



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA Y
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN LA PROSPECCIÓN DE URANIO

BUENOS AIRES, 8 de setiembre - 31 de octubre 1969

III. METODOS DE PROSPECCION URANIFERA

5.^a FUNDAMENTOS DE LA PROSPECCION GEOQUIMICA

Dr. LUIS R. DE LA FUENTE

FUNDAMENTOS DE LA PROSPECCION GEOQUIMICA

LUIS R. DE LA FUENTE

Comisión Nacional de Energía Atómica

PRIMERA PARTE: GENERALIDADES

I. INTRODUCCION

Es propósito fundamental de las exposiciones sobre esta disciplina, dar una visión panorámica, muy sintética, de los conocimientos sobre la geoquímica del uranio, con el fin de utilizar dichos principios de una manera práctica en nuestras tareas específicas de prospección geoquímica de uranio. ✓

Para un mejor ordenamiento del tema, hemos creído conveniente dividir el mismo en dos secciones, la segunda de las cuales estará a cargo del Dr. A.M.O.Santomero.

Prospectar significa explorar, es decir, reconocer, registrar o investigar, con un fin específico en la actividad profesional o técnica, una serie de datos obtenidos, en nuestro caso, a través del análisis químico de materiales naturales procedentes de la superficie de la corteza terrestre, que nos conduzcan a la localización de concentraciones anormales de minerales uraníferos que resulten económicamente explotables o industrialmente aprovechables.

La prospección geoquímica constituye por sí una técnica de exploración, pero en la práctica siempre debe integrarse con otras, constituyéndose en parte de un conjunto de técnicas cuyos resultados integrados y convenientemente interpretados, permitirán definir las posibilidades de regiones,

zonas o sectores hasta llegar a localizar aquellos cuerpos mineralizados.

Siempre será conveniente tener en cuenta el pensamiento de Breithaup, eminente mineralogista de Freiberg, Alemania, enunciado en 1842, hace 127 años, quien refiriéndose en aquel entonces a la prospección decía: "la razón principal de los investigadores es el deseo de ver el éxito de sus esfuerzos en el arte de la minería, basándose en la interpretación exacta de las relaciones paragenéticas de los minerales; el éxito de los prospectores no debe ser el fruto del azar, sino el resultado de la aplicación de reglas bien definidas de prospección".

Como es lógico, estas reglas han variado con el tiempo, en razón de los nuevos conocimientos adquiridos por las ciencias geológicas, químicas, físicas, etc. disciplinadas en especialidades que configuran en su totalidad los métodos de prospección hoy conocidos; la integración de estos métodos en cualquier programa de búsqueda minera ha sido forzada, sin duda alguna, por las necesidades propias de una etapa industrial devoradora que no solo amenaza con la extinción de las reservas conocidas de algunos metales imprescindibles, sino también por la necesidad de contar con reservas naturales suficientes, para sostener nuevos planes industriales o energéticos como es nuestro caso.

Esta necesidad nos obliga, también, a adoptar y desarrollar técnicas que nos faciliten explorar regiones en donde las coberturas de vegetales, suelos, eluviones o aluviones, no nos permiten reconocer directamente ni la composición o estructuras geológicas, ni su contenido mineral, e igualmente para aquellas zonas topográficamente abruptas, de acceso difícil.

La geoquímica aplicada a la prospección, es en realidad, de reciente data, incorporándose como técnica particular

en algunos programas de exploración en la década de 1920 al 30 y de allí en adelante, tiene su máxima expresión entre 1960 y nuestros días.

Es conveniente aclarar sin embargo que, como cualquier técnica o método de prospección, tiene sus limitaciones por sí y por las condiciones muy variables de los distintos medios ambientes en donde se debe operar. Sus resultados dependerán, mayormente, de la habilidad y de la capacidad de los técnicos que lo utilicen, tanto en su aplicación como en la interpretación de sus datos. Por lo tanto la tarea inicial del prospector que quiera incursionar por el campo de la geoquímica, deberá ser conocer, en la forma más exacta posible, los hábitos del elemento a prospectar, en otras palabras, el comportamiento de este elemento a través de su ciclo geoquímico. Los conocimientos previos sobre técnicas de trabajo y resultados de casos similares son un sistema de orientación al cual debemos ajustar al comienzo nuestra actividad general.

De esta manera, la estructuración de esta exposición comprenderá los pasos siguientes:

Primera parte: Generalidades

- I. Introducción.
- II. Generalidades sobre el ciclo geoquímico mayor o geológico.
 - 1) Ciclo geoquímico del uranio.
 - 2) Uranio en el ciclo de alteración.
 - 3) Uranio en solución.
- III. Acción y significación de la materia orgánica.
- IV. Uranio en rocas sedimentarias.
- V. Fenómenos de Dispersión.

Segunda Parte: Geoquímica aplicada a la Prospección.

I. Programación de Trabajos.

II. Prospección Geoquímica Estratégica.

Expresamente se ha querido dejar para el cierre de esta introducción, el concepto de geoquímica según Fersman, en su obra: "Métodos geoquímicos y mineralógicos de prospección minera":

"Por geoquímica entendemos la rama de la geología que estudia el destino y la historia de los átomos, no solamente en la corteza terrestre sino también, en parte, fuera de ella. El objetivo de la geoquímica es la determinación de los caracteres fundamentales de los tipos de átomos que llamamos elementos y que, asociados, en forma diversa, constituyen la naturaleza que nos rodea. La repartición cualitativa y cuantitativa de los diferentes elementos químicos en la corteza terrestre, en sus rocas y en sus distritos, las leyes de migración, diseminación o acumulación de un elemento con la formación, en sus lugares de concentración, de lo que nosotros llamamos yacimientos y sobre las cuales se asientan todas nuestras obras mineras; también comprende las leyes que gobiernan la asociación de los elementos entre sí en las diversas condiciones de la corteza, en sus diferentes capas y distritos, las leyes de participación de los elementos en la constitución de suelos, rocas, materia viviente y por último las leyes de la utilización de la materia por el hombre mismo; tales son los fines de la geoquímica como ciencia relacionada al comportamiento de los elementos (átomos) en la corteza terrestre".

II. GENERALIDADES SOBRE EL CICLO GEOQUIMICO MAYOR O GEOLOGICO.

De acuerdo con los distintos datos aportados por la geofísica y la geoquímica se considera al globo terrestre con

formado por un núcleo central y varias capas concéntricas de las cuales las tres más externas, Eclogita o Dunita, Sima y Sial constituyen la litósfera con un espesor aproximado de 2.500 Km. Esta, más las otras capas internas y el núcleo, habrían sido el resultado de una primera distribución de los elementos de acuerdo a sus propiedades atómicas, producidas durante el enfriamiento del planeta, en estrecha relación a sus afinidades por el oxígeno, azufre y silicio.

V.M.Goldschmidt clasificó geoquímicamente a los elementos según su distribución entre el hierro, los sulfuros, los silicatos, la atmósfera y los organismos en cinco grupos denominados:

- a) siderófilos
- b) calcófilos
- c) litófilos
- d) atmósfilos
- e) biófilos.

De esta primera distribución geoquímica de los elementos, con sus respectivas combinaciones químicas, se originó la estructura del globo terrestre que según E.Barth (1952), sería la siguiente a partir de la periferia:

Litósfera	{	Sial	0 a 25 Km.
		Sima	25 a 70 Km.
		Eclogita o Dunita	70 a 1200 Km.
Calcósfera.....	Oxi-sulfuros	1200 a 2900 Km.	
Siderósfera.....	Nife o núcleo	2900 a 6370 Km.	

Esta distribución vertical en gran escala determina, de acuerdo a las afinidades ya señaladas, zonas en donde se habrían radicado, con el mayor porcentaje admisible, los diferentes elementos; cualesquiera sean las combinaciones químicas.

micas. Algunas pueden considerarse en equilibrio permanente, por cuanto es de suponer que las condiciones ambientales son prácticamente fijas, especialmente para las zonas del núcleo y oxi-sulfuros.

Sin embargo, durante aquella primera distribución geoquímica, hubo sin duda fuga de elementos desde sus ambientes específicos por diversas razones. De esta manera se incorporaron como elementos menores en las geosferas más exteriores, llegando también a la superficie, en cantidades ínfimas según la escala planetaria, pero a veces localmente importantes.

Las tres geosferas externas que configuran la litósfera, y muy especialmente la externa o Sial, no presentan la estabilidad que aparentemente caracteriza a las internas y son el asiento de acontecimientos geológicos, algunos observables tales como el vulcanismo, la meteorización, etc. en donde los elementos químicos juegan su papel, cumpliendo en procesos rotativos un ciclo geoquímico mayor, diagramado e interpretado por H.Hawkes (1957) y reproducido en la fig.1.

El ciclo está dividido en dos grupos principales llamados de dispersión: el primario o endógeno, típico de niveles inferiores de la litósfera, y el secundario o exógeno en la superficie terrestre. El límite horizontal teórico entre los dos grupos está dado por los niveles más profundos de circulación de las aguas meteóricas. Cada uno de ellos está caracterizado por parámetros físico-químicos distintos. Así en el primero las presiones y temperaturas son elevadas habiendo escasez de oxígeno libre, mientras que en el segundo las relaciones son inversas es decir, bajas presiones y temperaturas y gran disponibilidad de oxígeno libre.

Como se puede apreciar en la figura 1, cada grupo mayor está subdividido en etapas de diferenciaciones que corres

ponden a las magnéticas, pedológicas, sedimentarias y metamórficas con sus procesos y productos característicos, partiendo del estado o fase magnética al cual se supone una incorporación de fluidos juveniles o profundos.

Esta primera etapa de diferenciación, compuesta de fases tales como fusión-cristalización-consolidación, dará lugar a la formación de rocas ígneas de diferentes tipos, constituyéndose cada una, un sistema cuyos integrantes, estarán en equilibrio, frente a los parámetros físico-químicos del medio, en el momento de su consolidación.

Desde allí, y por lenta aproximación a los niveles superficiales, el sistema se desequilibrará, tendiendo a producir cambios, que serán realizados por los agentes de alteración que predominan en superficie, iniciándose la destrucción de aquellas rocas por meteorización y erosión; a este momento, todos los elementos químicos integrantes del primer sistema, iniciarán el hemiciclo de dispersión secundario, pasando por la etapa de diferenciación pedológica, de donde surgirán diferentes tipos de rocas residuales, o nuevos sistemas equilibrados (suelos, por ejemplo). Esta etapa se diluirá lentamente pasándose a la de diferenciación sedimentaria, por hidrolisis y transporte, hasta la formación de areniscas, arcillitas, calcáreos y evaporitas, productos finales de la sedimentación.

Posteriormente por engrosamiento y hundimiento de las pilas sedimentarias, estas rocas pasarán a procesarse según la etapa de diferenciación metamórfica hasta el metasomatismo y fusión, con los cuales se cierra el ciclo mayor.

Evidentemente, el ciclo puede ser interrumpido o bien no cumplirse íntegramente, pero es de suma importancia comprenderlo e interpretarlo para plantear correctamente numerosos problemas geológicos, cuyas características físicas

y químicas dependen de su ubicación en el ciclo, de los gradientes entre los parámetros que caracterizan cada fase, resultando de ello que, en general, los procesos no se producen al azar sino en íntima relación.

Según el Coloquio sobre la Prospección Geoquímica de Abbaye de Royaumont en 1959, el "objetivo esencial de la Geoquímica es estudiar, a partir de las propiedades de los átomos o iones, la historia de los diversos elementos en el curso de los procesos geológicos del ciclo mayor" y así poder establecer el ciclo geoquímico correspondiente a cada uno de los elementos y determinar sus migraciones en la litósfera, es decir el desplazamiento de los mismos en los dos hem Ciclos de dispersión mayor señalados.

La dispersión, en general, se realiza a través del desplazamiento de grandes masas, por procesos mecánicos como la intrusión o extrusión de una masa magmática que ha adquirido la fluidez necesaria para movilizarse o el desplazamiento en superficie de masas detríticas por la acción glacial, etc., produciéndose en dichas masas, y entre las facies en contacto reacciones químicas que provocan el otro tipo de dispersión.

Ahora bien, la respuesta de los elementos a los procesos de dispersión están gobernados por los diferentes grados de movilidad de aquellas masas, sujetas a factores complejos, como viscosidad (magma), porosidad del medio (aguas que circulan por sedimentos), etc. Ello provoca una mayor o menor estabilidad entre las fases móviles e inmóviles que influirá en las reacciones químicas entre dos o más fases en contacto.

Estas reacciones que condicionan las diferenciaciones, en general, tienden a actuar como factores selectivos. En gran escala la formación de un batolito granítico, una efusión basáltica, etc. y en pequeña escala, la liberación de los elementos químicos constituyentes que concentrándose en líquidos

* San Rafael
1500 msnm

INTERNET
Busca

(?) Generación de Materiales Puros (CNEA)
Dirección de Seminarios Nucleares de la OIEA

Asunto / Subject

- Mapa ubic de ambientes regionales y fisiográficos de las unidades de producción.
- Google earth (log - lat) / UAC

• Canal Yac (latitud - longitud) pl google earth

• "Gestión segura de desechos en la minería y tratamiento de los min's de U y Th"

Autor = OIEA; Editorial y fecha: Vienna, AEA, 1988
Nº inventario 12388 [OIEA CS 85 - Ubicación física]

* Libros CAR

• Geology, mining and extractive processing of uranium. Jones, M. 1977 / Larches SB

International Symposium on geology, mining and extractive processing of uranium - Nº meet 33515
- UAC 553.495
L78 1977

• Guide book to accompany IAEA map, world distribution of uranium deposits

Auto = OIEA 1996 Código Doc = STI-RUB-1021. Nº meet 49273. UAC 553.495 Or 4

• 04 - Cuenca Sub-Gravel = Cooperativo

• 03 - Desarrollo bien de c/ mineralización; recurso hídrico, veget, hidrogeología, temp y precip media de c/acimiento.

Clases intrusivos

RAE = recursos adicionales de estimados
 RLA = recursos necesariamente requeridos

Asunto / Subject

tag.

Fecha / Date

/ /

Bibliografía solicitada por Diana Lago (Beca de Dr. N. Fuentes)
 (Int 7851.)

1978
 ✓
 ✓
 ✓
 ✓

05.83.03

ausencia
 de yacimientos

3.10

05.38.10 Pág 32 (Adlec 37), 3.10, 3.16, 3.17, 3.18 - 3.19; ~~3.20~~, ~~3.25~~; Pág 3.30

05.60.03

NO ESTA

05.58.02

05.30.01

1969

05.30.02

NO ESTA

05.32.11

05.81.04

622 349.5 A3

LOS MINERALES DE URANIO EN SU VA. Y PROC
 ANGELELLI (LIBRO DE CAB) JURÍDICOS

Muchas Gracias

DL

temos, gradientes térmicos,
 repeticiones de
 procesos pesqueros
 hidrología, hidrogeología
 asom - leyes requeridas

residuales dan lugar a la formación de yacimientos.

1. Ciclo geoquímico del uranio.

El uranio es un elemento francamente litófilo desde el punto de vista geoquímico y se encuentra en la naturaleza formando tres isótopos semiestables: U 234, U 235, U 238, de los cuales el último es el más abundante con un valor aproximado al 99,28%.

Por sus afinidades, el uranio es completamente oxífilo, por lo tanto no puede existir en la naturaleza en estado metálico; durante la diferenciación magnética tiene preferencia por las rocas ácidas especialmente las graníticas con valores medios de 3,5 g/t.

El uranio se caracteriza además por su movilidad que, sin llegar a ser extrema, le da posibilidades de gran dispersión, por lo que se señala como un rasgo de la geoquímica regional, el número limitado de yacimientos ricos en este elemento. Puede considerarse entonces como un elemento disperso según el concepto de Vernadsky.

Dando ligeras referencias sobre los posibles pasos del uranio a través de su ciclo, comenzaremos por el ciclo magnético, considerando que, a través de esta primera etapa, se produce el transporte original. El tamaño relativamente grande de su ión tetravalente, así como la facilidad para cambiar su carga según las condiciones del medio y sus afinidades, hacen que su comportamiento sea bastante complejo a través de esta etapa. Puede quedar atrapado en las redes cristalinas dando ciertas particularidades a los minerales que lo poseen, tales como la pleocroismo; o bien puede quedar en libertad en algunas de las etapas de consolidación del magma.

Esta liberación puede provocar su acumulación en los líquidos residuales y, posteriormente:

- a) Producir depósitos filoníacos,
- b) o quedar bajo la forma pelicular entre los minerales de las mismas rocas ígneas o adyacentes,
- c) ser expulsado al exterior (como en los procesos volcánicos),
- d) pasar a las aguas subterráneas y luego a las superficiales.

Una vez que el material portador, sobrepase el límite teórico entre los hemiciclos mayores e ingrese al ciclo exógeno, las alteraciones provocadas por los agentes de meteorización redistribuirán el uranio pudiendo dar, si las condiciones son ideales, concentraciones de tipo secundario, de valor económico.

La migración y concentración del uranio son hechos naturales existentes, por lo tanto interesa conocer, la forma en que se realizan; las discusiones quedaron centralizadas durante mucho tiempo, sobre los posibles vehículos de transportes, su mecanismo teniendo en cuenta las pronunciadas migraciones de este elemento. Se dió demasiada importancia al pH y se desconocía la existencia de complejos altamente solubles; en consecuencia era imposible aceptar como único medio de transporte en el ciclo exógeno principalmente, a las aguas superficiales en razón de su pH neutro; este valor hacía imposible la existencia de uranio en solución, por cuanto su ión más soluble es el uranilo y hasta pH 4,5.

Mayores conocimientos sobre los hábitos del uranio, permitió a autores franceses señalar que, la forma en que se produce su transporte a través de los materiales de la corteza es único, claro está considerando grandes recorridos y lo es, por soluciones en aguas o medios líquidos o

fluidos como lo sería el primer estado magnético.

En un medio líquido, el elemento por sí o complejo se encuentra ionizado. De tal manera, el uranio se presenta con dos valencias: el U^{+4} , ión uranoso y el UO_2^{++} , ión uranilo, catión complejo cuyos oxígenos están retenidos con gran fuerza. Puede presentarse también el radical UO_4^- (ión uranato). El U^{+4} no es estable y al precipitar puede formar el UO_2 , uraninita natural y pechblenda. Sin embargo a pH inferior a 4 el ión tetravalente es estable y puede mantenerse en solución.

Resumiendo, los principales vehículos de transporte de uranio ionizado, son:

- a) soluciones magmáticas
- b) soluciones hidrotermales juveniles
- c) aguas subterráneas
- d) aguas superficiales.

Nos referiremos ahora a las formas de fijación del uranio transportado, hecho que depende de numerosos factores físicos y químicos como ser:

- a- Cambio de velocidad de las soluciones transportadoras.
- b- Cambio repentino en el pH de las soluciones mineralizantes, cualquiera sea su grado; ello puede provocar deposición en aguas estancadas, en el interior de cavernas, fisuras, etc.
- c- Sustancias orgánicas producidas por descomposición de restos vegetales, numerosos hidrocarburos y carbones; los ácidos fúlvicos y los ácidos húmicos son de gran importancia en el ciclo exógeno del uranio.
- d- Gas natural: por reducción de los iones tetravalentes, mediante el hidrógeno sulfurado.

En definitiva, siendo el agua un medio de transporte tan generalizado y las condiciones de precipitación tan variada, las concentraciones pueden producirse en medios tan diversos que las rocas favorables pueden ser muchas, explicándose así que, en extensas áreas que hasta ayer fueron consideradas estériles, hoy se encuentren yacimientos de valor.

2. Uranio en el ciclo de alteración.

Chevert y Coulomb (1958), para desarrollar métodos prácticos de prospección geoquímica, realizaron estudios sobre el comportamiento y el contenido uranífero de las aguas que circulan en los alrededores de yacimientos conocidos y en macizos graníticos en exploración, en Francia. Estos resultados fueron importantes para explicar el comportamiento del uranio en el ciclo de alteración. Estos granitos son ricos en minerales primarios de uranio encontrándose en su seno yacimientos de tipo vetiforme de origen hidrotermal.

El mineral más importante y posiblemente único de tipo primario es el óxido (UO_2) que tal como ya señalamos, da origen a la pechblenda y a la uraninita. La primera se encuentra en filones hidrotermales de sulfuros y arseniuros y la segunda en las pegmatitas. Durante la meteorización estos óxidos se hidratan.

El ataque de los óxidos se produce por:

- 1) Hidratación: por agua que penetra en los sistemas reticulares de los cristales iniciando la alteración.
- 2) Hidrólisis con circulación de agua que provoca el desequilibrio químico sacando e incorporando iones. Esta acción es muy importante en el ataque de los silicatos.
- 3) Oxido-reducción diferencial según la profundi-

dad. La oxigenación es máxima en superficie y en la zona de circulación de agua subterránea y mínima en grandes profundidades, por déficit de oxígeno.

- 4) Los ácidos como el gas carbónico, los nítricos y nitrosos, sulfúrico y los orgánicos.

En movimiento libre, el mecanismo del proceso sería el siguiente: oxidación de la pechblenda seguida de la hidratación que produce los complejos muy solubles de uranio, éstos pueden iniciar fuga masiva, sobre todo si hay disponibilidad de iones carbonatos, con los cuales forman complejos muy estables.

Iniciado el proceso de dispersión el mismo puede continuar a través de las aguas subterráneas o superficiales, pero al mismo tiempo que éste se inicia, pueden actuar factores que modifican este movimiento libre fijando el uranio en suelos, aluviones, rocas, vegetales, etc., hechos muy importantes, tanto del punto de vista de la prospección, como de la formación de yacimientos secundarios.

De esta manera, y por acción de tales factores que limitan el movimiento libre, se puede detener la dispersión iniciada en el momento en que una roca portadora comienza a sufrir los efectos de la meteorización. Esta dispersión, teóricamente, provocaría el empobrecimiento de cualquier concentración primaria; sin embargo, como los agentes de fijación actúan también casi inmediatamente, detienen la dispersión y son ellos, los responsables de la presencia de minerales secundarios que pueden llegar a reconcentrar el mineral casi en el mismo yacimiento original, o provocar concentraciones en áreas alejadas.

Tomemos como punto de partida la roca granítica; en las aguas que lavan sus productos de descomposición encon

tramos iones de Na^+ , Ca^{++} , y Mg^{++} , SiO_3^- a pH mayor de 5, SO_4^- proveniente de los sulfuros, $\text{PO}_4^{=}$ de la apatita, Cl^- y gran abundancia de $\text{CO}_3 \text{H}^-$ y CO_3^- originados del CO_2 de la atmósfera que se disuelve en el agua para dar $\text{CO}_3 \text{H}_2$. Este, por disociación, produce H^+ que influye en la acidez de la solución acuosa. También el CO_2 proviene de la descomposición de la materia orgánica, de microorganismos o de aportes profundos.

La hidrólisis de los silicatos produce potasio, sodio, magnesio y calcio más $\text{Al}_2 \text{O}_3$ y $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ etc. La hidrólisis es débil en sus comienzos por el pH casi neutro de las aguas naturales, pero la incorporación de H^+ da una mayor acidez con lo cual el proceso se acentúa.

Mientras haya un bajo grado de acidez podrá formarse sulfato de uranilo $(\text{SO}_4)_3 \text{UO}_2$, estable hasta pH 4. Únicamente por evaporación y precipitación consiguiente, puede darse la existencia de este mineral, el que redissuelto puede provocar su migración lenta; en medio acuoso y a un pH superior a 4 se disocia entonces el UO_2^{++} y asociándose al OH^- produce el $\text{UO}_2(\text{OH})^+$ que se mantendrá en solución hasta pH 4,5. Sin embargo la presencia de $(\text{CO}_3)^-$ lo acompleja pudiendo subsistir en solución y por esa razón ser transportado. Estos complejos son: $\text{UO}_2 (\text{CO}_3)_2^-$ estable hasta pH 6,5 y $\text{UO}_2 (\text{CO}_3)_3^{=}$ estable hasta pH 11.

Estos serían por lo tanto los únicos complejos que pueden existir en las aguas naturales, explicándose así la importancia de la concentración de iones carbonato para la circulación lejana del uranio.

Otro mineral secundario que se encuentra casi siempre alejado de los yacimientos originales es la autunnita formada por intercambio del ión carbonato por ión fosfato $(\text{PO}_4)^-$ a pH 7; estos iones son reemplazables entre sí, pero la rápi-

da eliminación del ión carbonato favorece la estabilidad del fosfato de uranio.

En cuanto al ión silicato, éste juega un rol muy importante pues, al formar una capa impermeable de silicato de U y Ca paraliza la alteración de la pechblenda primaria.

Por efectos de reducción provocados por el SH_2 originado por la putrefacción de la materia orgánica, pueden producirse las pechblendas neógenas; la reducción del U_4 pasa a UO_2^+ e hidratándose se transforma en $\text{UO}(\text{OH})_2$ dando posteriormente el UO_2 .

Creemos oportuno reseñar las observaciones de algunos investigadores, respecto al valor del pH como factor limitante de la capacidad de transporte de las aguas en ambientes naturales; según ellos, no tiene mayor importancia para el transporte del uranio, por cuanto consideran que existen numerosas reacciones químicas, en la zona de meteorización, que ocurren a pH neutro. De acuerdo a lo explicado hasta ahora, el único complejo que podía subsistir a pH elevado era el tricarbonato de uranilo, que sabemos es estable hasta un valor de 11, pero hay otras formas que permiten la migración del uranio aún en ausencia de iones carbonatados.

Esto se produciría por medio de coloides tales como los de sílice e hidróxidos férricos que, por adsorción, contribuyen a mantener el uranio en solución aún en pH no favorable y ello sucederá mientras estos coloides permanezcan dispersos.

La precipitación del uranio se produce entonces cuando los geles coagulan, de esta manera pueden haberse enriquecido algunas rocas sedimentarias en lugares muy alejados del foco de dispersión.

Algunos autores reconocen, como únicos factores importantes de dispersión en las aguas superficiales: la dilución, la presencia de coloides y la formación de complejos con fuerte gradiente de estabilidad frente a valores de pH muy diver-

Señalaremos ahora, algunas reacciones que explicarían la fijación del uranio en los suelos inmediatamente sobrepuestos a yacimientos, dando lugar a la formación de las aureolas o formas de dispersión secundarias que, aunque serán vistas más adelante, las mencionamos aquí, por cuanto ellas involucran procesos relacionados a la diferenciación pedológica, en el ciclo de alteración.

Las aureolas son el producto de las migraciones del elemento ionizado y/o acomplejado, estando genéticamente asociadas a yacimientos o anomalías geoquímicas mayores. Estas migraciones se efectúan lentamente por intermedio de las aguas peliculares, intersticiales, en movimiento ascendente por capilaridad u horizontales, etc., circulando entre los componentes normales de los suelos.

Entre estos componentes, se encuentran los coloides arcillosos que juegan un rol muy importante en la fijación del uranio, por intercambio iónico; esta propiedad característica de las arcillas, está bien desarrollada con respecto al uranio, en las de tipo montmorilloníticas. En la naturaleza este proceso generalmente es parcial, débil, por cuanto no se desarrolla en relación a la capacidad total del intercambio, pero son suficientes para dar lugar a la formación de las aureolas, importantes para la prospección geoquímica por razones evidentemente obvias de explicar.

Otro componente normal de los suelos, es la materia orgánica proveniente de la destrucción de vegetales principalmente, que en conjunto forman el humus; éste puede dar compuestos solubles e insolubles, siendo los primeros quienes contribuyen a la migración prolongada del uranio y los segundos, a la formación de las aureolas.

De estos suelos, de las propias rocas portadoras en descomposición, o de las soluciones circulantes, el uranio puede ser tomado, mediante el sistema radicular de las plantas,

el que en esta forma ingresa a los organismos vivos. Ciertas especies vegetales muestran valores francamente anómalos sea en sus hojas, espinas, ramas jóvenes, etc.; la caída y la putrefacción de estos elementos, darán lugar a un aumento en el tenor de las capas superficiales del suelo en los alrededores de las plantas generadoras; estas anomalías pueden estar relacionadas a yacimientos en profundidad.

Estudios edafológicos señalan a los ácidos fúlvicos como los más importantes de los componentes del humus, en la fijación de los cationes utilizados por los vegetales para su nutrición. No es bien conocida aún la fijación del uranio en los organismos, o la importancia de él en algunos o en todos los procesos vitales. Así sabemos que las turbas por ejemplo, absorben a las tierras raras en proporciones muy elevadas, estos cationes compiten entre sí y, aparentemente, los de mayor peso atómico parecen expulsar a los de menor peso. Existen algas de aguas dulces que asimilan y acumulan uranio; en algunas fuentes termales que presentan cantidades anormales de uranio, éste parece haber sido precipitado por bacterias; en los estudios oceanográficos se ha encontrado mayor cantidad de uranio en las profundidades que en superficie, según Pettersson (1939) por la asimilación de organismos planctónicos.

Se realizan investigaciones sobre la acción de algunas sustancias orgánicas en el ciclo geoquímico del uranio, no solo para establecer el factor de enriquecimiento a partir de las pequeñas cantidades de uranio que se observan en las aguas naturales, sino también, para determinar la resistencia de estas sustancias a la descomposición a través de largos períodos geológicos, y su posible acción de acumulación prolongada.

La importancia de todos estudios radica en el he-

cho de que numerosos depósitos están relacionados, genéticamente con estos materiales; además, los vegetales, han sido considerados como un material suficientemente útil para la prospección sea por intermedio de la biogeoquímica o de la geobotánica en el caso de las plantas selectivas.

3. Uranio en solución.

A pesar de que ya hemos hablado sobre la presencia del uranio en las aguas naturales, creemos oportuno especificar más este particular, por la existencia de controversias sobre la génesis de algunos yacimientos. Las discusiones están centradas sobre si el uranio proviene de soluciones hidrotermales (teletermales), o bien, de rocas que desintegradas o en curso de hacerlo, han aportado a las aguas meteóricas, cantidades pequeñas que, en transcurso del tiempo, llegaron a concentrarse.

Es muy difícil llevar el tema en una descripción ordenada partiendo, como lo hemos hecho para el ciclo general, de un origen primario o magmático; en efecto, al hablar de las migraciones del uranio en solución debemos aceptar un aporte múltiple que se incorpora lentamente a un torrente general y único, superficial o sub-superficial. De esta manera el uranio que proviene de fuentes profundas, tal como el aportado por las soluciones magmáticas, por soluciones hidrotermales juveniles, se mezclará con aquel en solución en aguas de origen meteórico, superficiales o subterráneas proveniente del lavado de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, de biolitos, evaporitas, etc., provocando fenómenos de dispersión y concentración repetida formando, en conjunto un cuadro sumamente complejo.

Tomaremos para establecer las bases del estudio del uranio en solución el trabajo de D.L. Everhart (1958):

Soluciones magmáticas: La mayor parte del uranio

esté en la fase líquida inicial del magma cuyas diferenciaciones sucesivas enriquecerán la fase residual final. Está demostrado que el uranio se incorpora a los minerales petrográficos fundamentales y accesorios, al iniciarse el proceso de cristalización y podrá pasar también, a los fluidos intersticiales de las rocas durante las modificaciones endomórficas ocurridas en el proceso de consolidación. Esto significaría que los magmas pueden liberar el uranio, tanto en las fases iniciales de cristalización, como en las últimas, de consolidación, es decir, cualquier fracción puede contener concentraciones de uranio.

El problema reside en conocer en que fase de la evolución del magma, se producen las concentraciones más importantes que darán lugar a la formación de los yacimientos magnéticos o profundos.

Soluciones hidrotermales juveniles: Se acepta que en estas aguas o líquidos de origen profundo, fase residual final del proceso magnético que terminó con la consolidación, se encuentra en una cantidad determinada el uranio, residual o liberado posiblemente de aquellos yacimientos magnéticos profundos.

El uranio así transportado, puede formar depósitos filonianos hidrotermales en distintas formaciones geológicas, asociándose muchas veces a concentraciones metalíferas de otros elementos o bien, volcarse a la red hídrica superficial.

Resumiendo, el comportamiento del uranio en estas dos soluciones de origen profundo, es tan irregular que, sea por su movilidad, por su radio atómico, etc. no presenta ninguna tendencia a ubicarse según zonas o posiciones definidas, como otros elementos, en los distritos metalíferos. De acuerdo a la experiencia mundial, este elemento se distribuye en forma tan compleja, que puede alejarse largamente de los fo-

cos de origen, sin determinar ninguna zonalidad.

Soluciones en aguas subterráneas: Estas aguas son capaces de disolver y redistribuir el uranio contenido en las rocas ígneas, en yacimientos filonianos, en rocas sedimentarias, etc. La rapidez e intensidad de la incorporación de los elementos dependerá de dos variables fundamentales, que determinan las condiciones ambientales: clima y topografía.

Los elementos incorporados a las aguas subterráneas pueden moverse en soluciones o en suspensión estable. Las fases móviles más importantes para este tipo de aguas son:

- a) catiónica, el uranio, única excepción, lo es como catión complejo UO_2^{++} y siempre de acuerdo con las condiciones ya señaladas en su oportunidad;
- b) aniónica, el uranio puede hacerlo como tricarbonato de uranilo $UO_2(CO_3)_3^{4-}$;
- c) adsorbido en materiales suspendidos, en el caso de los coloides de sílice, hierro, etc.

El grado de las migraciones dependerá de la permanencia de las condiciones que facilitaron la formación y por lo tanto la estabilidad de estas tres fases, y, del desarrollo del sistema hidrológico.

La mayor parte de los estudios sobre estas aguas han sido realizados en regiones de climas áridos o semiáridos, en donde las aguas contienen en general, sales como sulfatos y carbonatos disolventes eficaces del uranio. En regiones tropicales y áridas, las aguas subsuperficiales tienden a ser menos ácidas que las de regiones de climas templados. Sin embargo esto no es una condición demasiado fija por cuanto la cantidad de elementos incorporados está estrechamente relacionada con la profundidad de oxidación, que a su vez

puede variar con los ciclos climáticos y o paleoclimas que determinan o determinaron la profundidad de la mesa de agua.

La capacidad de solución de las aguas es una función compleja en la cual intervienen las propiedades de los elementos mismos, tales como las valencias, radios iónicos, polarización, etc. y el pH y Eh de ellas, sobre todo estos últimos valores; el uranio muestra amplios halos de migración en condiciones de oxidación. Según Germanov y otros (1958) sería el potencial de óxido-reducción el factor principal que determina el comportamiento del uranio en estas soluciones.

Diferentes estudios hidrogeológicos establecen que las condiciones hidrogeoquímicas están graduadas en tal forma, que es posible determinar una verdadera zonalidad vertical, hasta una profundidad de 5 kilómetros aproximadamente. La zonalidad representa variaciones geoclimáticas de las aguas subterráneas y están reguladas por las temperaturas, presencia de oxígeno libre, gases, cantidad de sales, materia orgánica, microorganismos, etc. La zonalidad puede establecer barreras en las migraciones no únicamente del uranio, sino de otros elementos, siendo otro factor importante que determinará la distribución del uranio transportado por las soluciones subterráneas.

Soluciones en aguas superficiales: No creemos oportuno insistir sobre el tema, por cuanto ya nos hemos referido a él a través de esta disertación, además sobre el particular dará información el Dr. Angel M. Santonero. Agregaremos sin embargo, las otras formas de ocurrencia de los elementos en las aguas naturales, que no fueron citadas en el apartado anterior por no existir, por lo menos en el grado en que se manifiestan en las aguas superficiales. Ellos son:

a) Materia orgánica soluble, con quien el uranio reacciona para dar complejos solubles muy estables;

b) suspendidos es decir transportados en forma mecánica, en razón de la velocidad y turbulencia de las aguas; de esta manera se forman placeres de metales y o minerales pesados.

La importancia de ésta forma del transporte del uranio es relativa, prácticamente nula en cuanto a la formación de concentraciones económicas, pero tiene significación para el prospector.

Creemos oportuno referirnos aquí a la lateritización o formación de lateritas por influencia de las aguas meteóricas y de climas; éstas no son otra cosa que tipos de suelos muy particulares, endurecidos al aire, a la escala del tiempo geológico, que cubren extensos sectores de las regiones tropicales.

Las lateritas se explotan para extraer hierro y aluminio, pero se conoce además, que en ellas hay otros elementos concentrados tales como niobio, vanadio, galio, etc. Los procesos de lateritización son estudiados no solamente para determinar la existencia de otros elementos además de los conocidos para su extracción como subproductos sino también, como factor de prospección por métodos geoquímicos muy importantes, pues ya no existen dudas de que las lateritas pueden cubrir sectores mineralizados y por ello no accesibles a la observación directa. El problema es complejo por cuanto ellas pueden autóctonas o alóctonas y además, la lateritización es un proceso que afecta a todas las rocas, sin importar su naturaleza, solo habrá diferencia de grados en la composición del producto resultante.

Por otra parte sabemos, que durante la lateritización, cualquier concentración superficial o subsuperficial metalífera, será removida y dispersada ampliamente, creándose serias dificultades en el estudio de las anomalías regis-

tradas, ejemplo, por radiometría. Es importante seguir paso a paso los estudios que se realizan, en todo el mundo, sobre éste tipo de cobertura natural, pues sin duda él entrará en un futuro no lejano, como material de exploración en el campo de geoquímica, recordemos las extensas zonas cubiertas por ella y sobre todo tengamos en cuenta sus espesores, del orden de 30 metros en promedio aproximadamente.

III. ACCION Y SIGNIFICADO DE LA MATERIA ORGANICA.

J.D.Vine y otros establecen que, para comprender las relaciones de por sí complejas entre el uranio y la materia carbonosa, se deben distinguir distintos factores de incidencia geoquímica en el transporte y a la concentración de uranio derivados de la presencia:

- a) productos húmicos indígenas (restos de plantas ricos en oxígeno),
- b) productos sapropélicos indígenas (restos de animales y plantas ricos en hidrógeno),
- c) estratos húmicos redepositados (ácidos húmicos y humatos derivados de a)),
- d) bitúmenes redepositados (derivados de b) como el petróleo y la asphaltita.

De estos solo a) y c) están asociados comúnmente con los depósitos uraníferos, como es el caso de algunas turbas y lignitos. En efecto, los estudios de A.Szalay y otros, quienes localizaron uranio en varios estratos carboníferos en Hungría, responsabilizan a los ácidos húmicos como el factor principal del enriquecimiento en uranio.

Las turbas son generadoras de humus y a pesar de que presentan limitadas plazas para la fijación del uranio, los ensayos de laboratorio indican que el factor de enriquecimiento es por 10.000, es decir, un gramo de turba puede

contener 10.000 veces más uranio que un centímetro cúbico de agua. Esta fijación se realiza a pH 3-7 por intercambios iónicos; a pH menor de 3 los iones de uranilo quedarán liberados.

A. Rozhkora y otros, señalan que en el caso de las turberas, el pH tiene un rol principal por cuanto él puede cambiar la magnitud del potencial electrocinético del sorbente o bien, cambiar el signo de su carga. Estos dos factores influyen sobre la capacidad de adsorción.

Los primeros autores señalan además: que los ácidos húmicos en solución, asimilan rápidamente al uranio dando humatos de uranilo, que pueden depositarse por descenso de pH o por aumento de cationes bivalentes. Cuando estos precipitados se secan por evaporación forman películas de color negro, frágiles, que físicamente se asemejan a bitúmenes sólidos, de origen sapropélico.

Se señala además que las erróneamente llamadas "asfaltitas uraníferas" no son otra cosa que cuerpos carbonosos, uraníferos, que asimilaron este elemento de soluciones en aguas circulantes. Esto sucedió aparentemente, en algunas areniscas no marinas.

En cuanto al proceso de la transformación de la turba en lignito, no es bien conocido desde el punto de vista físico-químico, pero se supone que esta transformación se hace en un medio reductor. En el caso de estar la turba enriquecida en uranio éste se encuentra como hexavalente (ión uranilo); se reduce a tetravalente, pierde su unión por adsorción, se desprende y forma los óxidos de uranio correspondientes. Si aún resta uranio éste se desprenderá cuando por metamorfismo, el lignito se transforme en antracita que carece de poder de retención.

IV. URANIO EN ROCAS SEDIMENTARIAS.

De acuerdo al ciclo geoquímico mayor representado en la figura 1, las rocas sedimentarias serían el producto de un proceso de diferenciación, llamado justamente sedimentario, correspondiente a la última parte del ciclo exógeno o secundario.

La diferenciación que acontece en esta etapa del ciclo, tiene formas físicas y químicas; las primeras comprenden el transporte simplemente mecánico de los materiales resistentes, cuarzo principalmente, el movimiento de los hidrolizados en suspensión y las químicas, que formando sales solubles llegan hasta las cuencas en donde se produce su precipitación. De esas formas, resultarán las areniscas en el caso de las resistentes, los esquistos, en el caso de los hidrolizados y, calcáreos, evaporitas y biolitos de las químicas. Esas rocas serán metamorfizadas en el ciclo endógeno.

No es necesario recalcar la complejidad del proceso por acción e interacción de numerosos factores que compliquen el cuadro esbozado tan simplemente, dando lugar a la formación de los tan variados tipos de rocas sedimentarias.

El uranio como muchos otros elementos, recorre esta etapa del ciclo cumpliendo su propio rol, y llegará a precipitarse, fijándose en estos sedimentos en algunos casos en forma dispersa según las descripciones hechas, o llegar a concentrarse formando los yacimientos.

Como únicamente nos interesan los factores de concentración, explicamos las razones, las formas y los medios necesarios para que ellas se produzcan.

Según A. Rozhkora y otros, las formas en que se encuentra el uranio en los componentes uraníferos naturales de las rocas sedimentarias controladas con ensayos de laboratorio, les permite afirmar que es la adsorción el factor más im-

portante en la acumulación de este elemento. Este proceso puede realizarse en las diferentes etapas de formación de las rocas sedimentarias, resultando así concentraciones sin-genéticas o epigenéticas.

Según estos mismos autores, los factores principales que influyen en la acumulación del uranio en los medios naturales serían:

- a) concentración de uranio en las soluciones,
- b) pH,
- c) composición del medio en el cual se realiza la fijación, y
- d) potencial de óxido-reducción (Eh).

El primer punto ha sido ya suficientemente explicado; en segundo lugar tenemos el pH que si bien algunos autores le restan significación en el transporte, jugaría un rol importante en el fijador por cuanto, tal como fué señalado, él puede cambiar el potencial electrocinético del fijador, cambiando el signo de su carga.

En tercer lugar, tenemos que considerar los componentes con capacidad de intercambios iónicos, el caso de numerosas arcillas; estos intercambios dependen de las estructuras cristalinas y la interacción estará relacionada con la composición química de las soluciones que entren en contacto con ellas. Según D. Carrol, un intercambio iónico es, en los minerales arcillosos, una reacción química reversible que se produce entre iones retenidos en la superficie de un mineral mediante cargas eléctricas no equilibradas por la red cristalina, y los iones de la solución. Estas cargas generalmente son negativas y la reacción es para neutralizarlas.

Otros componentes que actúan en forma principalísima son las sustancias orgánicas y sus derivados, tal como lo vimos en el apartado correspondiente, ejemplo el de las

turberas o el de los carbones contenidos en los depósitos sedimentarios.

Según A. Rozhkora y otros, los ácidos orgánicos en los depósitos carbonosos, darán condiciones favorables a la fijación del uranio pero, la capacidad de fijación estará regida por el grado de metamorfismo de las materias orgánicas, caso de la antracita que ya son neutras. Si encontramos gran concentración de uranio en los carbones con alto contenido en carbono, es porque el ión uranilo fué fijado en las etapas primeras, antes de que el metamorfismo transformase la materia orgánica original.

Otro componente fijador es el fosfato de calcio, que fija el uranio tanto durante la acumulación del fosfato, en su diagénesis como así también, después que se produjo la consolidación o petrificación del sedimento.

Otras formas de precipitación del uranio es por la acción de aniones tales como SO_4 , VO_4^{\equiv} , AsO_4^{\equiv} , CO_3^{\equiv} y sílice pero, en combinación con otros cationes como Ca^{++} , Mg^{++} , Ba^{++} , Pb^{++} , K^{+} y, aunque muy raramente, el hierro ferroso.

Un hecho muy importante y general es que las concentraciones de valor económico de uranio parecen estar alojadas en rocas sedimentarias de tipo continental y no marinas o, en casos extremos, en bordes de cuencas marinas. Lógicamente hay excepciones pero, ellas no pasan de ese grado.

Las razones que podrían darse para explicar este hecho tan generalizado serían:

a) en el caso de las sustancias orgánicas depositadas en una cuenca netamente marina, éstos no lo podrían fijar como en el de las continentales, por el pH de las aguas, entre 7 y 8;

b) si el transporte se realizó como complejo carbonatado, no podrá ser fijado en razón de que ese complejo

tiene carga eléctrica idéntica a la del fijador;

c) A. Rozhkora y otros, señalan también que, cuando se descubren concentraciones de uranio en sedimento fosfatado de origen marino, estos pudieron haberse enriquecido a partir de circulación de soluciones uraníferas a través de depósitos ya diagenizados y fuera del ambiente marino. En estos casos los depósitos serían epigenéticos, enriquecidos por la acumulación a través de un lento y continuo contacto con las soluciones mineralizantes, que por circulación renovarían el aporte.

En cuanto a los esquistos negros de origen marino, una pequeña proporción de sustancia húmica que podría existir, sería la responsable del contenido en uranio que ellos suelen presentar. Se sospecha que éste uranio ha sido inicialmente depositado bajo la forma de humatos, a partir de ácidos húmicos que asimilaron el uranio en su marcha sobre las áreas terrestres y mucho antes de su deposición en los fondos marinos.

En el enriquecimiento de las rocas sedimentarias, juega otro rol principal las texturas y estructuras pertinentes, así como la intercalación de sedimentos permeables o impermeables, pero éste es un tema que será visto y explicado en otras conferencias.

Con referencia al punto cuarto, potencial de óxido-reducción (Eh), aparentemente es muy bajo en la naturaleza, dado los valores de pH existentes. Sin embargo existen reductores poderosos del uranio tales como las sustancias carbonosas y el hidrógeno sulfurado, capaces de reducir los iones de uranilo a temperaturas inferior a 100°C.

V. FENOMENOS DE DISPERSION

En los distintos pasos seguidos hasta ahora en nuestra exposición, hemos hablado sobre el transporte y fija-

ción del uranio que, siguiendo un orden, lo hemos iniciado desde aquellos puntos en donde las concentraciones del elemento uranio son de valores suficientes para representar anomalías geoquímicas mayores.

La partida de un elemento para cumplir su ciclo se traduce en dispersión y tendrá un gradiente, que será decreciente a partir de aquel centro anómalo. Esta degradación dará lugar a la formación de los halos o aureolas que constituyen las figuras llamadas de dispersión.

Son estas figuras las que tratamos de establecer, graficar e interpretar en cualquier trabajo cuyo objetivo sea la localización de yacimientos por intermedio de sistemas metalométricos o, prospección geoquímica.

El concepto de halos de dispersión, base de todos los métodos de prospección geoquímica es, tal como lo expresa A.Saukov (1960: "la tendencia a la nivelación de los potenciales químicos, en consecuencia, la migración de los elementos desde los puntos de mayor concentración, hacia los de menor concentración").

En general conocemos que todos los yacimientos producen en su zona de influencia, registros elevados de los elementos en él concentrados que decrecen a medida que nos alejamos de ellos. en una palabra, los elementos se dispersan. Estas dispersiones se producen en todos los materiales de las cercanías inmediatas o mediatas, con mayor o menor acentuamiento, relacionado al grado de movilidad de ellos; estos materiales son suelos, aluviones, aguas, vegetales, etc.

Los yacimientos uraníferos, sin importar las distintas condiciones físicas, geográficas o geológicas en que se encuentren, están acompañados de sus respectivos halos o aureolas de dispersión secundaria ya sean de origen químico o mecánico, que en general se destacan claramente del fondo

local o regional.

Hemos hecho mención de aureolas o dispersiones secundarias, y es porque en realidad, existen dos tipos de dispersión; las primarias y éstas ya mencionadas. Las dispersiones primarias tienen origen en el momento de la mineralización, es decir, forman parte del proceso metalogénético original. Estos halos son complejos y no solo están determinados por los valores decrecientes de uno o de varios elementos que comprenden las menas metalíferas, diseminados en las rocas huéspedes, sino en forma general, a los procesos bien conocidos por todos los geólogos tales como silicificación, caolinización, sericitización, greisenización, propilitización, turmalinización, etc., que constituyen halos o zonas de alteración provocadas por la acción de agentes de origen profundo, hidrotermales, etc., tan buscados para la localización de yacimientos importantes, sean de cobre, plomo, cinc, mercurio, etc.

Las formas secundarias se producen a posteriori, por efectos de la alteración, por meteorización del cuerpo original, seguido del lavado y transporte por los agentes de erosión.

Las formas clásicas de las aureolas de dispersión secundaria son: halos, abanicos y regueros. Estas formas y sus amplitudes son consecuencia de factores topográficos, climáticos y sobre todo, de la movilidad de los elementos involucrados en el proceso. La extensión de las aureolas puede ser varias veces superior a la extensión de los afloramientos naturales de la mineralización. Esta observación es muy importante y debe ser tomada en cuenta en el trazado de las mallas de prospección, sobre todo en las etapas de prospección detallada y táctica.

Según lo establecen Grammakov y otros, el ancho de una aureola en un perfil transversal a un filón mineralizado, con un espesor de centímetros hasta 2 metros y con una cobertura de uno hasta cinco metros, oscila entre 10-15 a 20-40 metros respectivamente.

Las aureolas pueden estar in situ ó desplazadas; en el segundo caso el desplazamiento será directamente proporcional al espesor de la cobertura y a la pendiente topográfica. Al mismo tiempo una aureola puede aflorar o no en superficie; en este último caso ello puede ser debido a lixiviación hacia profundidad, o cubierta por sedimentos recientes.

Estos son los problemas que deberá afrontar y resolver el prospector geoquímico, realizando estudios preliminares para establecer una profundidad clave que le permitirá detectar las formas de dispersión, provocadas por los cuerpos mineralizados y nó, las formas falsas producidas por una interacción orgánico-pedológica.

Las formas más extensas de dispersión son dadas por las aguas superficiales y por los aluviones en íntima relación entre sí y de acuerdo al sistema hidrográfico que drena las regiones mineralizadas.

Las figuras provocadas en los aluviones son muy importantes para la prospección de regiones áridas y no bien conocidas desde el punto de vista geológico, aprovechándose sus extensiones a veces considerables, desde cientos de metros hasta varios kilómetros. En los casos en que se utilice este tipo de dispersión la explotación de las mismas se hará a través de un muestreo abierto sobre el sistema de drenaje, acompañado de un estudio sistemático de la red hidrográfica.

Estas dispersiones direccionales, llamadas de regueros, en algunos casos pueden dar valores analíticos saltuarios,

bastante bruscos por cuanto ellas pueden ser el producto de un proceso mecánico y químico ensamblado.

La dispersión mecánica no tiene mayor aplicación en la prospección geoquímica para uranio, por cuanto no es de gran extensión localizándose en los alrededores de los propios yacimientos; en el caso de un alejamiento pronunciado, ésta dispersión puede presentarse de acuerdo a lo siguiente:

- a) Contenido bajo de uranio en los aluviones (desde milésimas hasta centésimas por ciento) que disminuye rápidamente en el sentido de la corriente.
- b) Las concentraciones máximas se encuentran en los puntos ipsométricamente más bajos de los valles o cauces de ríos y/o arroyos.
- c) El espesor mayor del sedimento enriquecido se encuentra en la parte superior del aluvión, cerca de los yacimientos.
- d) El uranio se distribuye de una manera uniforme, entre las diversas fracciones del aluvión: 0,25 a 0,5 mm., 0,5 a 1 mm. y 1 mm. a 3 mm. Puede llegar a predominar en la fracción 1 a 3 mm. en la parte superior del valle o bien, en la fracción menor de 0,5 milímetros en los puntos más alejados aguas abajo, por destrucción mecánica de los granos.

En cuanto al predominio de la dispersión química se observa:

- a) Contenido de uranio en general superior a los de origen mecánico: 0,03 a 0,07 % y más.
- b) El contenido mayor de uranio coincide con los terrenos en donde existe mayor proporción de

materia orgánica.

- c) Los valores principales en partes por millón (p.p.m. en lo sucesivo), se corresponden con las fracciones más finas de los aluviones.
- d) El nacimiento de las anomalías puede coincidir con las vertientes de aguas.

Es sumamente conveniente realizar estudios previos para determinar en que material se produce la mayor dispersión, con el objeto de adaptar las técnicas operativas y los métodos analíticos; antes de iniciar la prospección de gran cobertura o estratégica.

SEGUNDA PARTE: GEOQUÍMICA APLICADA A LA PROSPECCION

La detección de cantidades anormales de metales presentes en suelos, aluviones, vegetales y aguas naturales, alcanzó interés en los últimos 40 años, como métodos de exploración regular para el descubrimiento de yacimientos minerales ocultos o no. Este rápido desarrollo se debe a los conocimientos adquiridos por la geoquímica sobre los hábitos de los elementos menores o raros; este avance se debe igualmente al mejoramiento, a la simplificación de las técnicas analíticas sean colorimétricas, cromatográficas, espectrométricas, etc.

Muralami y otros (1958) señalan que la geoquímica, como cualquier otro método o técnica de prospección, necesita el conocimiento casi exacto del objetivo perseguido; se debe conocer el problema tipo que, extendido regionalmente permita adoptar o adaptar las técnicas para la solución de los problemas en relación a las condiciones geológicas, climáticas, y topográficas de la región. Ello permitirá la selección de material que será el vínculo que nos permitirá arriar a los depósitos mineralizados. Estos materiales son los diversos elementos naturales puestos a nuestro alcance y que ya mencionamos anteriormente.

Ampliando aún el campo de acción de la prospección geoquímica, E. Turlow señala, que esta técnica puede incluir cualquier método de exploración minera, basados en mediciones sistemáticas sobre los materiales enumerados anteriormente (según éllo, debe incluirse radimetría, emanometría, etc.); en realidad ésta es una definición de orden general por cuanto la única propiedad ampliamente utilizada es la metalometría, es decir las cantidades en trazas de un metal o grupo de metales, que se presentan en los materiales muestreados; estas

mediciones se realizan en laboratorios fijos o móviles, o, con pequeños equipos que acompañan al prospector.

La existencia de estos diferentes tipos de laboratorios, que indican en la medida en que se han mejorado o simplificado las técnicas analíticas, permiten al propio muestreador o prospector la realización de los primeros ensayos, indicadores por cierto, que le permitirán cambiar la dirección de su trabajo cuando los resultados así lo aconsejan. Los apoyos básicos y los análisis rutinarios serán realizados en laboratorios móviles y fijos, equipados para efectuar las comprobaciones mediante métodos más completos, más seguros, cuyos resultados integrarán el conjunto de datos necesarios a la interpretación.

Hasta el presente, el esfuerzo mayor de la prospección geoquímica se concentra en el desarrollo y en el uso de métodos de cobertura regional, los denominados estratégicos, para determinar regiones favorables, circunscribir provincias geoquímicas con el objeto de establecer un objetivo mayor: saber qué elementos se buscarán y cómo se realizará la prospección. El principio de este planteo es reducir el costo de la exploración mediante la limitación de las áreas-problema.

La técnica geoquímica persigue su objetivo a través de tres parámetros bien definidos: rapidez- seguridad- economía. Por esta razón al utilizarla como técnica explorativa se requiere un ordenamiento lógico en sus distintas etapas, como ser:

- a) determinación de un objetivo de partida en base al estudio de toda información existente;
- b) estudios preliminares para la selección del material a utilizarse;
- c) muestreo, preparación de muestras;

d) análisis e interpretación de resultados.

Esta última etapa es la más delicada debiendo estar a cargo de técnicos experimentados en la exploración minera, por cuanto ella es y seguirá siendo por mucho tiempo aún, completamente empírica.

I. PROGRAMACION DE TRABAJOS

En vista de que la función de la prospección geoquímica es abrir áreas nuevas, determinar regiones o zonas favorables a la búsqueda de uno o varios elementos, será de capital importancia que esta exploración preceda y avance más rápidamente que las investigaciones generales clásicas, debiéndose utilizar medios de transporte rápidos, a fin de complimentar una etapa previa de muestreo sobre puntos estratégicamente elegidos en base a las fotografías aéreas o, cartas topográficas-geológicas.

Este muestreo convenientemente realizado permitirá apoyar, la selección de áreas que surjan de una posible interpretación fotogeológica. No debemos olvidar que previa a toda exploración geoquímica deben existir las investigaciones preliminares sobre áreas con concentraciones metalíferas conocidas, cuyos resultados nos permitirán adecuar nuestro trabajo, sea por la elección del método, sea para establecer la malla que deberá utilizarse y sobre todo, elegir el material sobre el cual basaremos la primera fase o estratégica.

Un programa de prospección deberá trazarse sobre cuatro puntos fundamentales:

- 1) Elección correcta del material a muestrearse, en base a la información preliminar.
- 2) Elección correcta de la malla en que deberá hacerse el muestreo, en estrecha relación a la escala de los problemas presentados.

- 3) El mayor conocimiento posible sobre las características geológicas del territorio en estudio; las prospecciones en cualquier escala en que sean realizadas deben estar acompañadas de un estudio del cuadro geológico.
- 4) Integración correcta con otros métodos de prospección, de acuerdo al costo de cada uno y en relación a su escala de aplicación.

El encuadre de estos cuatro puntos dependerá del tipo de prospección que se ajustará a la extensión del sector en exploración, los tipos de prospección geoquímica son:

- 1) Prospección estratégica, cuya escala de trabajo es de 1/50.000 aproximadamente. El material a utilizar puede ser: agua, aluvión, vegetales, restos glaciales y rocas, raramente suelos.
- 2) Prospección detallada que es prácticamente una densificación de la anterior para la comprobación de resultados y mayor delimitación de áreas favorables resultantes de la prospección anterior; su escala máxima es 1/20.000.
- 3) Prospección táctica cuyo objetivo es determinar la razón de las anomalías ya obtenidas tratándose de descubrir los cuerpos anómalos. Su escala máxima es de 1/5.000; los materiales a muestrearse serán suelos y vegetales principalmente, pudiendo intervenir aguas de pozos o perforaciones existentes.

Es obvio destacar que la eficacia de los diferentes tipos de prospección estará en estrecha relación con el denominador de la escala; cuanto mayor sea el denominador menor será la seguridad de detectar todos los indicios o anomalías en el territorio cubierto.

La prospección geoquímica, como cualquier otra técnica de prospección, no puede ser sobre ni subestimada por cuanto sabemos que las posibilidades de cualquier técnica de prospección están limitadas por numerosos factores. Por ello todos los resultados deben ser integrados entre sí, y con el de las otras técnicas, apoyándose en planos geológicos apropiados para el tipo y la escala de prospección.

De esta manera, la prospección estratégica será complementada y complementará por ejemplo un relevamiento aéreo geofísico (radimetría, aeromagnetismo o aerelectromagnetismo), o fotointerpretación.

La prospección detallada acompañará a la radimetría terrestre o al levantamiento a martillo y a la fotointerpretación.

La prospección táctica será acompañada o acompañará a la radimetría de detalle, geofísica, perfilajes geológicos, sondajes, etc.

La programación de los trabajos deberá permitir, no solamente la ubicación correcta de las anomalías, sino también su ulterior correlación con cualquier accidente geológico, sean cuerpos anómalos, estructuras, cambios formacionales, litofacies, etc.

En general la prospección en superficies de gran extensión (10.000 a 100.000 Km² o más) será realizada de tal manera que, esa superficie deberá quedar cubierta en su totalidad. Las perspectivas ofrecidas por aquel territorio serán determinadas no solamente por prospecciones geoquímicas, radimétricas, sino también por las consideraciones de orden geológicos.

En las distintas etapas de prospección geoquímica pueden utilizarse medios directos e indirectos; los que usamos mayormente en el caso del uranio son los primeros, por cuanto

realizamos el estudio sobre el contenido de uranio en los distintos materiales muestreados. Los métodos indirectos consisten generalmente en el análisis de algunos elementos considerados como trazadores o de otros, los cuales están asociados al elemento principal en las distintas concentraciones conocidas; ellos no son considerados trazadores sino acompañantes. Un ejemplo claro de prospección indirecta para el uranio lo dan las prospecciones realizadas en Japón, efectuándose análisis por iones de cinc y fosfatos mediante laboratorios móviles; este método fué considerado útil para la localización de mineralizaciones de uranio, por cuanto los ensayos previos en áreas conocidas, directamente por uranio e indirectamente por estos dos iones, demostraron estadísticamente, una coincidencia casi exacta.

Otro ejemplo de casos indirectos son los geobotánicos, ampliamente utilizados en los EE.UU. de Norteamérica en donde algunas prospecciones están basadas en la presencia del *Astragalus* sp, especies que se desarrollan en suelos ricos en selenio. Como el selenio está siempre presente en los yacimientos de uranio, la presencia del primero señala la existencia de concentraciones del segundo.

En conclusión el establecimiento de un programa de prospección dependerá en gran parte de las informaciones preliminares cuyo objeto será establecer, en la mejor forma posible, el grado y la manera en que los elementos buscados, se dispersan. En mi opinión los resultados de esta información preliminar no pueden ser concluyentes ni excluyentes, por cuanto los elementos que de alguna manera se han concentrado, de alguna forma se dispersan; se tratará en lo posible realizar estudios sistenáticos y simultáneos de las características geológicas, físicas y químicas del territorio "sospechoso", de las condiciones mineralógicas de los yaci-

mientos que existan y de las rocas de la región.

II. PROSPECCION GEOQUIMICA ESTRATEGICA

Estudios preliminares llevados a cabo en numerosos yacimientos uraníferos en el mundo han permitido comprobar que:

- 1) La existencia de una concentración uranífera importante o no, provoca en los suelos, en sentido amplio, la existencia de valores en uranio superiores a los normales aún en los casos en que las prospecciones radimétricas nada señalen.
- 2) Provocan en las aguas que drenan los sectores anómalos mencionados, un contenido en uranio superior al normal, que va degradándose a medida que se aleja de esos centros de contaminación.
- 3) Las aguas, por fenómenos físicos y químicos van provocando un enriquecimiento en los sedimentos por ellos producidos, los aluviones; este enriquecimiento se opera en las fracciones finas o en aquellas de mayor contenido en materia orgánica.
- 4) La determinación directa del uranio da una seguridad mayor que la obtenida por la medición de las radiaciones, que según los tipos, pueden ser emitidas por diversos elementos radiactivos diferentes del uranio.

El punto 1), en gran escala, es de muy poca proyección en superficie, por lo tanto no puede ser empleado salvo excepciones, en prospección a gran malla o malla abierta o estratégica. Los puntos 2) y 3) son de gran proyección superficial, por lo tanto pueden ser aplicados en las prospecciones estratégicas.

La prospección estratégica trata de circunscribir zonas susceptibles de encerrar yacimientos metalíferos, me-

dante la estimación de los valores de fondo geoquímico con el fin de ubicar, en gran escala, regiones netamente más mineralizadas que otras, con mejores posibilidades metalíferas.

En el caso de decisión por aguas y/o aluviones, el trabajo se programará tomándose como base la red hidrográfica de la región, programándose la toma de muestras en lugares predeterminados, según las cartas topográficas-geológicas, o mejor aún, si son disponibles, los mosaicos aerofotográficos en escala 1/50.000.

Este muestreo tenderá a separar, es decir, independizar los integrantes de las redes de drenaje para seguir en caso de detectarse anomalías. los cursos que aportaron los elementos que dieron esos valores elevados. El distanciamiento de las muestras surgirá de las informaciones preliminares, pero en el caso del uranio generalmente se acepta una muestra cada kilómetro. Se entiende que deberán existir muestras intermedias, cuando entre los puntos de muestreo se produzcan bifurcaciones (en sentido contrario a la corriente) de los cursos de agua, en este caso las muestras deberán tomarse aguas arriba de las desembocaduras y sobre cada una de las bifurcaciones.

En zonas de topografía abrupta se densificarán las tomas de muestras tendiéndose a circunscribir sectores, como si se realizara una prospección detallada. La distribución correcta de las muestras permitirá controlar contactos, estructuras, zonas de alteración, bordes de cuencas sedimentarias, etc.

Un aspecto sumamente importante de la aplicación de la prospección de tipo estratégica es seleccionar áreas, dando posibilidad a la concentración de los esfuerzos en sectores pequeños, significando en definitiva el aprovechamiento al máximo de otras técnicas de aplicación costosa.

En Francia, Japón, Italia, Rusia, etc. se han realizado prospecciones mediante agua con resultados muy interesantes; la densidad de muestreo varía fundamentalmente de un lugar a otro, en Japón se obtiene una muestra cada 20 metros a lo largo de arroyos de corto recorrido. De 30 a 50 muestras se consideran suficientes para dar por explorado un determinado curso de agua, ello indica el corto recorrido de los arroyos, por otra parte se trataría de una prospección detallada. En Francia se aconseja muestrear entre 200 metros a 1 kilómetro.

Se han realizado programas de prospección mediante aguas de pozos, pero sus resultados parecen ser bastante erráticos y dudosos, de todas maneras, para efectuar una campaña regular se deberá contar con unidades (pozos) suficientes para darse por cubierto el sector o el área bajo estudio.

El uso de los aluviones como material de muestreo y análisis puede considerarse una base muy efectiva para el estudio de las figuras de dispersión direccionales o regueros provocadas por el uranio; tal vez sea el mejor testimonio sobre todo para aquellas regiones de condiciones climáticas áridas o semiáridas, en donde el único material verdaderamente representativo son justamente los aluviones.

La importancia adquirida por este material queda demostrado por el hecho de que, es justamente en las regiones de climas áridos o semiáridos en donde se localizan hasta ahora, el mayor número de yacimientos de uranio. Son por lo tanto áreas propicias para la realización de grandes programas de prospección.

Los suelos también constituyen materiales importantes en la prospección estratégica de gran cobertura por ejemplo, muestras tomadas cada kilómetro a lo largo de carreteras, senderos, etc.; he visto este tipo de trabajo en África. Un incon-

conveniente serio es que esas muestras solo pueden representar el contenido de algunos metros cuadrados alrededor del punto muestreado; además a veces es difícil saber si esas cubiertas son autóctonas o alóctonas. Por otra parte, será difícil obtener estas muestras en sectores desnudos; el muestreo de suelo será importante en el caso de que ellos sean homogéneos y cubran grandes sectores, que sean originados in situ o bien, de larga permanencia. en caso de ser alóctonos, para permitir la migración de los elementos que se encuentran en el infrayacente, por efectos de capilaridad.

El trabajo mencionado en Africa, tenía por objeto, además de constituir un programa regular en la exploración por cobre, investigar los procesos de dispersión en los suelos de tipos lateríticos.

Las rocas no han sido utilizadas aún en forma sistemática, ellas pueden ser de interés para la evaluación preliminar de formaciones geológicas, en busca de tenores anormales que conduzcan a seleccionar o circunscribir formaciones preferenciales.

La utilización de plantas en las prospecciones regionales serán de aplicación solo cuando determinadas especies formen la cubierta vegetal regional caso de los países nórdicos, Rusia, Canadá y también en Japón, donde se han realizado exploraciones combinadas con estudios sobre aguas, los que parecen ser de gran aplicación en ese país, en razón de las condiciones geográficas y climáticas del mismo; en este país así como en Francia metropolitana, la aplicación de la radiometría aérea no parece haber dado resultados satisfactorios.

Como corolario y para cerrar el apartado correspondiente a prospección estratégica, diremos que su función específica es:

- 1) El descubrimiento de indicios.
- 2) Poner en evidencia las provincias geoquímicas.
- 3) Permitir la selección de áreas favorables.

Los resultados de su aplicación en nuestro país serán dados a conocer por el Dr. Angel M. Santomero, quien continuará con el tema Prospección Geoquímica, mediante el uso de las técnicas detalladas y táctica.

B I B L I O G R A F I A

- /1/ - ABBAYE DE ROYAUMONT, 1959, Colloque sur la Prospection Géochimique.
- /2/ - AHRENS, L.H., 1954, The lognormal distribution of the elements. Geochim. et Cosmochim. Acta N° 5- 49-53.
- /3/ - CANNON H., 1957, Description of indicator plants and methods of botanical prospecting for uranium deposits on the Colorado Plateau. US geol.Surv.Bull.1030 M.
- /4/ - CARRCL D., 1959, Ion exchange in clays and others minerals. Bull.Geol.Soc.Am. V70 N° 6.
- /5/ - COULOMB R., GOLDSTEIN K., 1956, Prospection géochimique de l'uranium. Rev. Ind.Minérale, N.Espe.I.R. (Enero 1956).
- /6/ - COULOMB R., 1957, Prospection Géochimique en Guyane. Bull.Inf.Sci. et Techn. C.E.A. N° 6 Paris.
- /7/ - COULOMB R., 1958, Radiactivité du batholite d'Elbema (Hoggar) Bull.Soc.Trang.Min.Crist. LXXX. 1 (227-231).
- /8/ - COULOMB R., 1954, Contribution a la géochimie de l'uranium dans le granites intrusif. Rapport C.E.A. 1173 Centre d'Etudes Nucleaires de Saclay.
- /9/ - COULOMB R., 1960, Les methodes géochimiques dans la recherche de gisements. Energie Nucleaire V2 N° 1.
- /10/ - CHEVRET J., COULOMB R., 1958, Geochemical behavior of uranium in the alteration cycle. United Nations. Geneve.
- /11/ - DALL'AGLIO M., MARIANELLI G., TONANI F., 1959, Un esempio introduttivo all'utilizzazioni dei criteri geochemici nella ricerca di mineralizzazioni uranifere nelli Alpi. Stud. e Richer. Div. Geom. VII Roma.
- /12/ - DALL'AGLIO M., TONANI F., 1960, Metodi di prospezioni idrogeochimica. Stud.Richerc.Div.Geom. VIII. Roma.
DALL'AGLIO M., TONANI F., 1960, L'analisi chimica della

acque naturali come mezzo d'indagine geochimica. Stud. Rich.Div.Geom. VIII Roma.

- /13/ - DAVIDSON F.C., 1957, On the Occurrence of Uranium in Ancient Conglomerates, Econ.Geol. 52 N° 6 Sep. Oct. 1957.
- /14/ - DELAFOSSÉ R., 1964, Les formations lateritiques et les bauxites. Assist. Techniq. ONU (no publicado).
- /15/ - EVERHART D.L., 1958, Summary of unsolved problems and new trends in uranium geology. United Nations. Geneve.
- /16/ - FERSMAN A.E., 1953, Oeuvres Choisies, Edit.Acad.des Ciencias URSS. Moscou, T II 1953 (Trad. al francés).
- /17/ - FUENTE DE LA, L.R., 1962, La geoquímica y su aplicación a la búsqueda de yacimientos de uranio. Bol.Inf. C.N.E.A. Año VI N° 1, Buenos Aires.
- /18/ - FUENTE DE LA, L.R., 1965, Prospección geoquímica táctica en Sañogasta (La Rioja), Actas Geol.Lilloanas, TV pp 35-45, Tucumán.
- /19/- GANGLOFF A.M., COLLIN C.R., GRIMBERT R., SANSELME H., 1958, Application of geophysical and geochemical methods to the search for uranium. United Nations. Geneve.
- /20/ - GERMANOV A.J., BATULIN S.G., VOLKOV G.A., LISTSIN A.K. and SEREBRENNIKOV, 1958, Some regularities of uranium distribution in underground waters. United Nations. Geneve.
- /21/ - GOLDSTEIN M., 1957, Prospection géobotanique de l'uranium des l'Esterel. Bull.Soc.Franc.de Mineral. et Cristal. LXXX 318-324.
- /22/ - GRAMMAKOV A.G., KVASHNERSKAYA N.V., NIKONOV A.I., SOKOLOV M.M., SOCHEVANOV N.N., SOPPE S.A., TAFEYEV G.P., 1958, Some Theoretical and methodical problems of radiometric prospecting and survey. United Nations. Geneve.

- /23/ - GRIMBERT A., 1956, Sur l'origine des impregnations uranifères des schistes houillers de Saint Hippolyte (Haute-Rhin) Bull.Soc.Geol.de France- 6° serie T VI.
- /24/ - GRIMBERT A., 1957, Application de techniques géochimiques de prospection á la recherche et á l'étude des gites uranifères en France Metropolitaine, Note C.E.A. 188. Centre d'Etudes Nucleaires de Saclay.
- /25/ - GRIMBERT A., BERTHOLLET P., 1959, Revue des techniques analytiques utilisées dans la prospections hidrogeóchimique de l'uranium, Rapport C.E.A. 1203. Centre d'Etude Nucleaire de Saclay.
- /26/ - GRIMBERT A., OBELLIANNE J.M., 1962, Essais de prospection géochimique de l'uranium en pays aride, Rapport 2219. Commissariat a l'Energie Atomique, Fontenay-aux-Roses.
- /27/ - GRIMBERT A., La prospection géoquimice de l'uranium. Application aux zones intertropicals forestières. C.E.A. Fontenay-aux-Roses (circ.interna).
- /28/ - GRIMBERT A., 1962, Les laboratoire de terrain in prospection géochimique cas de l'uranium, Mines et Met. N° 10.
- /29/ - GRUNER J.W., 1956, Concentration of Uranium in sediments by multiple migration-accretion- Econ.Geol. V.51 495-520.
- /30/ - HAWKES E.A., WEBB J.S., 1962, Geochemistry in Mineral Exploration. Harper y Row, New York.
- /31/ - ILLSLEY C.T., BILLS C.W. and POLLOCK J.W., 1958, Some Geochemical Methods of Uranium Exploration. United Nations. Geneve.
- /32/ - ILLSLEY C.T., KINNAMAN R.L., 1959, Mobile and portable units for geochemical explorations for uranium. Memmo-randum office US Gov. USA. RME. 131.
- /33/ - INGERSON E., 1960, Estudios fundamentales de ls sub-

división geoquímica y petrología de US Geological Survey en apoyo de la política nacional de los EE.UU. sobre minerales. Symposium de Exploración Geoquímica. Tomo III del XX Congreso Geológico Internacional, Mexico.

- /34/ - JEDWAB J., 1958, Adaptation of paper chromatography to geochemical prospecting for uranium deposits of the Katanga type, United Nations, Geneve.
- /35/ - KERSELLA F., 1959. Les gisements uranifères dans les formations sédimentaires en France e dans l'Union français- Rapport C.E.A.. 911- Centre d'Etudes Nucleai res de Saclay.
- /36/ - KRATCHMAN J., 1956. Regional exploration criteria for uranium. United Nations. Geneve.
- /37/ - LARSEN (jr.) E.S., PHAIR G., GOTTFRIED D., SMITH W.S., 1956, Uranium in magmatic differentiation. United Nations, New York.
- /38/ - LECOQ J.J., BIGOTTE G., HINAULT J., LECONTE J.R., 1958, Prospecting for uranium and thorium minerals in the desert countries and in the Ecuatorial forets regions of the French Union. United Nations. Geneve.
- /39/ - LENOBLE A., 1959, La recherche de l'uranium, l'evolutions de méthodes. Ind.Minérale Vol.41 N° 10, France.
- /40/ - LOVERING T.S., CANNEY P.C., LAKIN H.W., WARD F.N., 1956, The use of geochemical techniques and methods in prospecting for uranium. United Nations. New York.
- /41/ - LOVERING T.S., 1959, Significance of accumulator plants in rock weathering. Bull.Geol.Soc.of Am. V 70 N° 6.
- /42/ - MARTIN J., 1962, Fixation et transport du l'uranium par les substantes humiques. Rapport 2141. Commissariat a l'Energie Atomique. Fontenay-aux-Roses.
- /43/ - MCKELVEY V.E., EVERHART P.L., GARRELS R.M., Survey of

- hypotheses of genesis of uranium deposits, geology of atomic raw materials. United Nations. New York.
- /44/ - MINGARRO E., CATALINA F., 1958, The chemical process of alteration of primary uranium ores and the electron microscopic study of these ores. United Nations. Geneve.
- /45/ - MURAKAMI I., FUJIWERA S., SATO M., OHASHI S., 1958, Chemical prospecting of uranium deposits in Japan, United Nations. Geneve.
- /46/ - PAGE R.L., 1958, Some new mineralogical, geochemical and geological aids in uranium exploration. United Nations. Geneve.
- /47/ - RAFALSKY R.P., 1958, The experimental investigation of the conditions of uranium transport and deposition by hidrothermal solutions. United Nations. Geneve.
- /48/ - RANDAMA K., SAHAMA TH. 1962, Geoquímica. Ed. Aguilar Málaga.
- /49/ - ROZHKOVA E.V., RASUMNAYA E.G., SEREBRYAKOVA M.B., SHEBERBACK O.V., 1958, The role of sorption in the process of uranium concentration in sedimentary rocks. United Nations. Geneve.
- /50/ - SAUKOV A.N., 1960, Migration of chemical elements as a theoretical bases of geochemical search methods. XXI International Geological Congress.
- /51/ - SEN B.C., 1960, Studies on the adsorption of humic acid on H-clays and the rol of metal cations in humus adsorption. Journ. Indian Chem. Soc. Vol. 37 N° 12.
- /52/ - SHCHERBINA W.V., 1958, Geochemistry of uranium in the oxidation zone of ore deposits on the basis of experimental study data. United Nations. Geneve.
- /53/ - STATON R.E., 1966, Rapid Methods of trace analysis for geochemical application. Adward Arnold, London.

- /54/ - SZALAY A., 1958, The significance of humus in the geochemical enrichment of uranium, United Nations. Geneve.
- /55/ - VINE J.D., SWANSON V.E., BELL K.G., 1958, The role of humic acids in the geochemistry of uranium. United Nations. Geneve.
- /56/ - WHITEHEAD N., BROOKS R., 1969, A comparative evaluation of scintillometric, geochemical and biogeochemical methods of prospecting for uranium. Econ.Geol.Vol. 64 (50-56).

I N D I C E

PRIMERA PARTE: GENERALIDADES

I.	INTRODUCCION.....	pág.	1
II.	GENERALIDADES SOBRE EL CICLO GEOQUIMICO MAYOR O GEOLOGICO.....	"	4
	1. Ciclo geoquímico del uranio.....	"	9
	2. Uranio en el ciclo de alteración.....	"	12
	3. Uranio en solución.....	"	18
III.	ACCION Y SIGNIFICADO DE LA MATERIA ORGANICA	"	23
IV.	URANIO EN ROCAS SEDIMENTARIAS.....	"	25
V	FENOMENOS DE DISPERSION.....	"	28

SEGUNDA PARTE: GEOQUIMICA APLICADA A LA

PROSECCION

I.	PROGRAMACION DE TRABAJOS.....	"	36
II.	PROSECCION GEOQUIMICA ESTRATEGICA.....	"	40
	BIBLIOGRAFIA.....	"	45

TABLA N° 1 - Comparación de métodos de Prospección por Uranio (Por J. WHITEHEAD y R. BROCKS, 1969)

Material estudiado	SUELOS				VEGETALES		ALUVIONES	AGUAS DE RIOS	TERRENOS GENERALES
	Actividad α	Actividad β	Scintillometría γ	Fluorimetría	α	β			
Consideraciones generales sobre el material	Fácil de muestrear excepto en áreas de vegetación densa. No debe necesariamente señalar presencia de uranio si existe una sobrecarga estéril. Más difícil de analizar que los vegetales si las muestras deben disolverse.								
Método utilizado	Actividad α	Actividad β	Scintillometría γ	Fluorimetría	α	β	Fluorimetría	Fluorimetría	Scintillometría aérea y
Ventajas	Rápidez y economía	Idem, más sensible que el recuento α	Mediciones in situ más rápidas que α y β	Exacto para concentraciones de uranio	Idem para suelos	Idem para suelos	Idem para suelos	Idem para suelos	Rápida y económica por unidad de medida.
Desventajas	No siempre indicada uranio	Inexacto a baja radiación debido al 40K. No indica uranio.	No indica uranio, solo indica descendientes como Ra.	Más lento que la medición a operador, pero más rápido para el proceso analítico.	Idem para suelos	Muy inexacto a baja radiactividad debido al alto contenido de 40K en las plantas.	Idem para suelos	Baja exactitud por las cantidades de uranio cercanas al límite del método.	Puede no detectarse por efecto de masa. Necesita apoyo terrestre.
Apreciación total del método	Excelente	Pobre	Aceptable	Excelente	Bueno	Pobre	Pobre	Aceptable	Excelente.

EL CICLO GEOQUÍMICO

(Según H. HAWKES, 1957)

