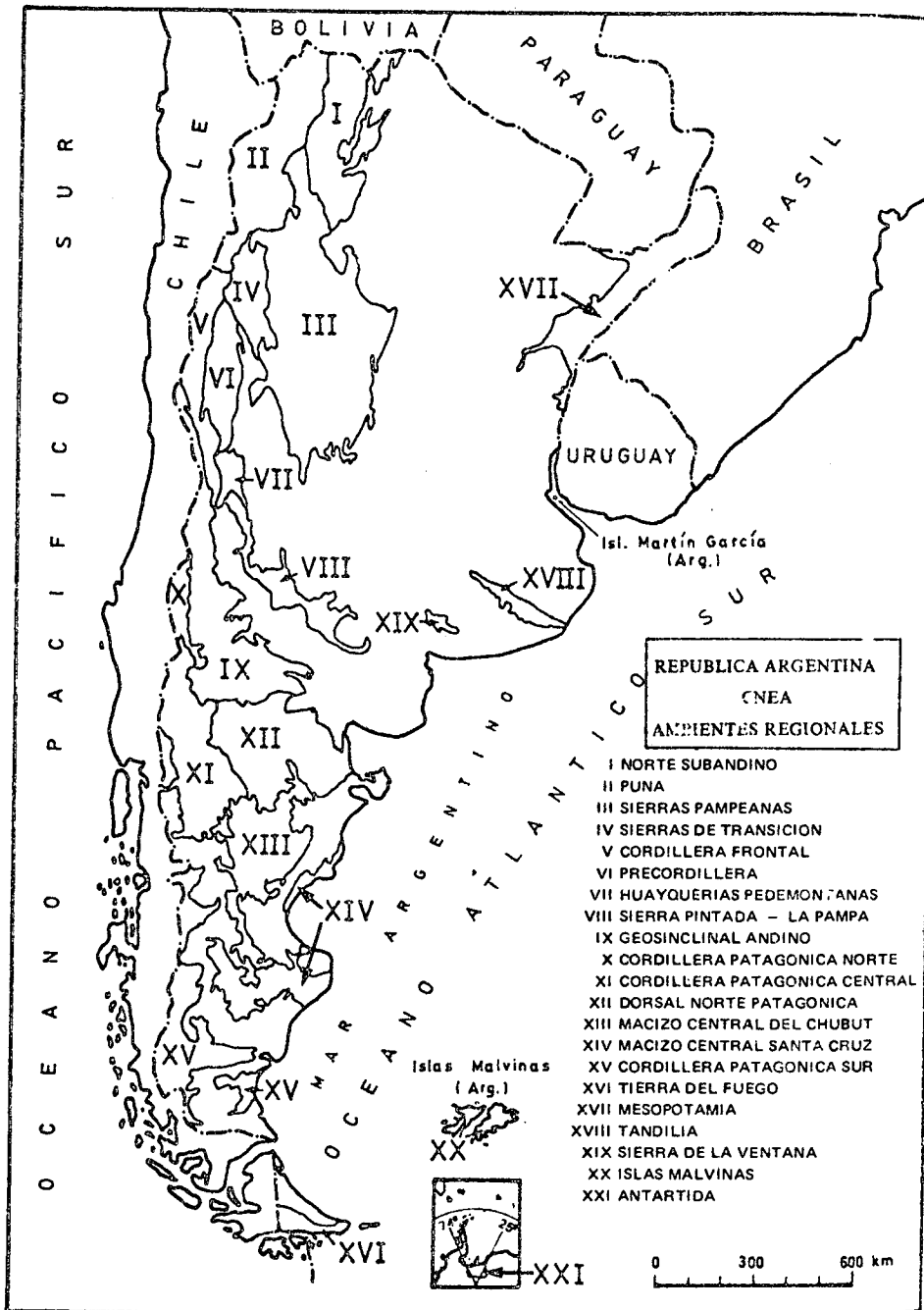


FIG. 24

BIBLIOGRAFIA

- 1- ADLER, H.H: "Geochemical Factors contributing to uranium concentration in alkalic igneous rocks". O.I.E.A. (Proc. of a Tech. Com. Vienna 1.975) Paper 25/4 (1.977)
- 2- BACKSTROM, Von J.: "Other uranium deposits". O.I.E.A. (Proc. of a Panel Athens, 1.974) Paper 183/27 (1.974).
- 3- BATTEY, G.; HAWKINS, B: "Uranium Exploration in Australia" I.A.E.A. C.N.- 36/503 (1.977).
- 4- BELLUCO, A.; STIPANICIC P: "Areas geológicas favorables y su selección". Curso regional de capacitación en la prospección de uranio O.I.E.A. - C.N.E.A. Conferencia 11-3-Buenos Aires (1.969).
- 5- BELLUCO, A.: "Informe Asist. Técnica O.I.E.A. al gobierno de Perú. Proy. 3B/06 - 1.976 - Inédito.
- 6- BELLUCO, A.; RODRIGUEZ, E; et/al.- "Bases para la prospección uranífera en la República Argentina.- O.I.E.A. (Proc. of a Tech Com. Viena 1.975). Paper 25/11 (1.977).
- 7- BOSHE, H.; ROSE, Hansen, J.; SORENSEN, H.; STEENFELT, A.; LOVBORG, L.; KUNZENCLORF, H. "On the behaviour of uranium during crystallization of magmas with special emphasis on alkaline magmas (I.A.E.A., - S.M. - 183/26) Proceeding of a Symposium Athens 6-10 May, 1.974 P. 49-60, Viena 1.974.
- 8- BOWIE, S. "World Uranium Deposits I.A.E.A." (Proc. of a Panel Vienna - 1.970) Paper P.L. 391-19. (1.970)
- 9- BOWIE, S.; "Some geological concepts in the search for uranium provinces and major uranium deposits. I.A.E.A. (Proc. of a Panel - Vienna 1.970) Paper Pl - 391/3 (1.970)
- 10- BOWIE, S.; CAMERON, J.: "Existing and new techniques in uranium exploration O.I.E.A. (Proc. of a Symp. Viena - 1.976). Paper S.M. 208/60
- 11- BRINCK, J.: "The geochemical distribution of uranium as a primary criterion for the formation of ore deposits". O.I.E.A. (Proc. of a Sym. Athens)

- 12- DAHLKAMP, F.: "Geochronological - metallogenetic correlation on uranium mineralization"- O.I.E.A. (Proc. of a tech. Com. Vienna 1.975) Paper T.C. 25/8 (1.977).
- 13- DARNLEY, A.G.: "The Canadian Uranium Reconnaissance Program, American Nuclear Society, Washington D.C. (1.976)
- 14- DARNLEY, A.G.; CAMERON, E.M.; RICHARDSON, K.A.: "The federal - Provincial Uranium Reconnaissance Program, Geological Survey Canada". Paper 75/26 (1.975).
- 15- DARNLEY, A.; CHARBONNEAU, B.; RICHARDSON, K.: "Distribution of uranium in rocks as a guide of uraniumiferous regions". I.A.E.A. (Proc. Simp. Vienna (1.977)
- 16- ERDHART, H.: "Sur le cycle de la silice hydratée dans la Biosphère". R.C. Academie, S.C. T.259. Paper 3731 - 34, Paris.
- 17- GABELMAN, J.W.: "Orogenic and taphrogenic uranium concentration". O.I.E.A. (Proc. of a tech. Com. Vienna 1.975) Paper 25/6 (1.977).
- 18- GIRAUD, M.A.; FERRARI, A.: "La demande en énergie 1.975 - 2000". Notes d'information. C.E.A. N°9/1.977. Francia.
- 19- GRUTT, E.W. jr; "Prospecting criteria for Sandstone-type uranium deposits". Uranium Prospecting Handbook (Bowie, S.H.U. et/al Editors) Inst. Min. Metallurgy (1.972).
- 20- HEINRICH, E. W.: "Mineralogía y Petrografía de las materias primas nucleares". Ed. Omega- 1.966 (Barcelona) España.
- 21- JACQUARD, P.: "Le cycle du combustible nucléaire". Notes d'information C.E.A. N°3/1.978. Francia.
- 22- KOSTOV, I.: "Crystallo-chemical differentiation and localization of uranium ore deposits in the earth crust". (I.A.E.A.- T.C. 25/2). Proceeding of a technical Committee Meeting, Vienna, 17-21 November 1.975 p. 15-34. Vienna 1.977.

- 23- KNIPPING, H.D.: "The concepts of supergene versus hypogene emplacement of uranium at Rabbit Lake". Saskatchewan, Canada (I.A.E.A.-S.M. - 186/38) Vienna, 1.974 p. 531-550.
- 24- NININGER, R.: "The world uranium supply challenge-an appraisal". (Proc. of a Symp. Athens- 1.974) Paper S.M. 183/43 (1.974).
- 25- NININGER, R. "Uranium reserves, future, demand and the extent of exploration problem". O.I.E.A. (Proc. of a Panel Viena 1.970) Paper 391/17.
- 26- NININGER, R.: "Recognition of uranium Districts". O.I.E.A. (Proc. of a tech. Com. Viena 1.975) Paper 25/21 (1.977).
- 27- PREMOLI, C. "Formation of and Prospecting for uraniumiferous calcretes". Australian Mining (1.976).
- 28- ROBERTSON, D.: "Uranium: its geological occurrence as a guide to exploration". O.I.E.A. (Proc. of a panel Viena, 1.970) Paper P.L. 391/3. Viena (1970)
- 29- RODRIGUEZ, E.; et/al: "Rocas volcánicas y su potencial como objetivos para prospectar uranio". (Proc. of. a Symp. Viena 1.976) O.I.E.A. Paper S.M. 208/29 (1.976).
- 30- RUZICKA, V. (1.976): "Conceptual models for uranium deposits and areas favourable for uranium mineralization in Canadá". Geol. Surv. Can., Paper 77-1A pp. 17-25.
- 31- SØRENSEN, H.: "Features of distribution of uranium in igneous rocks. Uranium deposits associated with igneous rocks". (I.A.E.A.- T.C. 25/10) Proc. of a Technical Committee Meeting, Viena 17-21 November 1.975. Paper 47-54. Viena 1.977.
- 32- TEILLAC, M.: "Science et conscience: Le cas de l'énergie nucléaire". Notes d'information. C.E.A. N°11/ 1.977, Francia.
- 33- ZIEGLER, V.: "Essai de classification métallotectonique desgisements d'uranium". O.I.E.A. (Proc. of a Symp. Athens 1.974) Paper S.M. 183/16. 1.974.

I N D I C E

- I.- INTRODUCCION
- II.- DEFINICION, FINALIDADES Y ALCANCES
- III.- CICLO GEOQUIMICO DEL URANIO
 - III.1.- El uranio en el planeta
 - III.2.- Hemiciclo endógeno
 - III.2.1.- Uranio en las rocas igneas
 - III.2.2.- Uranio en las rocas metamórficas
 - III.2.3.- Evolución geológica
 - III.3.- Hemiciclo exógeno
 - III.3.1.- Concepto de roca fuente (F) Fertilidad y labilidad.
 - III.3.2.- Procesos de movilización o transporte (T)
 - III.3.3.- Nociones de Biorhexistacia
 - III.3.4.- Roca recipiente o caja (R)
 - III.3.5.- Factores de concentración (C)
 - III.4.- Concepto de ciclo metalogénico
 - III.5.- Formación de menas uraníferas (M)
- IV.- SELECCION DE AREAS GEOLOGICAS FAVORABLES
 - IV.1.- Clasificación y distribución de los depósitos de U, en el / mundo.
 - IV.1.1.- Clasificación de los depósitos de Uranio
 - Modelo 1 - Depósitos en "Conglomerados Precámbricos"
 - Modelo 2 - Depósitos en "areniscas"
 - Modelo 3 - Depósitos en "vetas y filonianos"
 - Modelo 4 - Depósitos "intramagmáticos y anatéticos"
 - Modelo 5 - Depósitos en "calcrete"
 - IV.1.2.- Distribución geográfica de los depósitos de U en el mundo
 - IV.2.2.- Posición geocronológica y metalotectónica de los depósitos de U en el mundo

- V.- UTILIZACION DE LA GEOLOGIA DEL URANIO I EN LA PREPARACION Y DESARROLLO DE UN PLAN NACIONAL DE PROSPECCION.
- V.1.- Delimitación de "ambientes geológico - uraníferos regionales"
 - V.2.- Determinación de "unidades de prospección"
 - V.3.- Estimación del "Índice de Favorabilidad Geológico - Uranífero"
 - V.4.- Consideración Final
