

# **METODOLOGIA PARA LA EXPLORACION DE URANIO**



**ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA**

# **METODOLOGIA PARA LA EXPLORACION DE URANIO**

**ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA**

Serie: Documentos Olade N° 13

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1. Introducción.....	5
2. Características generales del uranio.....	9
3. Ocurrencia geológica del uranio. Tipos de depósitos y ambientes geológicos en America Latina.....	13
4. Técnicas de prospección y exploración del uranio.....	17
5. Metodología para la exploración del uranio.....	27
6. Capacitación de recursos humanos.....	35
7. Anexos.....	39

# 1. INTRODUCCION

## INTRODUCCION

La Secretaría Permanente de la OLADE, continuando con su programa de formulación de metodologías básicas en las diversas actividades del sector energético, como herramienta indispensable de cooperación de la región, presenta la metodología de exploración de uranio. Su elaboración, bajo la coordinación de la Secretaría Permanente de la OLADE, estuvo a cargo de distinguidos y relevantes geólogos y geofísicos, expertos en la exploración de uranio, que conformaron el grupo de trabajo de la OLADE en esta materia. En el anexo C se presenta la lista de los miembros del grupo de trabajo y sus respectivos países de origen.

La secretaría Permanente de la OLADE, consciente de que el uranio es un recurso potencial de gran significación en el futuro energético de América Latina, ha querido, con el presente trabajo, reevidar la importancia de los esfuerzos que a la fecha han realizado y realizan nuestros países, aprovechando la valiosa experiencia, acumulada y transmitida por los mejores expertos de la región en esta metodología que esperamos sea una herramienta útil para una sistemática exploración del uranio y que la OLADE logre cumplir con su papel coordinador y promotor en esta actividad, dándole así a nuestros países una posibilidad más real al desarrollo independiente en este estratégico recurso energético.

El presente trabajo será sometido a un análisis más amplio durante un seminario latinoamericano sobre exploración de uranio que deberá convocarse en el transcurso de 1982, y en el cual se invitarán a expertos de países de nuestra región y fuera de ella, así como, también a la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), como máximo organismo mundial en el campo nuclear.

## 2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL URANIO

El uranio es uno de los más importantes elementos radiactivos que puede proporcionar abundante energía a costos relativamente competitivos. Un elemento radiactivo significa que espontáneamente su núcleo se desintegra emitiendo radiaciones y/o partículas para convertirse en otro que a su vez puede ser radiactivo o estable. La desintegración puede provocarse en condiciones controladas y libera grandes cantidades de energía aprovechable.

El uranio es un elemento radiactivo con número atómico 92 y peso atómico 238 en su isótopo más abundante (\*).

En el caso del uranio existen tres isótopos importantes: U 238, U 235 y U 234. El de más interés es el U 235 ya que es el único desintegrable en condiciones controladas. Sin embargo es poco abundante ya que un Kilo de uranio sólo contiene aproximadamente 7.0 gramos de U 235. El isótopo U 234 es todavía menos abundante.

El uranio se presenta en dos estados de oxidación y forman diferentes minerales. Los compuestos que se forman como uranio hexavalente son fácilmente solubles y, por lo tanto, lo más ampliamente distribuidos. Los minerales comunes del uranio son:

Oxidos:	Uraninita y pechblenda
Oxidos hidratados:	Becquerelita y gummita
Oxidos complejos:	Brannerita y davidita
Fosfatos:	Autunita y torbenita
Vanadatos:	Carnotita y tyuyamunita
Silicatos:	Coffinita y urofano

El uranio económicamente explotable se encuentra normalmente como Pechblenda, uraninita, coffinita, carnotita, torbenita y tyuyamunita.

(\*) Los isótopos son elementos con el mismo número atómico pero diferente peso.

**3. OCURRENCIA GEOLOGICA DEL  
URANIO.  
TIPOS DE DEPOSITOS Y AMBIENTES  
GEOLOGICOS EN AMERICA LATINA.**



El uranio es un elemento litófilo, es decir, se concentra preferentemente en rocas silicatadas de la corteza terrestre. En el estado hexavalente, forma el ión uranilo, el cual es altamente soluble en aguas meteóricas, movilizándose hasta que precipita al encontrar ambientes reductores o la presencia de los iones fosfato, vanadato, arseniato, molibdato, silicato, etc., muy comunes en rocas sedimentarias.

En general, el uranio se encuentra en tres tipos de rocas principales:

- Rocas ígneas: los depósitos de uranio ocurren en rocas intrusivas y extrusivas ácidas y alcalinas, pegmatitas, alaskitas, etc.
- Rocas sedimentarias: el uranio se presenta en conglomerados, areniscas, calizas, lutitas, fosforitas y depósitos aluviales.
- Rocas metamórficas: puede encontrarse en cuarcitas, conglomerados, gneises, esquisitos y filitas.

Los depósitos de uranio pueden ser de origen singenético o epigenético.

Los mayores depósitos de uranio del mundo corresponden a metaconglomerados del precámbrico y areniscas del Mesozoico-Cenozoico, siguiéndoles en importancia los depósitos hidrotermales e intramagmáticos.

La mayoría de estos ambientes han sido identificados en América Latina, sin embargo, es importante considerar otros modelos diferentes a los mencionados anteriormente.

- Los expertos asignan mayores posibilidades en conglomerados y areniscas de Argentina, Brasil, Colombia, Guyana y Venezuela.
- En rocas proterozóicas del Macizo de Guyana y de la plataforma brasileña.
- En sedimentos carboníferos y pérmicos de Bolivia, Brasil, Perú y Colombia.
- En lechos rojos del mesozóico-cenozóico en la Cordillera Central y Oriental de Colombia, Perú, Bolivia, Venezuela, etc.
- En sedimentos terciarios en parte de las Cordilleras y áreas subandinas.
- En rocas volcánicas y metamórficas de Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Guatemala, Jamaica, Puerto Rico y México.

## 4. TECNICAS DE PROSPECCION Y EXPLORACION DEL URANIO

Si bien la mayoría de las técnicas de prospección y exploración se basan en la medición de la emisión radiactiva del uranio, torio y potasio, ellas representan solamente un complemento de la investigación científica, que significa el conocimiento geológico correspondiente.

#### 4.1. Radimetría

Es la técnica de la detección de las radiaciones naturales provenientes de la desintegración de los elementos: Uranio, torio y potasio mediante instrumentos detectores (contador Geiger-Muller, cintilómetros, espectrómetros, etc.).

Los instrumentos más modernos son:

— Cintilómetro:

Instrumento que detecta radiaciones gamma a través de un cristal de yoduro de sodio activado con Talio.

— Espectrómetro:

Instrumento similar al anterior, pero que tiene la particularidad de discriminar la energía que producen los diferentes elementos radiactivos.

Las técnicas de detección radimétrica deben ser completadas con determinaciones analíticas para conocer el estado de equilibrio o desequilibrio entre la emisión radiactiva y el contenido real de uranio.

##### 4.1.1. Técnica terrestre con cintilómetros portátiles:

Esta técnica se utiliza principalmente para detectar zonas anómalas (\*) en el reconocimiento geológico general (se realiza a pie).

##### 4.1.2. Técnica autotransportada con cintilómetros (cuenta total):

En esta técnica es más conveniente utilizar un cintilómetro con un cristal de mayor volumen, instalado en un vehículo.

Se emplean vehículos motorizados capaces de transitar en carretera, camino y campo traviesa.

El registrador y cintilómetro se instalan en el interior del vehículo en tanto que el sensor conteniendo el cristal, puede colocarse en la parte exterior del mismo.

Las ventajas de esta técnica radican en su economía y su gran cobertura en zonas de condiciones favorables. Permite que las anomalías sean perfectamente localizadas en el mapa topográfico y verificadas simultáneamente.

Las posibilidades de aplicación de esta técnica están supeditadas a la existencia de una densa red caminera y/o superficies topográficas favorables, requieren además frecuentes calibraciones y/o reparaciones según las características de las superficies que recorren.

##### 4.1.3. Sistema geofísico de prospección subacuática

Consiste en el registro continuo de radimetría y resistividad realizado sobre el fondo de lagos, y constituye a su vez una importante ayuda para el relevamiento geológico de los mismos.

Utiliza tres sistemas de sensores:

— Cristal para rayos gamma (cintilómetro)

— Electrodo para mediciones de resistividad

— Monitor de abrasión

Estos sensores están alojados en una sonda que se desplaza por los fondos acuáticos arrastrada por un cable multiconductor que la comunica con los instrumentos registradores instalados en el vehículo náutico.

La principal ventaja de esta técnica es que posibilita la prospección de los fondos de los lagos evitando la absorción que ocasiona la cubierta de agua.

#### 4.1.4. Técnica aeroradimétrica con cintilómetros (cuenta total).

Esta técnica utiliza y/o helicópteros para la detección de contaje total de rayos gamma mediante un cintilómetro de cristal de gran volumen. Además emplea una cámara fotográfica de toma continua para la reconstrucción de línea de vuelo, un radioaltímetro para ejecutar correcciones de altitud y un intervalómetro que correlacione las tomas fotográficas con las marcas fiduciales del registro.

El tipo de avión o helicóptero, así como la altura de vuelo y la densidad de las líneas deben seleccionarse de acuerdo con la topografía y características geológicas. Con esta técnica se pueden utilizar los siguientes tipos de prospección:

— Reconocimientos generales

Se usa en áreas preseleccionadas para determinar las condiciones de un programa regular de prospección radimétrica aérea.

Representa una técnica en malla abierta.

— Prospección regional

Se aplica en extensas áreas con sensores de gran volumen (30 a 50 litros) y mallas con líneas separadas de 4 a 5 kilómetros. La altura de vuelo debe ser entre 100 a 120 metros y las variaciones de topografía deben corregirse usando fórmulas de atenuación.

— Prospección sistemática

Se utiliza como única técnica detallada en mallas de menor espaciamiento, con aviones de poca velocidad o helicópteros.

#### 4.1.5. Técnica terrestre con espectrómetro de rayos gamma:

Esta técnica utiliza la misma tecnología señalada en 4.1.1., pero emplea un espectrómetro portátil capaz de distinguir elementos emisores de rayos gamma de diferente energía.

#### 4.1.6. Técnica autotransportada con espectrómetro de rayos gamma.

Utiliza la misma técnica mencionada en el 4.1.2., pero emplea un espectrómetro que discrimina elementos emisores de rayos gamma de diferente energía.

#### 4.1.7. Técnica aeroradimétrica con espectrómetros de rayos gamma.

Es similar a la empleada en el 4.1.3., pero utiliza espectrómetros multicanales.

Los datos se registran digitalmente y son procesados por medio de computadores.

En las técnicas 4.1.4. y 4.1.7. es necesario realizar correcciones debido a la radiación de fondo al principio y final de cada vuelo, así como también las del efecto Compton, volando sobre áreas de concentraciones conocidas.

Con las técnicas 4.1.4. y 4.1.7. se puede obtener además, la siguiente información:

— Variaciones radimétricas originadas por la composición química de diferentes tipos de rocas.

— Discriminación de energía para cada unidad litológica

— Histogramas de frecuencia para cada formación geológica y la distribución de las mismas según su variable radimétrica.

— Planos con curvas de isoradiactividad

Las ventajas de las técnicas 4.1.4. y 4.1.7. son fundamentalmente su gran cobertura, rapidez y amplia gama de información en extensas regiones y/o zonas seleccionadas.

Las técnicas 4.1.4. y 4.1.7. están condicionadas por la topografía, clima y costos relacionados con el análisis de los datos mediante computadoras, y a la necesidad de utilizar cristales de gran volumen, en aviones y/o helicópteros, de mayor capacidad.

#### 4.2. Emanometría:

Técnica basada en la detección y medición de los gases Radón, Torón y Helio provenientes de la desintegración natural de los elementos uranio y torio.

El instrumento utilizado para la aplicación de esta técnica es el emanómetro y su unidad de medida es el emán.

##### 4.2.1. Medidas de "Radón" y "Torón" en suelos y subsuelos:

Técnica aplicada en las etapas de estudios a semidetalle, utilizada principalmente para determinar la posible continuidad de indicios y ocurrencias uraníferas.

El valor emanométrico de fondo en suelos varía usualmente de 5 a 25 emanés, mientras que en zonas uraníferas cubiertas por suelos porosos se obtienen valores que varían de cientos a miles de emanés.

##### 4.2.2. Medidas de Radón y Torón de agua:

Técnica preferentemente aplicada en la etapa de estudio a nivel regional. Las medidas anómalas de Radón en lagos, manantiales y corrientes de agua comunmente indican áreas favorables para la búsqueda de Uranio.

##### 4.2.3 Detección de partículas alfa en películas sensibles.

Técnica aplicable en zonas de reconocida favorabilidad para la explotación de uranio. Consiste en la implantación, en forma de retícula, de cápsulas que poseen una película fotográfica sensible a las partículas alfa.

Las cápsulas se entierran a unos 50 cm. por un período de dos a tres semanas, luego son llevadas al laboratorio y se cuenta el número de impactos en cada película para establecer los valores de fondo y anómalos.

##### 4.2.4. Medidas de helio en suelos:

Siendo el helio un isótopo estable y ligero que se difunde con mayor facilidad que el Radón, las anomalías de Helio alrededor de un depósito de Uranio tienden a ser más extensas que las de Radón.

Las medidas de helio han sido poco empleadas; sin embargo, se estima que serán más utilizadas en el futuro.

##### 4.2.5. Medidas de gas sulfuroso (SO<sub>2</sub>) en suelos:

Técnica basada en la detección de emanaciones del gas SO<sub>2</sub>, producto de la oxidación de los minerales pirita y marcasita existentes en ambientes geológicos reductores. Es una técnica indirecta para delimitar zonas favorables a la existencia de depósitos de uranio.

##### 4.2.6. Las técnicas de muestreo de gases están sujetos a las variaciones de los siguientes parámetros: clima, condiciones atmosféricas, humedad, porosidad, permeabilidad, profundidad, pH, temperatura, desequilibrio radiactivo y movilidad geoquímica.

#### 4.3. Geoquímica:

Es una técnica para determinar trazas de uranio y otros elementos.

Consiste en la recolección y análisis de muestras de sedimentos, suelos, roca, agua y flora. A grandes rasgos, la prospección geoquímica se puede dividir en tres etapas: regional, semidetallada y detallada.

Las consideraciones sobre el comportamiento del uranio en el ciclo de meteorización sugieren que los resultados del muestreo de aguas son tan valiosos como los resultados del muestreo de sedimentos activos de corriente, en la etapa de reconocimiento regional.

Las muestras de sedimento activo deben ser sometidas a separación granulométrica, siendo la fracción más fina (malla 80-100) la de mayor interés para determinar la presencia de uranio.

El método geobotánico es un método biogeoquímico aplicado particularmente en ambientes semi-desérticos donde las plantas desarrollan largas raíces que pueden absorber uranio a profundidades de hasta 30 metros. Particularmente se conoce el caso de arbusto *Astragalus Pattersoni* en la Meseta del Colorado (Estados Unidos), el cual debe su crecimiento anormal a la presencia de selenio que está asociado con el uranio.

#### 4.3.1. Etapas de prospección geoquímica:

Cada una de las tres etapas se distinguen entre sí en base a la superficie, densidad y tipo de muestreo.

##### 4.3.1.1. Regional (densidad baja):

Superficie: Áreas mayores de 500 Km<sup>2</sup>.  
Número de muestras: Una por Km<sup>2</sup>.  
Tipo de muestras: Sedimento activo de corriente (separación granulométrica y de minerales pesados); aguas superficiales y subterráneas (filtrada, acidulada y pura); sedimento de lago y flora.

##### 4.3.1.2. Semidetallada (densidad intermedia):

Superficie: Áreas de 200 a 500 Km<sup>2</sup>.  
Número de muestras: 10 por Km<sup>2</sup>.  
Tipo de Muestras: Sedimentos de corrientes de agua; aguas superficiales, subterráneas y termales; suelo y flora.

##### 4.3.1.3. Detallada (densidad alta)

Superficie: Menores de 200 Km<sup>2</sup>.  
Número de muestras: 100 por Km<sup>2</sup>.  
Tipos de muestras: Sedimentos, suelo roca y flora.

En cada una de las etapas descritas el objetivo es la delimitación de áreas más reducidas, con mejores posibilidades de albergar concentraciones anómalas de uranio.

#### 4.3.2. Métodos analíticos:

Paralelamente a la actividad exploratoria debe procederse a la instalación de equipos analíticos para obtener resultados inmediatos que indiquen la importancia de las zonas exploradas.

La redimetría detecta la radicación gamma emitida, casi en su totalidad, por el grupo del radio de la serie de desintegración del uranio 238. Puesto que parte del grupo del radio es muy móvil en regiones tropicales, a veces se da el caso de que las mediciones radimétricas son insignificantes debido a desequilibrio radiactivo. Sin embargo, las muestras pueden tener uranio, por lo cual lo determinante es el análisis químico.

##### 4.3.2.1. Determinación del contenido de uranio:

— Método volumétrico:

Se usa preferentemente para altas concentraciones. Es relativamente lento y requiere de mucha práctica y cuidado.

— Espectrofotometría (colorimetría):

Se usa más ampliamente porque se adapta mejor a concentraciones que se dan en exploración detallada (mayores que las concentraciones de fondo). Es más rápido que la volumetría.

— Fluorimetría:

Se usa para bajas concentraciones (en prospección y en análisis de minerales ya beneficiados). El fluorímetro a base de laser provee un análisis más rápido y eficaz que el método clásico ya que éste consume mayor tiempo y requiere de muchos materiales. Es el más utilizado en la prospección geoquímica ya que permite la determinación del uranio soluble.

— Fluorescencia de Rayos X:

Abarca casi todo el rango de concentraciones de uranio. Las muestras requieren mínima preparación y además se pueden analizar cuantitativamente casi todos los elementos.

— Medición beta-gama:

Analiza uranio total en amplio rango de concentraciones. Además puede determinar el grado de equilibrio del mineral. La muestra no necesita mucha preparación previa y el análisis es relativamente lento.

— Activación neutrónica:

Los resultados son exactos, requiere de un reactor nuclear u otras fuentes de neutrones para irradiar las muestras.

— Absorción atómica:

Se usa para la mayoría de los elementos en un amplio rango de concentraciones. Los análisis son rápidos y exactos.

— Difracción de Rayos X:

Se utiliza para identificar minerales a partir de estructura cristalina. Es de gran apoyo en mineralogía y petrografía.

Mediante la aplicación de las técnicas de prospección geoquímica los objetivos perseguidos son:

— Establecer los valores de la concentración de fondo y los umbrales anómalos y altamente anómalos, tanto del uranio como de otros elementos.

— Determinar la existencia de asociaciones geoquímicas, elementos indicadores, y dispersión del uranio y otros elementos.

— Delimitar cuencas con potencial uranífero y orientar la realización de estudios semidetallados y detallados.

— En la etapa semidetallada, permitir la delimitación de anomalías geoquímicas superficiales que sirvan de guía para la ubicación de depósitos uraníferos.

#### 4.4. Trabajos mineros de exploración y evaluación:

Estos trabajos tienen por finalidad principal mejorar el conocimiento del depósito tanto en superficie como en profundidad y permitir la obtención de un volumen suficiente de muestras para sus posteriores estudios mineralógicos y de tratamiento.

#### 4.4.1. Trabajos de superficie y suterráneos:

Consisten en la ejecución de trincheras, piques, pequeños socavones, galerías, chimeneas, etc.

#### 4.4.2. Perforaciones:

Las perforaciones constituyen el método de exploración directa que se utiliza para complementar la información obtenida con los métodos ya descritos. Estas perforaciones pueden ejecutarse tanto a partir de la superficie como de las labores subterráneas. Las mismas pueden realizarse con carácter de exploración general, programada con gran espaciamiento, y/o exploración detallada, planificadas en mallas regulares de menor separación (perforaciones evaluativas, mineras, etc.). Su ejecución puede realizarse por: técnicas rotativas con obtención de testigos y/o fragmentos y técnicas de percusión recuperando principalmente detritos.

##### 4.4.3.1. Control geológico:

La información obtenida con los fragmentos y núcleos de las perforaciones debe ser procesada mediante el estricto control geológico de las mismas (perfiles litológicos, radimétricos, geoquímicos, etc.) y correlacionado con los respectivos perfiles de otros pozos.

Los perfiles litológicos proporcionan la columna estratigráfica, presencia de minerales, zonas de tenores químicos, de reducción y oxidación, descripción de las rocas que atraviesa el pozo, etc.

Es necesaria la obtención de muestras representativas, evitando su contaminación por derrumbes o falta de selección de las mismas.

##### 4.4.3.2. Perfilaje de pozos:

Registros obtenidos del efecto continuo de las paredes del pozo con sondas o sensores.

Una unidad típica de perfilaje de pozos consiste en un instrumento sensor o sonda, que desciende al pozo, y que está conectado mediante un cable multi-conductor al registrador de las medidas específicas que está localizado en superficie. Pueden ser sencillos o sofisticados. Estas últimas utilizan computadoras para el procesamiento electrónico de datos. Por lo general ambas montadas en vehículos.

Los perfiles pueden ser radimétricos, eléctricos, sónicos de densidad, diámetro de pozo, etc. Se usan para determinar:

- Presencia indirecta de mineralización
- Factor de corrección por desequilibrio
- Medidas directas del uranio
- Datos litológicos
- Efectos de los sulfuros en arcillas
- Estructuras geológicas
- Zonas de oxido-reducción
- Otras

#### 4.5. Sensores remotos:

Las técnicas de sensores remotos se aplican para la determinación indirecta de las características físicas y químicas de los recursos naturales tomadas a grandes distancias.

Dentro de este campo se utilizan las imágenes ERTS tomadas por satélites con canales multi-espectrales o las fotografías convencionales (blanco-negro y color) de gran, media y baja altura, y las imágenes de radar lateral e infrarrojo, termal y multibandas.



Es útil porque determina la geometría de los rasgos geológicos de grandes áreas vinculadas al control estructural de los recursos minerales. También se puede determinar el grado de alteración y de coloración de las rocas en base a comparaciones con patrones conocidos. Esta técnica no es determinante para la detección de minerales radiactivos pero sí un complemento valioso para investigación geológica de los mismos.

#### 4.6. Otras técnicas:

Las técnicas geofísicas convencionales se utilizan en la identificación de estructuras favorables como información adicional a la investigación de depósitos de minerales radiactivos.

Estas técnicas son:

- Gravimétrica, para la determinación de estructuras geológicas de carácter regional o local y paleocanales.
- Magnética, para la determinación de estructuras geológicas de tamaño regional y zonas de alteración de minerales magnéticos.
- Electromagnéticas (VLF), para la determinación de minerales conductores y paleocanales.
- Resistividad eléctrica, para la ubicación de paleocanales y estructuras tectónicas.
- Polarización inducida, utilizada en la localización de depósitos de sulfuros.
- Sísmicas, utilizada para determinación de estructuras geológicas regionales y locales, cambios de facies, paleocanales de amplitud local y discordancias.

Además existen otras técnicas en proceso de desarrollo.

## 5. METODOLOGIA PARA LA EXPLORACION DE URANIO

Una vez revisadas las técnicas empleadas para la exploración de uranio en diversas partes del mundo, se recomienda utilizar preferentemente como técnica inicial la radiométrica por su gran eficacia y resultados positivos en el descubrimiento de grandes yacimientos de minerales de uranio. Esta metodología de exploración da idea precisa del equipo que se debe utilizar, personal necesario, etapas de la exploración y costos de la operación.

Tomando en consideración las condiciones particulares de cada proyecto, se efectúa una selección y combinación de técnicas para el mejor desarrollo de la metodología.

#### 5.1. Objetivos:

Con las experiencias obtenidas por la metodología propuesta, se pretende:

- Realizar la evaluación del potencial uranífero de los países interesados de América Latina.

Orientar a los países que no han iniciado sus estudios o en donde la exploración está en sus primeras etapas.

- Demostrar que la aplicación de una metodología, con sus técnicas particulares, produce resultados positivos en tiempos adecuados.

#### 5.2. Metodología

A continuación se detallan las etapas que constituyen la metodología propuesta.

##### 5.2.1. Copilación y evaluación de la información existente

Recabar la información de carácter geológico que va a constituir la infraestructura del programa de exploración, ya que de ahí se derivarán las normas de trabajo.

Lo anterior implica coleccionar:

- Bibliografía geológica y técnica
- Cartografía en general
- Antecedentes uraníferos

El análisis de la información recolectada conducirá a señalar la disponibilidad de información básica y la necesidad de producirla, y finalmente a la elaboración del programa exploratorio más conveniente.

##### 5.2.2. Reconocimientos geológicos

Como resultado del análisis de la información de las áreas que se consideran prioritarias, deben realizarse campañas de reconocimiento preferentemente aéreas, siendo su propósito conocer los rasgos geológicos favorables, así como determinar el grado de accesibilidad y las características topográficas de la región.

##### 5.2.3. Selección de áreas

Durante los reconocimientos geológicos regionales es factible observar aquellos rasgos o características que son indicativos de la ocurrencia de yacimiento de uranio.

Se pueden considerar como rasgos geológicos más importantes las zonas de alteración, litología, estructuras favorables, áreas mineralizadas, etc.

El conocimiento previo de la existencia de localidades uraníferas otorgará mayor importancia al área seleccionada.

##### 5.2.4. Desarrollo de la exploración:

La ejecución de los trabajos exploratorios consta de una secuencia de etapas que se describen a continuación, en el entendido que se pueden abandonar los trabajos en cualquiera de ellas si las anteriores no presentan el interés suficiente.

#### 5.2.4.1. Selección y aplicación de la técnica adecuada:

En este aspecto se recomienda la técnica radimétrica como una de las primeras alternativas de investigación a utilizar.

Es recomendable utilizar de manera preferente levantamientos aeroradimétricos y subordinadamente la forma autotransportada. En el supuesto caso que las condiciones del terreno o circunstancias especiales del lugar impidan el empleo de esta técnica, podrían utilizarse otras como la geoquímica, emanometría, etc. A nivel regional estas técnicas presentan ventajas y desventajas. En la exploración aeroradimétrica es conveniente utilizar espectrómetros completados con cámara fotográfica, radioaltímetro, sistema de posicionamiento y magnetómetro. La información es grabada en cinta magnética para su posterior procesamiento en computadora.

Los vuelos radimétricos son regionales y detallados. Los vuelos regionales cubren parcialmente la superficie, en tanto que los detallados el 100%, estando estos últimos sujetos a los resultados positivos de los primeros.

Con esta técnica se obtienen perfiles y planos de isorradas de los diferentes canales: uranio, torio, potasio y cuenta total, así como las relaciones entre ellos. Dichos perfiles y planos reflejarán los valores anómalos, los cuales serán objeto de una selección en gabinete y una preverificación no sistemática en el terreno.

#### 5.2.4.2. Verificación terrestre de anomalías:

Las informaciones obtenidas proporcionan la localización de las anomalías descubiertas en el área de estudio, las que deberán ser objeto de verificación directamente sobre el terreno. Esta operación consiste en el examen de superficie del área anómala con detectores radimétricos para determinar naturaleza, forma, tamaño y comportamiento de la zona anómala.

La investigación geológica implica determinación de roca huésped, control geológico de la anomalía y otros aspectos relativos al proceso de mineralización. Estos estudios determinan si la anomalía es causada por mineralización de uranio, así como los trabajos subsecuentes a realizar.

#### 5.2.4.3. Levantamiento detallado de las anomalías:

Si la anomalía verificada presenta un grado de interés suficiente se realizan estudios detallados del área, lo que consiste fundamentalmente en hacer levantamientos geológicos, topográficos, radimétricos y geoquímicos, a escala adecuada así como pequeñas labores mineras.

La información obtenida en esta etapa dará idea de:

- Control geológico de la mineralización.
- Distribución superficial de la anomalía.
- Comportamiento de la mineralización en superficie.
- Caracterización físico-química de la mineralización.
- Características topográficas del terreno.

Con estos datos se podrá programar la exploración directa subsecuente.

#### 5.2.4.4. Exploración directa:

Esta etapa proporciona el conocimiento del yacimiento mineral desde la superficie del terreno hasta la profundidad que alcance en el subsuelo, lo cual obtiene mediante programas de perforación y obras mineras. Dependiendo de las características propias de la anomalía superficial, de la interpretación del fenómeno mineralizante y naturaleza del terreno, se seleccionará la aplicación de cualquiera de las dos técnicas de exploración.

Cuando hay premura en el conocimiento del yacimiento, es preferible la perforación y subordinadamente las obras mineras. En todo caso según la información que se desee obtener, las perforaciones pueden ser de reconocimiento, sistemáticas y de muestreo.

Las perforaciones de reconocimiento se llevan a cabo en las zonas de estudio, con separación amplia entre sí y a profundidades variables para dar idea de la continuidad de la mineralización tanto a lo largo y ancho de las estructuras como en profundidad. Se ejecutan con recuperación de testigos.

Las perforaciones sistemáticas se programan en base a resultados de las perforaciones de reconocimiento. Se ubican a malla más cerrada para determinar la forma, dimensión, rumbo y buzamiento, espesor y ley de los cuerpos mineralizados. Normalmente, cuando sólo se trata de recuperar polvos, las perforaciones de percusión se efectúan con martillo neumático de diámetro reducido, ya que éstas perforaciones son más rápidas y de bajo costo. También se pueden utilizar perforaciones rotatorias con trépano o corona.

Es importante que en los pozos se lleven a cabo perfiles gammamétricos y otros adecuados.

Las perforaciones de muestreo se hacen con máquinas rotatorias de diamante y recuperando testigos. Debido al elevado costo de operación, estas perforaciones se deben programar estratégicamente obteniendo solamente muestras de los intervalos mineralizados detectados previamente con la perforación sistemática.

Estos muestreos tienen por objeto determinar las leyes del mineral y sus características mineralógicas y petrográficas, además de proporcionar muestras representativas del yacimiento para pruebas metalúrgicas. Algunas veces es necesario realizar trabajos subterráneos para obtener estas muestras.

#### 5.2.4.5. Evaluación del depósito:

En esta etapa de la exploración deberá definirse los siguientes parámetros:

- Morfología del depósito
- Mineralogía de la mena y la ganga
- Selección de técnicas de muestreo
- Cálculo de reservas
- Tipo de explotación y desarrollo
- Métodos de tratamiento

Con estos datos se procederá a realizar el estudio de factibilidad y el análisis económico de la operación.

#### 5.3. Apoyo y proceso de datos:

En todas las etapas del desarrollo de la explotación, es conveniente contar con el auxilio de computadoras, las cuales tendrán las siguientes aplicaciones:

- Archivo general de datos
- Proceso de datos aero—radimétricos para la elaboración de planos de configuración de los diferentes canales registrados.
  
- Proceso de datos geoquímicos para la elaboración de planos de isotensores.
- Archivo y cálculo de registros de pozos.
- Elaboración de secciones de los registros de pozos de exploración y de estudio de los depósitos uraníferos.
- Cálculo de reservas de métodos convencionales estadísticos y geoestadísticos.
- Confección de planos de acumulación, mapas zoneográficos, secciones y mapas de bloques evaluados con o sin características mineras, etc.
- Proceso de datos administrativos
- Otros.

5.4. Como ejemplo de la metodología aplicada, presentamos el siguiente diagrama de actividades para la explotación de uranio, aplicada en Brasil. (Ver anexo B).

5.5. Estimación de costos de un programa de prospección y exploración de uranio.

De acuerdo con la metodología de exploración planteada anteriormente, para estimar los costos de un programa de prospección y exploración, es necesario considerar tres etapas distintas y sucesivas: Prospección regional, prospección de detalle y evaluación.

En el ejemplo desarrollado, se ha considerado la ejecución previa de una fase de selección de áreas, realizada esencialmente en oficina a partir de la documentación geológica, de levantamientos geológicos y radimétricos, ejecutados anteriormente.

El costo de esta fase de selección de áreas para la prospección regional es muy variable, se encuentra en función de los conocimientos pre-existentes y de las dimensiones del país. A título de ejemplo, en un país latinoamericano de tamaño medio, fueron gastados cerca de U.S.\$ 150.000 en un año para la realización de esta fase.

Se llama también la atención de que como promedio, es necesario la ejecución de prospección regional y de detalle en 5 a 10 áreas de 30.000 Km<sup>2</sup> para definir un yacimiento de uranio.

### ETAPA I - PROSPECCION GENERAL

(Para un área de 30.000 Km<sup>2</sup> con duración de dos años)

En esta etapa se pueden utilizar varias técnicas de prospección:

Técnicas	Unidades de medida (cantidad)	Costo unitario (U.S.\$)	Costo total (U.S.\$)	Duración
Compilación bibliográfica	4 geólogos/mes y adquisición de material	—	40.000	2 meses
Aero Radimetría (Espectrometría y Magnetometría)	17.000 Km.	25/Km.	425.000	12 meses
Radimetría autotransportada	5.000 Km.	1.5/Km.	7.500	2 meses
Radimetría terrestre	7.000 Km.	15/Km.	105.000	12 meses
Geoquímica	15.000 muestras	3/muestra	45.000	12 meses
Verificación de anomalías	4 equipos	8.000/mes	96.000	3 meses
Gastos administrativos y supervisión general (20%)			143.700	
COSTO TOTAL ETAPA I			862.200	

Como resultado de los trabajos realizados en la etapa anterior el área seleccionada para prospección de detalle se reduce a 1.000 Km<sup>2</sup> no necesariamente contiguos.

### ETAPA II - PROSPECCION DE DETALLE

(Para un área de 1.000 Km<sup>2</sup> con duración de dos años)

Técnica	(cantidad)	Costo unitario (U.S.\$)	Costo total (U.S.\$)	Duración
Aerofotogrametría (1 : 25.000)	1.000 Km <sup>2</sup>	50/Km <sup>2</sup>	50.000	
Levantamiento geológico	1.000 Km <sup>2</sup>	1.500/Km <sup>2</sup>	1.500.000	2 años
Geofísica Terrestre	20 Km.	1.000/Km <sup>2</sup>	20.000	2 meses
Radimetría de detalle	20 Km <sup>2</sup>	300/Km <sup>2</sup>	6.000	2 meses
Muestreo de zonas anómalas	200 MUESTRAS	10/muestra	2.000	1 mes
Pozos y trincheras	100 pozos	100/pozo	10.000	
Perforaciones con testigos	5 pozos de 200 metros cada uno	150/m.	150.000	
Gastos administrativos y supervisión general (20%)			347.600	
COSTO TOTAL ETAPA II			2.085.600	

Con la información resultante de la Etapa II se obtiene una área de 20 Km<sup>2</sup> sobre la cual se efectuarán los trabajos de evaluación.

### ETAPA III - EVALUACION

(Para un área de 20 Km<sup>2</sup> con duración de 5 años)

Técnica	Unidades de medida (cantidad)	Costo unitario (U.S.\$)	Costo total (U.S.\$)	Duración
Restitución fotogramétrica 1 : 5.000	20 Km <sup>2</sup>	500/Km <sup>2</sup>	10.000	
Perforaciones con testigos	60.000 m. (15.000 m/año)	150/m.	9.000.000	4 años
Estudios de Laboratorio	40.000 muestras (10.000 muestras/ año con 5 deter- minaciones c/u)	10/muestra	400.000	4 años
Pozo (Shaft)	200 m.	5.000/m.	1.000.000	1 año
Galerías	1.000 m.	1.500/m.	1.500.000	1.5 años
Cálculo de reservas (esti- mado 20.000 t de U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	—	—	50.000	3 meses
Ingeniería Minera (proce- so, viabilidad, ingeniería)	—	—	1.000.000	1 año
Planta piloto	—	—	1.000.000	1 año
Gastos administrativos y supervisión general (20%)	—	—	2.792.000	—
<b>COSTO TOTAL ETAPA III</b>			<b>16.752.000</b>	

Costo total Etapas I + II + III sin preselección = U.S.\$ 19.699.800

Costo total Etapas I + II + III con preselección = U.S.\$ 19.849.800

Los cálculos en dólares se realizan al valor presente (26 de junio de 1981)



## 6. CAPACITACION DE RECURSOS HUMANOS

## 6. CAPACITACION DE RECURSOS HUMANOS PARA LA EXPLOTACION DE URANIO EN AMERICA LATINA.

La exploración de uranio en América Latina requiere la formación de personal especializado en los conocimientos relacionados con esta actividad, en todos los niveles de participación profesional, técnica y laboral, en base a las recomendaciones del Grupo Regional de Asesoría y a la experiencia existente en varios países miembros de la OLADE y en otros de reconocido desarrollo en la investigación nuclear.

### 6.1. Filosofía de la capacitación

Se considera que la responsabilidad básica de capacitación y entrenamiento de personal debe recaer principalmente en las instituciones u organismos encargados de las actividades nucleares.

La OLADE propiciará la elaboración de programas específicos de perfeccionamiento del personal que tiene a su cargo la exploración del uranio para difundir las innovaciones técnicas desarrolladas en esta materia.

Propiciará también la colaboración de los países, para facilitar la formación práctica del personal y organizará seminarios y reuniones técnicas periódicas entre los especialistas de la región.

Elaborará análisis periódicos de las perspectivas internacionales y de cada país miembro, en las técnicas de exploración de uranio, a fin de que los gobiernos orienten oportunamente la formación de los recursos humanos correspondientes.

### 6.2. Posibilidades de capacitación y transferencia de tecnología:

Se sugiere a los países de América Latina con mayor experiencia en las tecnologías de exploración y/o con una industria minera desarrollada que organicen seminarios, cursos y entrenamientos prácticos para el personal profesional, técnico y obrero. Además, en caso necesario, se organizarán cursos de gerencia técnica para el personal dedicado a la exploración.

La capacitación podría organizarse de las siguientes opciones:

- a. A corto y medio plazo dentro del propio organismo con personal interno o por contratación de especialistas.
- b. A largo plazo en colaboración con instituciones de enseñanza superior, nacionales o extranjeras.
- c. Siempre que sea posible se realizarán convenios, con entidades públicas o privadas, para entrenamiento del personal, integrándole en los trabajos de exploración que aquellas estén llevando a cabo.

### 6.3. Areas específicas de capacitación

#### 6.3.1. Geología

- Mineralogía, petrología y génesis de los yacimientos de uranio.
- Geofísica y geoquímica aplicadas a la exploración de uranio.
- Evaluación de ocurrencias minerales para determinar su potencial económico.

#### 6.3.2. Ingeniería de minas

- Planificación y elaboración de proyectos de explotación.

### 6.3.3. Ingeniería metalúrgica y química

- Desarrollo de procesos físicos y químicos aplicables al tratamiento de minerales de uranio y asociados.

### 6.3.4. Ingeniería de proyectos

- Elaboración de anteproyectos de instalaciones industriales para la producción de concentrados de uranio.

### 6.3.5. Ingeniería económica

- Elaboración de estudios económico-financieros de factibilidad de complejos minero-industriales para la producción de concentrados.

### 6.3.6. Dirección y administración

- Formación profesional en el campo ejecutivo-directivo

## 6.4. Identificación de instituciones y países

La OLADE hará un inventario de los organismos oficiales y privados que, dentro y fuera de los países que forman la Organización, poseen experiencia en las áreas de capacitación a las que se ha hecho referencia.

En la actualidad, para la formación del personal, la OLADE puede acudir a centros de América Latina (Argentina, Brasil, Colombia y México), Norteamérica (Estados Unidos y Canadá) y Europa (España, Francia y Portugal).

## 7. ANEXOS

## A. FORMULARIO DE EVALUACION

## SITUACION Y PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACION DE DEPOSITOS DE URANIO

Con la finalidad de tener conocimiento, orientar y sugerir las recomendaciones pertinentes de ejecución, se solicita la siguiente información para las etapas que se indican:

### EXPLORACION DEL URANIO

Es conveniente proveer la suficiente información enmarcada dentro de los siguientes encabezamientos:

1. Antecedentes históricos
2. Programa Nacional de Evaluación de Recursos Uraníferos existente o en proyecto.
3. Actividades presentes de la exploración.
4. Política existente relacionada con la participación privada y extranjera en estas actividades.

Completar con la información disponible los cinco cuadros siguientes:

#### 1. CUADRO DE INVERSIONES POR TECNICAS APLICADAS

Año	Lev. Rad. Aéreo Km <sup>2</sup> (*)	Otros Lev. Km <sup>2</sup> (*)	Perforaciones M T N°	Total invertido en exploración
Ant. 1975				
1976				
1977				
1978				
1979				
1980				
1981				
---				
---				
1990				
TOTAL				

(\*) Indicar adicionalmente la clase de levantamiento y su densidad

2. Cuadro de tonelaje de reservas de uranio

RESERVAS (*)			
MEDIDAS	INDICADAS	INFERIDAS	U.S.\$ COSTO DE RECUPERACION

(\*) Anotar adicionalmente, datos sobre el encuadre geológico de los descubrimientos más importantes.

3. Cuadro de tipificación de depósitos

Tipo de depósito (*)	Número de lugares de producciones	RESERVAS			Volumen (Tons. U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
		Medidas	Indicadas	Inferidas	
1. Conglomerados					
2. Discordancia relacionada a Proterozoico Superior/Inferior.					
3. Diseminados, intramagmáticos, pegmatíticos, de contacto.					
4. Vetiformes					
5. En areniscas					
6. Otros					

(\*) Anotar, adicionalmente, en resumen, la naturaleza y extensión de las áreas.

4. Cuadro de producción de uranio

<b>AÑO</b>	<b>TONELADAS (en concentrados)</b>
Ant.1975	
1976	
1977	
1978	
1979	
1980	
1981	

5. Capacidad proyectada de producción de uranio

<b>AÑO</b>	<b>TONELADAS DE U</b>		
	<b>Capacidad de producción planeada</b>	<b>Destino (*)</b>	
		<b>Empleo</b>	<b>Excedentes</b>
1981			
1982			
1983			
1984			
1985			
1986			
1987			
1988			
1989			
1990			

(\*) Si no es procedente, omitirlo

6. Personal existente

<b>NIVEL SUPERIOR</b>	<b>1981</b>	<b>1982(*)</b>	<b>1983(*)</b>	<b>1984(*)</b>
Geólogos				
Geofísicos				
Mineralogistas/Petrógrafos				
Ings. Metalúrgicos/Químicos				
Ings. de Minas				
Químicos				
Otros (**)				
<b>TOTAL</b>				

(\*) Aumento de personal proyectado.

(\*\*) Economista, Ingeniero, Administrador, etc.



<b>TECNICO NIVEL MEDIO</b>	<b>1981</b>	<b>1982</b>	<b>1983(*)</b>	<b>1984 (*)</b>
Prospectores Técnicos de laboratorio Técnicos electrónicos Otros				

TOTAL

7. Personal con cursos de post-grado

	<b>Ph.D</b>	<b>MSc.</b>
Geólogos Geofísicos Mineralogía/ petrografía Químicos Otros		

8. Universidades/Institutos Superiores

<b>PROFESIONALES</b>	<b>NUMERO DE INSTITUTOS/UNIVERSIDADES</b>
Ciencias Geológicas Ingenieros de Minas Ingenieros Metalúrgicos Ingenieros Químicos Químicos Ingenieros Electrónicos	

9. Universidades/Institutos que poseen cursos específicos de post-grado en:

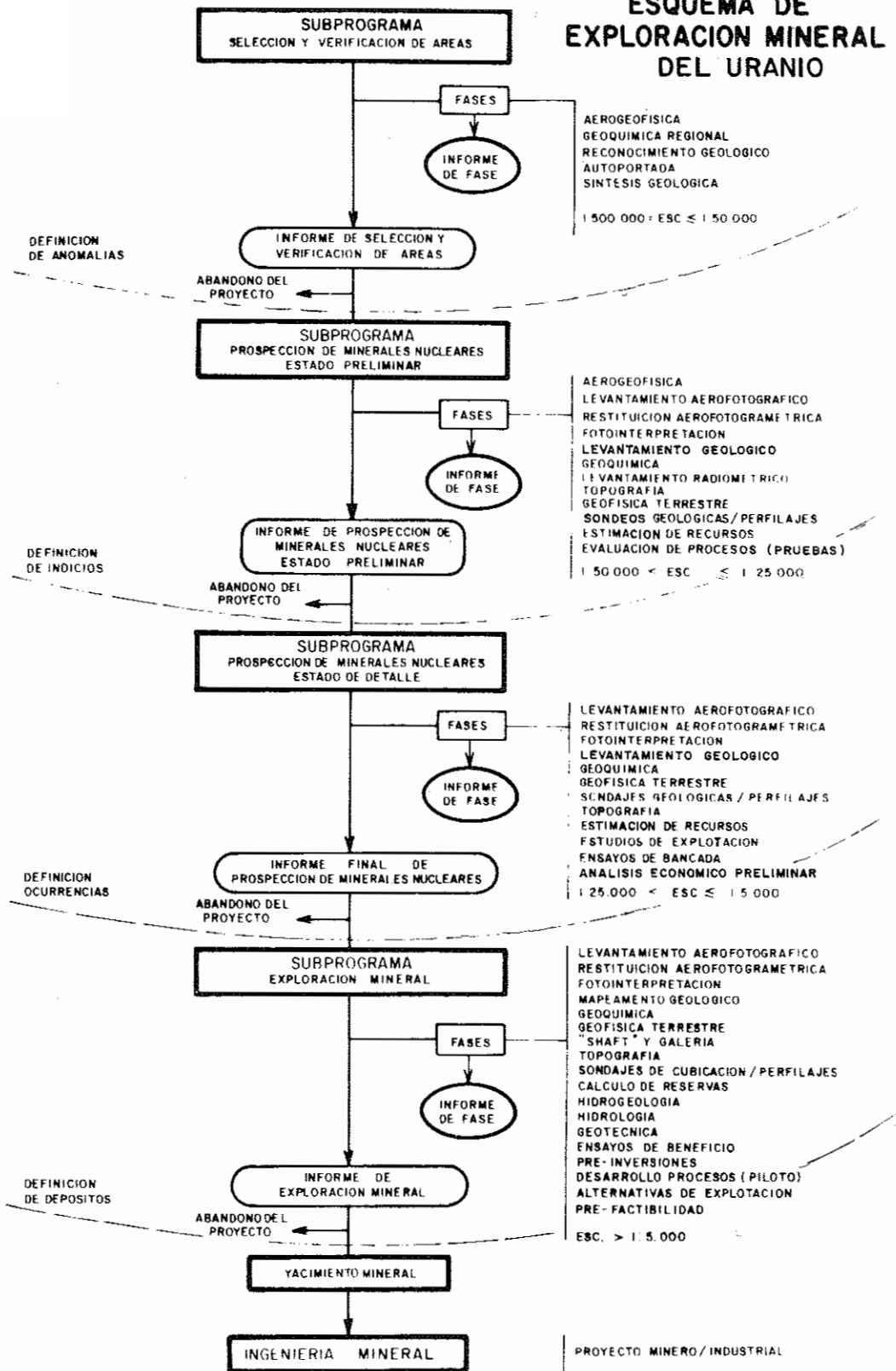
Geología  
Geoquímica

Geología  
Geoquímica  
Geofísica  
Metalogenia  
Economía Mineral  
Otros de Interés en la industria mineral

10. Entidades y empresas públicas y/o privadas que actúan en sectores minerales que pueden posibilitar algún tipo de entrenamiento y perfeccionamiento de personal.

## B) METODOLOGIA APLICADA EN EL BRASIL

# ESQUEMA DE EXPLORACION MINERAL DEL URANIO



**C) GRUPO DE TRABAJO DE LA OLADE  
SOBRE EXPLORACION DE URANIO**

MIEMBROS DEL GRUPO DE TRABAJO  
DE LA OLADE SOBRE LA EXPLORACION DE URANIO

Dr. Armando Ortega Furlotti	ARGENTINA
Ing. Joao Hilário Javaroni	BRASIL
Ing. Mario Osvaldo Freankel	BRASIL
Ing. José Paulo Mansur Marques	BRASIL
Ing. Antonio Gomes Angeiras	BRASIL
Ing. Hernando Rodríguez Triana	COLOMBIA
Ing. Sergio Constantino Herrera	MEXICO
Ing. Roberto Yza Domínguez	MEXICO
Ing. Manuel Morales Ruiz	MEXICO
Ing. Juan Sosa Benítez	PERU
Ing. Luis Canepa Purizaga	PERU
Ing. Humberto Cárdenas Egui	VENEZUELA

EXPERTOS INVITADOS:

ING. José Angel Amigot Fernández	ESPAÑA
Ing. Antonio Arribas	ESPAÑA

COORDINADOR:

Dr. Luis Alberto Aráuz	OLADE
------------------------	-------