

K. FOTH

05.74.01

CARLOS T. FRIZ. KIRILO MARINKEFF. ALBERTO L. COCO.  
ANGEL M. SANTOMERO Y JORGE A. MUSET

<b>CNEA</b>
<del>Com. de Centrales Nucleares</del>
<del>Fecha: 1974 No</del>
<del>Ubicación: 1-2</del>

**TECNICAS DE PROSPECCION URANIFERA  
APLICADAS EN LA REPUBLICA ARGENTINA**

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1974

DE ACTAS DEL QUINTO CONGRESO GEOLOGICO ARGENTINO

BUENOS AIRES

1974

# TECNICAS DE PROSPECCION URANIFERA APLICADAS EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Por CARLOS T. FRIZ, KIRILO MARINKEFF, ALBERTO L. COCO,  
ANGEL M. SANTOMERO y JORGE A. MUSET

## RESUMEN

Se describen las técnicas e instrumental de prospección aplicadas en la Argentina para la búsqueda de yacimientos uraníferos, indicándose su evolución hasta llegar a las actuales. Se indican resultados obtenidos, costos operativos, etc., para prospección radimétrica aérea, radimetría autotransportada y terrestre, prospección geoquímica y emanométrica, citándose también los estudios de geoelectrónica.

## ABSTRACT

The present paper is a brief description of the methods and instruments used in the Argentine Atomic Energy Commission (CNEA) to search uranium deposits, indicating their evolution up to present techniques employed by the prospection groups appertaining to the Mineral Resources Department.

Also there is summarily indicated the results obtained, the operating costs, etc. for airborne, car and by foot radiometric prospection; likewise the geochemical and emanometric exploration and some references to geoelectrical studies undertaken by the prospection groups of the CNEA.

## I. RADIMETRIA AEREA

La radimetría aérea es el conjunto de operaciones que, mediante el empleo de instrumental apropiado (detectores) montados en aeronaves, permite captar las radiaciones que son propias de los minerales radiactivos, establecer y ubicar las anomalías positivas y de entre éstas, seleccionar aquellas que sean susceptibles aparentemente de aprovechamiento económico. Una vez localizadas las anomalías, la radimetría sigue siendo un procedimiento de trabajo utilísimo en los estudios de detalle tendientes a la perfecta delimitación de los cuerpos mineralizados y a la posterior evaluación de los mismos.

En consecuencia, puede afirmarse que la radimetría es el procedimiento básico y fundamental —clásico podría decirse— en la prospección por uranio.

Las técnicas de su aplicación son muy variadas y podrían ensayarse varias clasificaciones. En atención al móvil que se utilice para desplazar el detector sobre el terreno, pueden establecerse los siguientes tipos fundamentales: prospección a pie (o por medio de cabalgaduras), autotransportada ("carborne"), o aerotransportada ("airborne"). Nos referimos a esta última aplicación.

Como su nombre lo indica, la prospección aero transportada utiliza un medio portante aéreo, que puede ser helicóptero, avión monomotor liviano o bimotor pequeño.

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), desde la iniciación de las actividades que nos ocupan, ha empleado los tres tipos móviles men-

cionados, aunque ha dado clara preferencia por los monomotores de ala alta, atendiendo principalmente a razones de índole económica y de circunstancias operativas.

En un país tan vasto como es la República Argentina, esa actitud se encuentra plenamente justificada, ya que ha permitido establecer pautas y posibilidades. Con el devenir del tiempo se harán indispensables los aviones bimotores en las partes más escarpadas de su territorio, así como los helicópteros para tareas de detalle en áreas de acceso terrestre dificultoso.

El procedimiento de prospección aérea por sustancias radiactivas fue aplicado masivamente por países tales como E.U.A., Francia, Australia y Rusia. Argentina lo ha hecho con empeño a partir del año 1959, y puede afirmarse también que los resultados han sido ampliamente satisfactorios, al punto que las anomalías detectadas pasan del millar, un 25 % de las cuales fueron recomendadas para su examen terrestre. Los principales yacimientos uraníferos del país han sido descubiertos mediante prospección aérea y, entre otros, podemos citar: "Don Otto" (Salta); "Los Adobes" (Chubut) y el distrito "Sierra Pintada" (Mendoza).

Los trabajos llevados a cabo por la Gerencia de Materias Primas de la CNEA han comprendido la utilización de centellómetros con cabezales provistos con cristales de yoduro de sodio —Ina-(Tl)—, que se caracterizan por su gran sensibilidad y excelente rendimiento.

Para registrar permanentemente la altura de vuelo del avión con respecto al suelo y efectuar las pertinentes correcciones, se utiliza un radioaltímetro.

Las informaciones suministradas por este instrumento, como igualmente las proporcionadas por el centellómetro, son recogidas en aparatos registradores, cuyas bandas de papel pueden analizarse en gabinete proporcionando todas las novedades de cada vuelo.

El instrumental se completa con una cámara fotográfica de posición de toma continua ("strip camera"), convenientemente sincronizada con los registradores, mediante la cual se obtiene una banda fotográfica del terreno sobrevolado, lo que facilita en gran medida la ubicación en el terreno de las anomalías detectadas.

Con excepción de la cámara fotográfica de posición, el resto del instrumental fue variando con el tiempo, tendiendo en todos los casos a lograr menor peso y volumen y mayor eficacia.

Al iniciarse las actividades —año 1959— se utilizaron detectores importados provistos con cristales de 3 x 2 pulgadas. Pocos años después se tenía desarrollado en la Gerencia de Materias Primas el detector MP-10 provisto con cristales de 5 x 2 pulgadas y que prestó eficiente servicio durante largo tiempo. Recientemente se comenzó a utilizar el modelo PA-171, con cristales de la misma medida, totalmente transistorizado y con circuito impreso. Estas características lo tornan más liviano y de mejor respuesta, reduciéndose al mismo tiempo el consumo de energía.

Los radioaltímetros comúnmente empleados han sido los antiguos y confiables APN-1, pero más recientemente se efectuaron ensayos con nuevos equipos que emplean el sistema radar, que reúnen una serie de ventajas tales como peso y volumen reducidísimo, bajo consumo y gran facilidad de instalación.

En cuanto a los registradores —mecánicos y con inscripción a tinta— durante mucho tiempo se utilizaron dos acoplados en tandem; uno para recoger

la información centellométrica y otro para la altimétrica. Modernamente se los sustituye por registradores bicanales que presentan la ventaja de reunir en una sola banda de registro ambos parámetros, facilitando su control y examen. El peso y el volumen se ve disminuido en un 50 %.

Este mejoramiento del instrumental permite aumentar la seguridad del trabajo y simplificar las diversas fases de las tareas.

Sin embargo, no solamente se ha avanzado en el aspecto instrumental, sino también en el de las técnicas operativas. A medida que se gana en experiencia se abandonan los vuelos de itinerarios indefinidos o irregulares sobre las formaciones geológicas consideradas favorables, tornándolos cada vez más regulares y sistemáticos, a tal punto, que al presente se ha convertido en tarea de rutina la confección de cartas de isorradiactividad que se obtienen mediante vuelos sobre una comarca determinada, con un recubrimiento no menor del 80 %, siempre que las condiciones topográficas del área lo permitan.

Cualquiera que sea el grado de detalle con que se encare un trabajo sobre un área dada, la prospección centellométrica aerotransportada proporciona rendimientos efectivos muy superiores a todos los otros procedimientos aplicados al mismo fin y, aunque la actividad de una misión implica gastos apreciables, los costos operativos unitarios —debido principalmente al alto rendimiento específico— resultan muy reducidos por unidad de superficie cubierta.

Hasta el presente, en el país se ha efectuado prospección aérea sobre unos 150.000 kilómetros cuadrados con diverso grado de precisión. Algunos sectores, empero, tendrán que ser revisados con mayor detalle a medida que las circunstancias lo vayan aconsejando (Figura 1).

Los rendimientos y costos promedios hasta fines del año 1970 y sobre casi una década de actividad, quedan consignados en el cuadro siguiente:

*Prospección aérea - rendimiento y costos operativos*

TAREA	Km <sup>2</sup> /mes	Km <sup>2</sup> /hora	\$ (*)
Prospección regular	1.800	90	12,50
Prospección detallada	1.000	40	43,00
Id. c/fotog. de posición	500	25	125,00

(\*) 1 u\$s = \$ 1.000.

En líneas generales en prospección regular se sobreentienden líneas de vuelo con espaciamiento de unos 500 metros. La categoría siguiente incorpora la fotografía de posición y una representación muy precisa de los vuelos sobre planos confiables o fotocartas, al mismo tiempo que requiere una mayor proporción de trabajos de gabinete, notándose, en consecuencia, un rendimiento sensiblemente menor, junto con un correlativo aumento de los costos.

Es de hacer notar que los costos mencionados en el cuadro anterior son totales, incluyendo planeamiento, ejecución completa de la tarea, supervisión y apoyos varios.

Fig. 1



## 1. 1. *Análisis y perspectivas*

Hasta el presente en Argentina puede afirmarse que el método de prospección centellométrica aerotransportada se aplicó en forma progresivamente detallada, tendiendo al descubrimiento directo de yacimientos superficiales o sub-superficiales, y operando preferentemente con aviones monomotores.

Sin embargo, la necesidad de explorar otras regiones topográficamente más elevadas y accidentadas, o encarar el desafío que presupone la existencia de yacimientos eventualmente a decenas de metros bajo la superficie terrestre, implica la necesidad de efectuar esfuerzos adicionales en varios frentes, algunos de los cuales ya tienen principios de ejecución.

Los aviones monomotores, si bien aún pueden utilizarse en buena parte del territorio, deberán paulatinamente ser sustituidos por bimotores de alto techo operativo (con motores turbo comprimidos), o por helicópteros. Estas máquinas deberán ser igualmente, más amplias, con el objeto de permitir el embarque de instrumental más elaborado, o duplicar el sistema de detección tradicional, a fin de lograr mayores rendimientos.

Con respecto al instrumental, deberá tenderse a dotar a los detectores con cristales de mayor volumen, a fin de aumentar su eficiencia.

Un segundo aspecto, ya encarado por la CNEA, es el de poner en servicio un detector espectrométrico de radiación gamma, actualmente disponible. Con este equipo podrán identificarse las radiaciones provenientes no sólo del uranio, sino también del torio y del potasio 40 (especialmente abundantes en aluviones) como igualmente otros valores diferenciales. El uso de este equipo proporcionará una gran ganancia en selectividad y permitirá formalizar la exploración conforme a las exigencias que plantean los yacimientos no superficiales y los nuevos conceptos geoestructurales sobre la distribución de los depósitos de uranio.

Se espera que estos nuevos conceptos, y teniendo siempre como base buenos análisis geológicos regionales y particulares (sucesión estratigráfica, granulometría, estudio de cuencas, tectónica, etc.), podrán inclusive, orientar nuevas metodologías en la aplicación de la prospección aérea (prevista de equipos más sensibles y selectivos), permitiendo la realización de vuelos más espaciados—del orden de algunos kilómetros— y a mayor altura que la habitual, con la consiguiente economía en inversiones, con el objeto de determinar áreas favorables, sobre las que posteriormente se cerrará la malla a fin de localizar anomalías de real importancia.

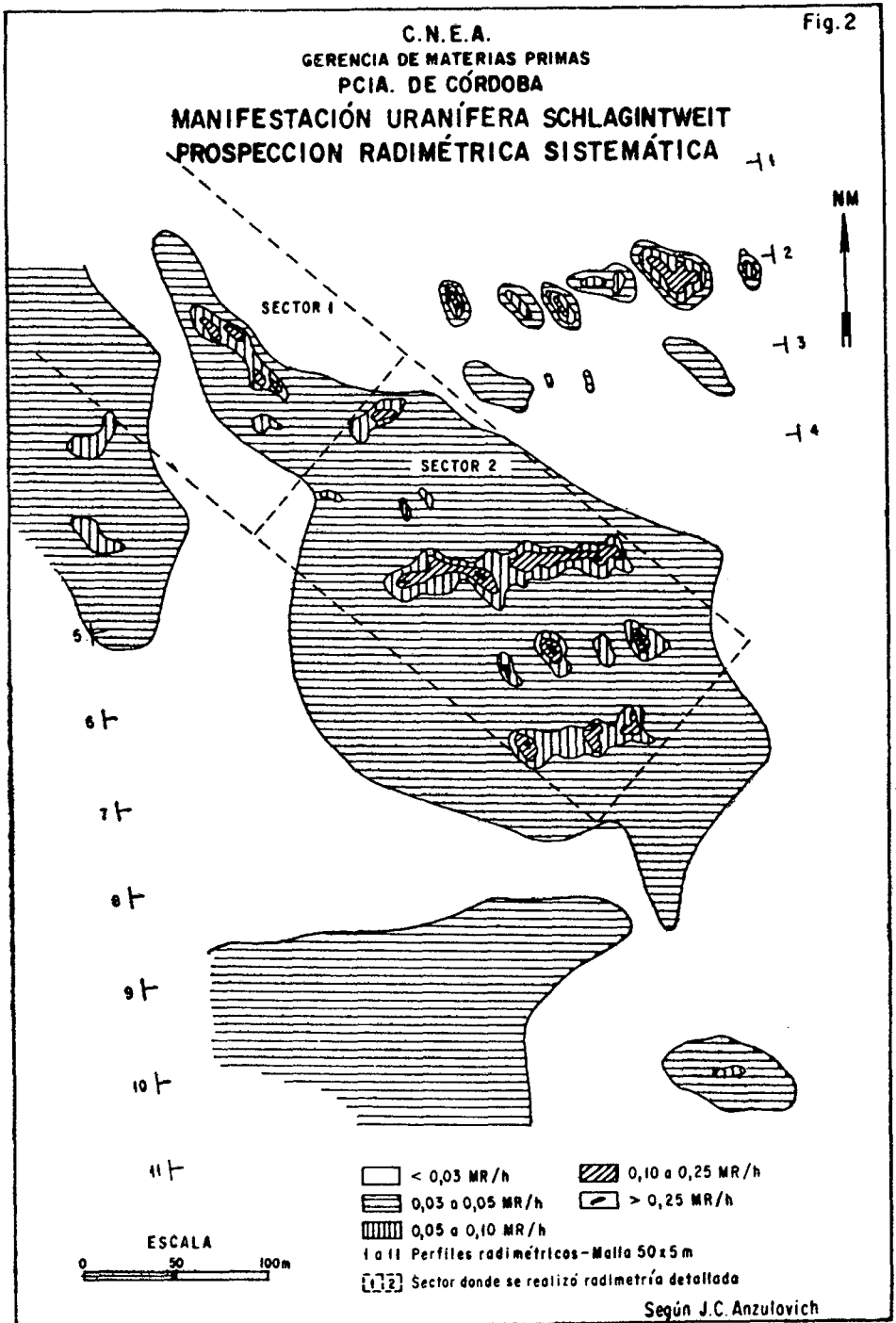
## 2. PROSPECCION RADIMETRICA TERRESTRE

Para la búsqueda de minerales radiactivos, los métodos radimétricos, aplicados con criterio geológico, constituyen la base fundamental e intervienen en casi todas las fases de la prospección.

En efecto, se apela a ellos en forma continua durante todas las etapas de la investigación, posibilitando no sólo el descubrimiento de afloramientos o manifestaciones de interés, sino que también intervienen en muchos de los pasos posteriores, eventualmente necesarios, de reconocimiento, exploración, evaluación, explotación, etc., de un depósito nuclear.

Tal como todo otro método de investigación uranífera, el de prospección radimétrica tiene sus limitaciones, que le son dadas por las características en las que se basa esta técnica.

Es bien conocido por todos que los fundamentos teóricos del método re-



siden en la propiedad natural que tienen los minerales nucleares de emitir radiaciones que son factibles de detectar y medir. La posibilidad de descubrir con este método un cuerpo mineralizado radiactivo, depende principalmente de las condiciones de su emplazamiento, ya sea aflorante o próximo a la superficie y al grado de sensibilidad del instrumental que se esté utilizando.

Se procura poner en evidencia cualquier indicio o anomalía que posea una radiactividad superior al "fondo" o "background" de las formaciones geológicas presentes en el área que se investigue.

La radimetría desarrolló varias técnicas, cuya evolución y perfeccionamiento tiende al logro de equipos detectores cada vez más sensibles y eficaces, lo cual paralelamente ha posibilitado su aplicación no solamente como instrumentos portátiles individuales en la clásica prospección a pie, sino el montaje progresivo de equipos cada vez más perfeccionados en vehículos y aviones a los que se les ha añadido instrumental complementario, integrando hoy día verdaderos equipos de investigación.

En la actualidad la prospección terrestre se aplica principalmente en sus etapas de prospección sistemática y detallada de zonas en las que se han puesto de manifiesto indicios o anomalías descubiertas mediante otras técnicas de prospección general. También se recurre a esta técnica, en aquellos lugares donde por razones operativas ya sean geográficas, topográficas, climáticas, etc., no se puede acceder mediante la utilización de otros métodos de prospección general.

## 2. 1. *Prospección autotransportada*

Cuando el equipo detector se lo instala en un vehículo automotor, se puede realizar la prospección a lo largo de los caminos que surcan la zona a investigar. Su aplicación y perspectivas, serán tanto mejores cuanto más grande sea la densidad de caminos transitables y permita obtener datos suficientes como para elaborar una carta de radiactividad.

El instrumental básico que se utiliza es un centellómetro de gran sensibilidad y un registrador gráfico continuo, que se instala en un vehículo preferiblemente de doble tracción.

La operación se realiza recorriendo los caminos en forma sistemática y a baja velocidad (20 km/hora). El prospector efectúa sobre la banda del registrador todas las anotaciones que sea menester y grafica sobre la carta los itinerarios, señalando las anomalías que se registren.

Este método tiene la ventaja de permitir la inmediata revisión de las anomalías descubiertas, mediante la utilización de detectores portátiles y verificar la magnitud, naturaleza e importancia de las mismas. Posibilita asimismo el rápido examen de las condiciones geológicas de los afloramientos de interés.

Esta técnica de prospección se la ha aplicado muy restringidamente en nuestro país hasta el presente, debido a que en las zonas con perspectivas uraníferas, la densidad de caminos existentes es muy baja.

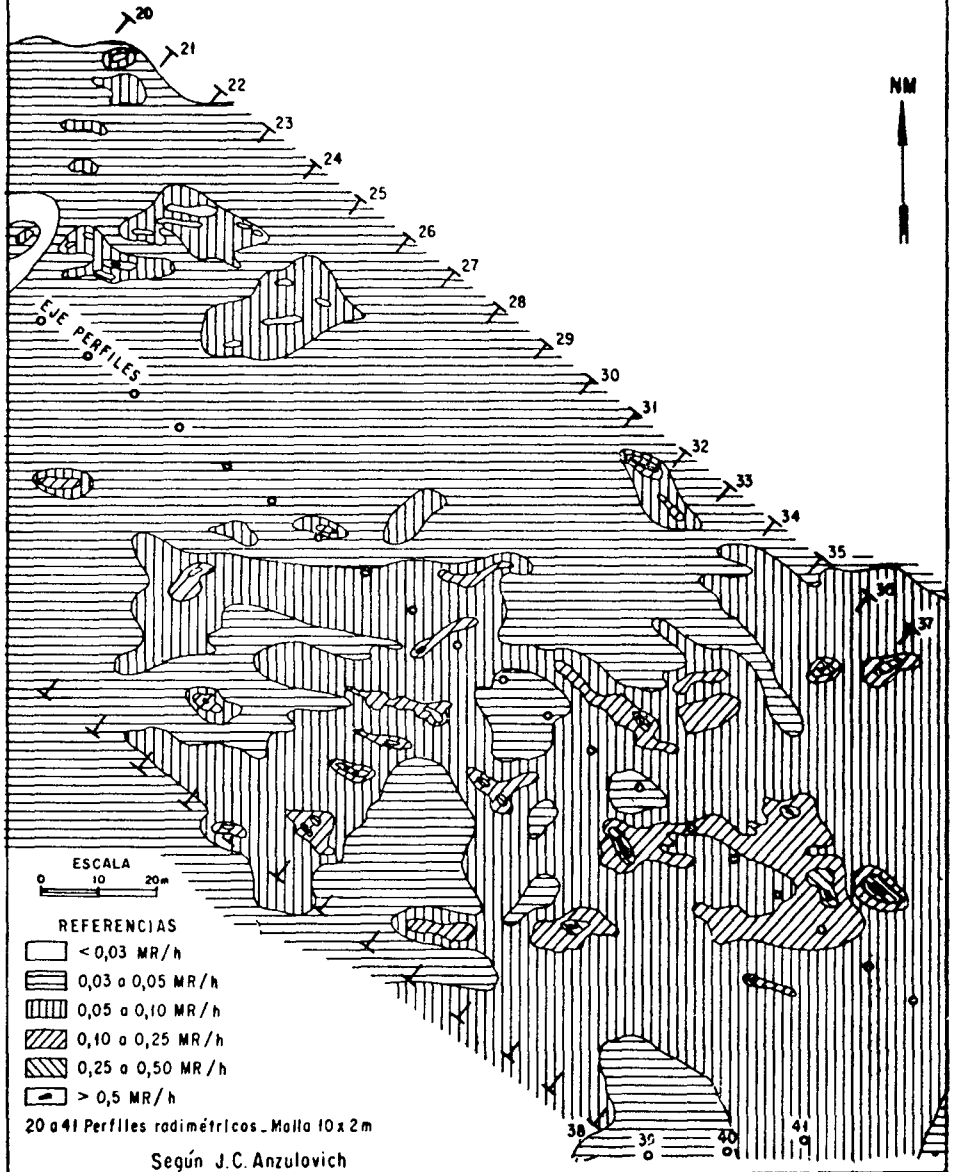
## 2. 2. *Prospección radimétrica a pie*

Hasta el año 1960 en la Argentina, la prospección radimétrica a pie fue el principal auxiliar en la revisión de áreas con posibilidades uraníferas. A partir de ese año, comenzó a utilizarse la prospección aérea como método de uso normal, en la prospección general de grandes áreas.

Fue a partir de entonces que la prospección radimétrica a pie se fue res-

Fig. 3

C.N.E.A  
 GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS  
 PCIA. DE CÓRDOBA  
**MANIFESTACIÓN URANÍFERA SCHLAGINTWEIT**  
**PROSPECCIÓN RADIMÉTRICA DETALLADA SECTOR 2**



tringiendo aplicándola principalmente en las etapas posteriores de prospección sistemática y detallada.

Si bien el detector constituye el instrumento indispensable en las tareas de campaña, el criterio geológico y la experiencia del prospector, serán los que deberán regir en todo momento y determinarán la orientación y desarrollo que tendrán los trabajos.

Será imprescindible contar con una carta geológica que servirá de orientación para planificar la ejecución de las tareas, en los sectores con formaciones geológicas de mayor interés.

Delimitada una zona con perspectivas —ya sea por la presencia de anomalías surgidas con cualquier tipo o método de prospección general o por estar presentes formaciones con características geológicas favorables— las etapas siguientes a cumplir, consistirán en la programación de trabajos de prospección sistemática y detallada.

### 2. 3. *Prospección sistemática y detallada*

En el sector delimitado, cuya superficie podrá variar desde algunas hectáreas hasta pocos kilómetros cuadrados interesará conocer el número, la densidad y distribución de las anomalías, así como también su posición geológica, surgiendo la necesidad de hacer observaciones en forma sistemática, tanto geológicas como radimétricas, según un plan preestablecido.

Para volcar todos los valores radimétricos y observaciones geológicas que se realicen en el campo, se deberá contar con una carta topográfica-geológica en escala adecuada que servirá de base y en las que se señalarán los resultados.

Las tareas de radimetría sistemática o detallada, comienzan en el terreno, con el replanteo de una línea base orientada adecuadamente y que servirá de eje para los perfiles sobre los que se efectuarán las lecturas radimétricas.

La malla a utilizar variará según se trate de prospección sistemática (Figura 2), de una superficie relativamente mayor (perfiles distanciados 50 m entre sí y lecturas cada 10 m) o de prospección detallada (Figura 3) de una manifestación uranífera ya más circunscripta y bien delimitada (perfiles a una equidistancia de 10 m y lecturas cada 5 m).

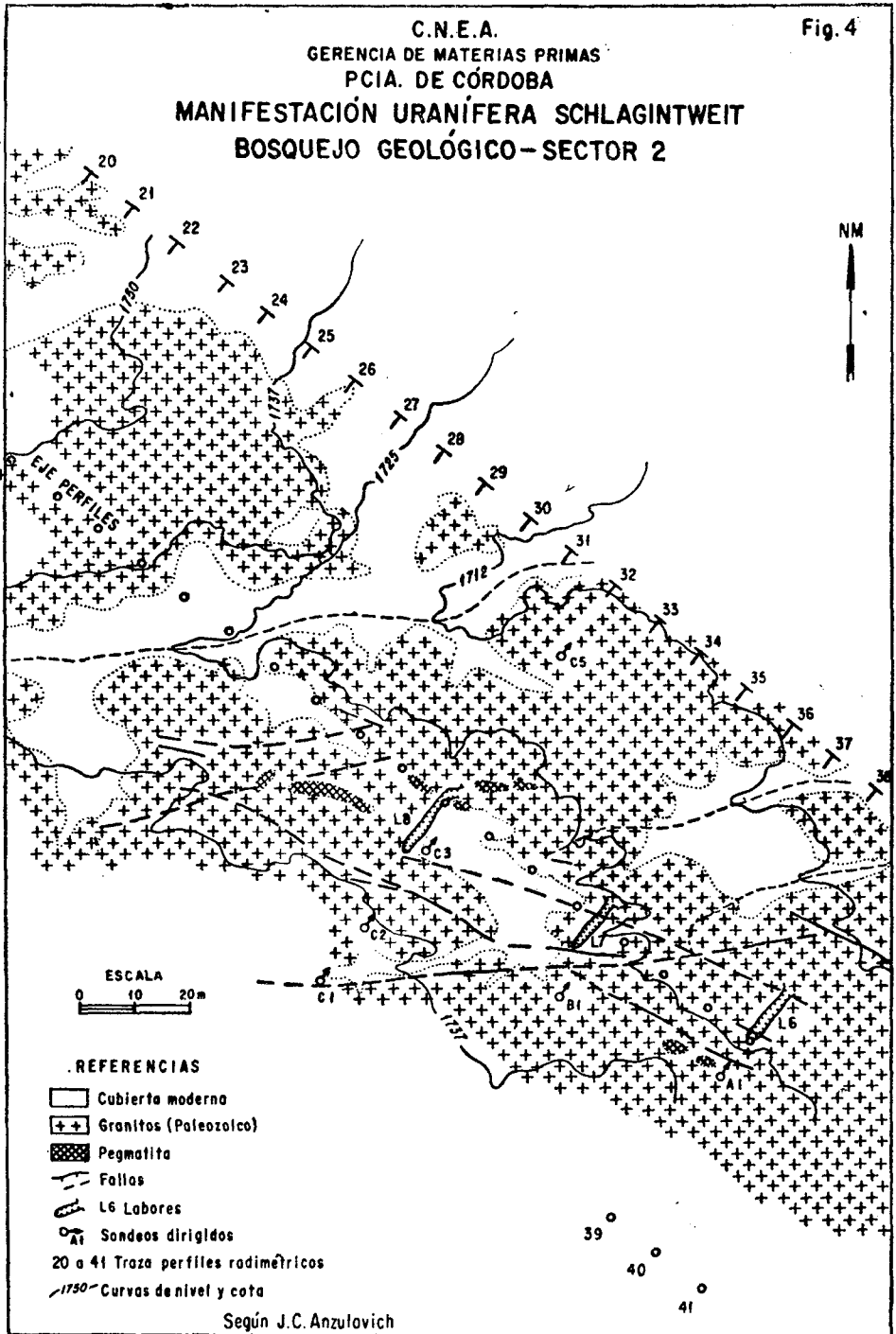
Sobre cada perfil se efectúan las lecturas radimétricas según la frecuencia que se establezca y sus resultados se van volcando en la cartografía disponible, base con la cual se elabora la carta de isorradiactividad. Para ello, se establece primero el valor de la radiactividad de fondo o "back-ground", el que representa el valor medio observado en el terreno, fuera de la zona de influencia de las anomalías. Con este nivel medio de referencia tomado como base, se confeccionan las curvas de isorradiactividad, tomando intervalos de acuerdo a una escala que se establece para cada caso.

Las cartas de isorradio, sobrepuestas a una base geológica adecuada (Figura 4), facilitan la interpretación de las figuras anómalas resultantes; ellas estarán indicando cómo se distribuye la mineralización en superficie.

Analizando los resultados y de acuerdo al tipo de yacimiento que se trate (sedimentario, filoniano, con control estructural, etc.) el diseño de las figuras radimétricas ilustrará y determinará la conveniencia de las etapas posteriores de reconocimiento a cumplir.

En nuestro país, la CNEA realiza normalmente la prospección sistemática en todos aquellos sectores que presentan indicios de interés. Tal es el caso por ejemplo, de trabajos cumplidos en la Sierra de Los Gigantes en la pro-

Fig. 4



vincia de Córdoba, Sierra Pintada en la provincia de Mendoza, Sierra de Comechingones en la provincia de San Luis, Sierra de Pichiñán en la provincia del Chubut, etc.

Dentro de estos distritos y en otros cuya nómina sería larga de enumerar, se han relevado además mediante radimetría detallada, numerosas manifestaciones nucleares, que posibilitaron la elaboración y posterior ejecución de variados programas de reconocimientos físicos y planes de sondeos de exploración.

El objeto de estas labores y perforaciones ha sido el de ratificar las figuras anómalas resultantes y obtener información sobre el comportamiento de la mineralización y determinar en lo posible los factores que la controlan.

Aún durante esta etapa, el relevamiento geológico y radimétrico de detalle (Figura 5), aportarán información imprescindible sobre la composición de la roca, su litología, granulometría, caracteres estructurales y tectónicos y cualquier cambio y variación en la naturaleza de sus componentes. A su vez el relevamiento radimétrico de cada labor, utilizando una malla estrecha (0,20 x 0,20 m) permitirá el trazado de curvas de isorradiactividad similares a las obtenidas en los relevamientos de superficie e indicará la real distribución de los minerales radiactivos y aconsejará la realización del tipo de muestreo que más se adecúe.

Las perforaciones, objeto asimismo de perfilajes geológicos y radimétricos de detalle y los testigos obtenidos analizados químicamente, permitirán establecer las curvas de correspondencia radiactividad-tenor químico. Con estas curvas se posibilita una adecuada interpretación de los perfiles radimétricos de cada perforación.

### 3. PROSPECCION GEOQUIMICA

Las técnicas de investigación geoquímica se basan fundamentalmente en los principios que rigen la migración, distribución y concentración de los elementos en la corteza terrestre. Su utilización práctica en la búsqueda de depósitos minerales incluye el estudio sistemático de algunas propiedades químicas de diversos materiales accesibles a la investigación, tales como los sedimentos de corrientes, aguas naturales, suelos, rocas y vegetales.

En el caso particular del uranio los métodos geoquímicos demuestran la factibilidad de su aplicación y su importancia como técnica de prospección viene siendo objeto, muy especialmente en los últimos años, de numerosos trabajos de investigación, que se reflejan en la amplia literatura existente. Es, en efecto, en este campo de la exploración, donde parecen darse las mejores posibilidades de descubrimiento de mineralizaciones uraníferas, no sujetas a la detección por métodos radimétricos.

#### 3. 1. *La prospección geoquímica del uranio en la CNEA*

En la República Argentina la utilización de la geoquímica en la prospección del uranio comienza a hacerse efectiva a partir del año 1962. La Comisión Nacional de Energía Atómica, comprende la necesidad de incorporar esta nueva técnica en sus programas regulares de exploración del uranio y procede a través de la Gerencia de Materias Primas, a organizar y poner en marcha una sección geoquímica.

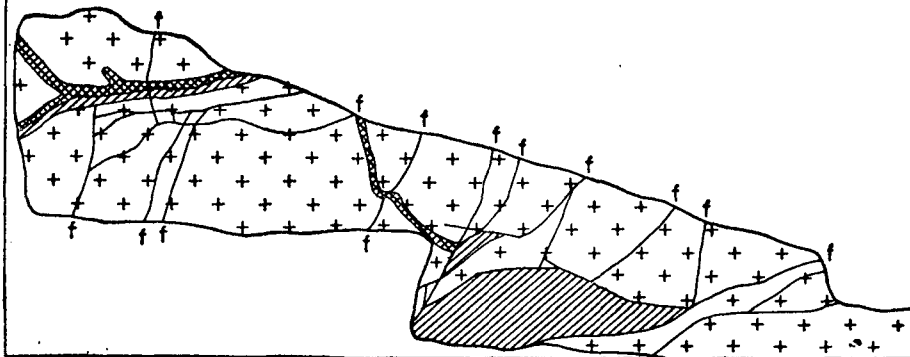
Este grupo de trabajo, que comenzó sus actividades contando como perso-

Fig. 5

C.N.E.A.  
GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS  
PCIA. DE CORDOBA

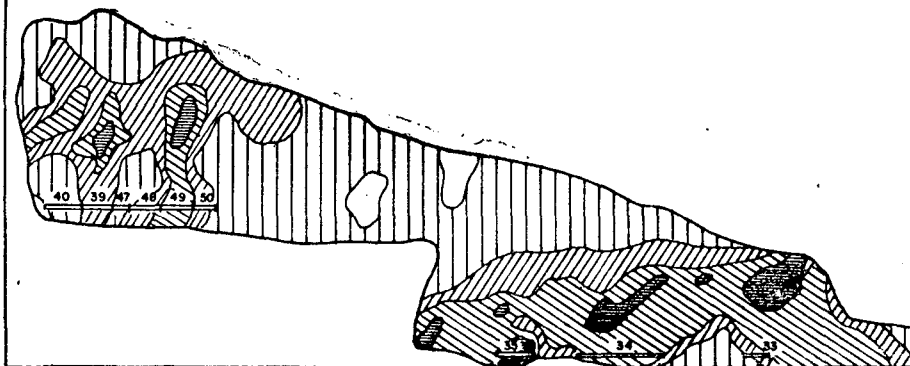
MANIFESTACIÓN URANÍFERA SCHLAGINTWEIT  
LABOR N°6

A) GEOLOGÍA



- Granite
- Pegmatitos
- Arcillas de falla
- Fallas

B) RADIMETRÍA



- < 0,05 MR/h
  - 0,05 a 0,10 MR/h
  - 0,10 a 0,15 MR/h.
  - 0,15 a 0,25 MR/h
  - > 0,25 MR/h
  - Muestreo
- ( Mediciones con collimador de Pb )

ESCALA  
0 1 2m

Según J.C. Anzulovich

nal con un geólogo y un prospector, tiene en la actualidad más de una docena de agentes, repartidos entre la Sede Central y Delegaciones del interior del país. Funcionalmente aparece estructurada de la siguiente manera:

1º) Un Jefe de sección y un geólogo ayudante aseguran la conducción del personal de campo y laboratorio, con responsabilidad directa sobre los trabajos que se ejecutan.

2º) Dos grupos móviles de prospección, tienen por misión la realización de los muestreos de rutina y se componen de un equipo de muestreo y un equipo analítico (en un laboratorio móvil), ambos dirigidos por un técnico prospector jefe del grupo. A su cargo se encuentran todas las operaciones de extracción de muestras, preparación y análisis de las mismas, efectuadas en su totalidad sobre el terreno.

3º) Un laboratorio central, con sede en Buenos Aires, a cargo de un técnico químico y personal complementario, con asesoramiento de un químico, cuya función primordial es controlar la calidad de los análisis realizados en el laboratorio móvil y los laboratorios regionales y llevar a cabo ensayos para la determinación de otros elementos relacionados con el uranio.

4º) Dos laboratorios regionales, con asiento en las ciudades de Mendoza y Salta, dirigidos respectivamente por un técnico químico, que cuentan con un equipo constituido por dos analistas y un preparador de muestras, con la supervisión directa de un químico. A su cargo se encuentra el análisis de las muestras procedentes de diversos organismos nacionales y provinciales, obtenidos de vastos planes de exploración geológico-minero desarrollados en el país.

### 3. 2. *Actividad de la Sección geoquímica*

#### 3. 2. 1. **Campo**

La Gerencia de Materias Primas de la CNEA utiliza en forma regular las técnicas de prospección geoquímica en sus programas de exploración del uranio, en estrecha asociación con otras técnicas auxiliares como la fotointerpretación, la radiometría, la emanometría, la geoelectrónica, etcétera.

La etapa de reconocimiento preliminar o prospección general, se aplica fundamentalmente en áreas donde las condiciones no resulten favorables para la radiometría aérea y/o terrestre, ya sea por la existencia de una topografía abrupta (dificultades operativas del avión), altura excesiva sobre el nivel del mar (reducción del rendimiento de la máquina), o bien la presencia de cubiertas aluvionales o de suelos muy potentes, donde la radiometría a pie o autotransportada quedan excluidas. En prospección aérea, las áreas cubiertas con bosques y selvas tropicales crean dificultades para la graficación de los itinerarios y posterior ubicación de las anomalías, por falta de referencias, resultando en cambio perfectamente operables con técnicas geoquímicas.

En esta etapa de la exploración se investigan fundamentalmente los sedimentos de corriente y las aguas de superficie, materiales en los cuales la dispersión geoquímica del uranio puede alcanzar, particularmente en estas últimas, distancias considerables. En lo que respecta al espaciamiento entre muestras, este es del orden de los 500 a 1000 metros.

Utilizando una malla de muestreo más estrecha (escala detallada), la geoquímica contribuye eficazmente a la ubicación de la fuente de dispersión u origen de las anomalías determinadas en el curso de la prospección general.

Además, permite la verificación de anomalías uraníferas obtenidas por métodos geofísicos como la radimetría (aérea y terrestre) y la emanometría.

Los materiales objeto de muestreo son fundamentalmente los mismos que aquellos utilizados en la prospección general (aguas y aluviones), con una densificación de la malla de muestreo sobre la red hídrica, la que puede fluctuar entre 100 y 500 metros.

La última etapa de aplicación de la geoquímica en la búsqueda de depósitos minerales es la prospección táctica. Ella encuentra aplicación en la resolución de diversos problemas que plantea la exploración, como por ejemplo: a) determinación del desarrollo de cuerpos mineralizados subprofundos; b) comprobación de posibles conexiones entre manifestaciones y/o indicios presentes en un sector; c) contribución a la ubicación de perforaciones de exploración y muy especialmente; d) localización de mineralizaciones uraníferas ciegas, donde los métodos clásicos de prospección encuentran serias limitaciones.

En la prospección táctica se estudian los suelos y depósitos superficiales no residuales, pudiendo hacerse extensiva la investigación a las aguas subterráneas, vegetales y rocas. En general, la malla de muestreo oscila entre 100 y 20 m, alcanzando en casos especiales valores de 5 m y aun menos.

A partir de los primeros trabajos desarrollados en el año 1962 y hasta el mes de julio de 1972, la Sección Geoquímica lleva prospectada en el país, una superficie de 42.105 km<sup>2</sup> (fig. 6), distribuida, de acuerdo a la malla utilizada de la siguiente manera:

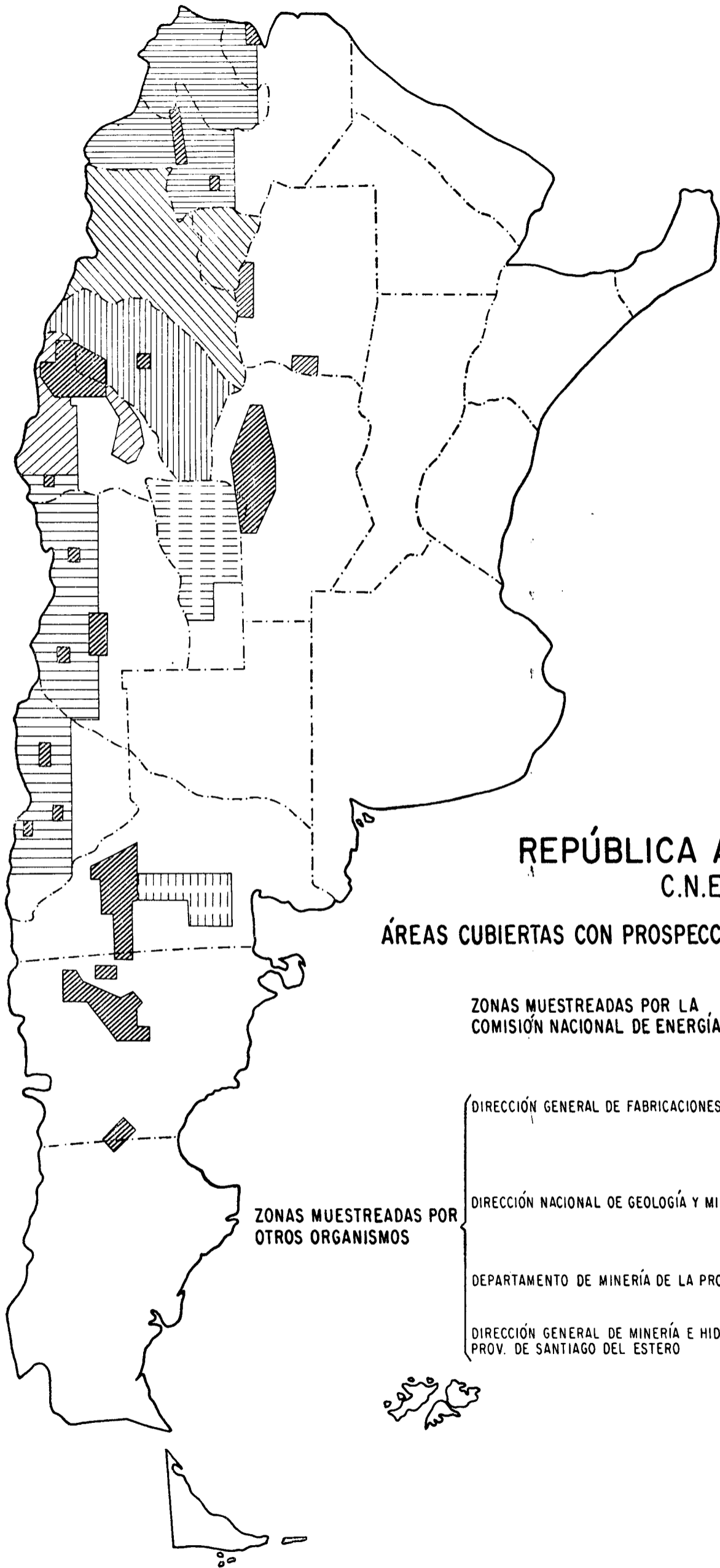
Prospección estratégica .....	39.412 km <sup>2</sup>
Prospección detallada .....	2.673 „
Prospección táctica .....	20 „

De estos trabajos se obtuvo un total de 32.299 muestras, de las cuales corresponde a los aluviones aproximadamente un 55 %, a los suelos un 30 %, adjudicándose el 15 % restante a aguas y rocas.

Paralelamente a esas actividades, la CNEA, por colaboración de diversas reparticiones nacionales y provinciales como la Dirección General de Fabricaciones Militares, Dirección General de Geología y Minería, Departamento de Minería de la Provincia de San Juan, etc., recibe una fracción de las muestras de sedimentos de corrientes y rocas obtenidas por esos organismos de sus programas de exploración geológica-minera, junto con el material cartográfico de apoyo.

Sobre esas muestras, que al 31 de julio de 1972 ascendían a un total de 101.347, la Sección Geoquímica investiga la presencia del uranio, posibilitando de ese modo un primer reconocimiento a escala panorámica de vastas áreas del país, el que posteriormente es complementado con nuevos estudios en las zonas con anomalías uraníferas.

La tarea cumplida hasta la fecha ha permitido ubicar más de medio centenar de áreas anómalas en distintas regiones del país, las que en algunos casos están siendo objeto de investigaciones detalladas con participación de otras técnicas de exploración y en otros condujeron a la localización de mineralización uranífera, si bien de escasa trascendencia.



**REPÚBLICA ARGENTINA**  
C.N.E.A.

**ÁREAS CUBIERTAS CON PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA POR URANIO**

ZONAS MUESTREADAS POR LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA 








DIRECCIÓN GENERAL DE FABRICACIONES MILITARES

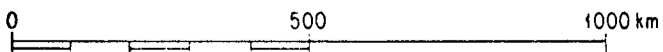
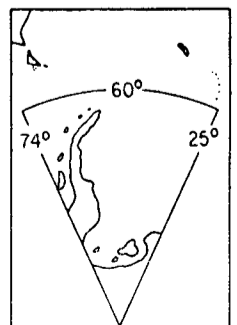
DIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE MINERÍA DE LA PROV. DE SAN JUAN 

DIRECCIÓN GENERAL DE MINERÍA E HIDROLOGÍA DE LA PROV. DE SANTIAGO DEL ESTERO 

ZONAS MUESTREADAS POR OTROS ORGANISMOS

- PLAN CORDILLERANO 
- PLAN CORDILLERANO CENTRO 
- PLAN NOA-I (SALTA - JUJUY) 
- PLAN SAN LUIS 
- PLAN VALCHETA 
- PLAN LA RIOJA 
- PLAN NOA-I (TUCUMAN - CATAMARCA - S. DEL ESTERO) 



### 3. 2. 2. Laboratorio

Para la determinación del uranio, se ha adoptado en los distintos laboratorios geoquímicos las técnicas puestas a punto por Pierre Berthollet del Commissariat a l'Energie Atomique de Francia. Estas son aplicables a los diversos materiales muestreados y en ellas el uranio es puesto en solución por ataque nítrico diluido (2,5 N), separado de los otros elementos con fosfato de tributilo por cromatografía ascendente y posteriormente determinado por fluorimetría.

La sensibilidad de este método es adecuada a los requerimientos de la prospección (menos de 0,5 partes por millón de uranio en los aluviones, suelos y vegetales; 0,1 partes por billón de uranio en las aguas); su precisión oscila entre 15 y 20 % en una amplia gama de tenores y su fidelidad es muy satisfactoria.

Al finalizar el mes de julio de 1972, la actividad analítica desarrollada por los distintos laboratorios, queda reflejada en las siguientes cifras:

Laboratorios	Muestras CNEA		Muestras otros Organismos	
	Ingresadas	total análisis	ingresadas	total análisis
S. Central	20.474	26.609	27.027	32.745
Unidad móvil	10.059	13.369	—	—
Reg. Mendoza	1.946	2.460	52.907	57.366
Reg. Salta	—	—	21.413	20.382
Totales	32.479	42.438	101.347	110.493

### 3. 3. Rendimientos y costos operativos

Haciendo referencia a los rendimientos y costos operativos por unidad de superficie de esta técnica, las cifras varían ampliamente de acuerdo a la malla de muestreo utilizada y a otros factores relativos principalmente a las características topográficas y accesos del área considerada. No obstante y a título informativo se hacen conocer los siguientes valores promedios:

Tipo de prospección	Rendimiento		Costos	
	cobertura mes	Muestras unidad de superficie	por unidad sup. \$	id u\$s
Estratégica km <sup>2</sup>	400	1/3	80	8
Detallada km <sup>2</sup>	50	6/12	350	35
Táctica Ha	30	20/30	700	70

Los costos que se señalan son **totales**, vale decir que incluyen planificación, ejecución completa de la tarea (campo y laboratorio), supervisión y apoyos varios.

En lo que respecta al costo-laboratorio total por muestra analizada, incluyendo preparación de la misma, en los laboratorios fijos es del orden de \$ 4,00 (0,40 u\$s), en tanto que en el laboratorio móvil asciende a \$ 5,00 (0,50 u\$s).

### 3. 4. *Balance y perspectivas*

A partir de la última década, la CNEA viene utilizando las técnicas geoquímicas en la prospección del uranio, con criterio fundamentalmente geológico y en estrecha asociación con otras técnicas de exploración. Junto con la radiometría aérea, constituye el método de avanzada en la investigación uranífera preliminar de áreas nuevas. Asimismo, en la etapa de estudio de detalle contribuye a satisfacer en muchos aspectos requerimientos que demanda la exploración, constituyéndose en una técnica lo suficientemente flexible como para adaptarse a los problemas más diversos.

La prospección geoquímica tiene además la ventaja de ser una técnica directa: ella determina la presencia del uranio y no la de sus productos de filiación emisores de rayos gama (Radio C), cuya detección es el fundamento de la prospección radimétrica.

La posibilidad de asociarla, en forma inmediata, a las técnicas clásicas y la factibilidad de realizar investigaciones multiminerales sobre una misma muestra, acrecienta su interés.

En la actualidad, las probabilidades de descubrimiento de mineralizaciones uraníferas localizadas en las partes más accesibles de la corteza terrestre, con evidencias de radiactividad en superficie, están limitadas a los territorios prácticamente inexplorados. En áreas donde la exploración ha alcanzado niveles significativos, el principal requerimiento futuro de la prospección del uranio es el relacionado con el desarrollo de métodos de detección de cuerpos minerales ocultos y en este aspecto de la investigación, la geoquímica está llamada a desempeñar un importante papel.

Nuevas investigaciones geoquímicas realizadas a bordo de un avión mediante determinación del  $Rn^{222}$  y alguno de sus productos de decadencia, como el  $Pb^{210}$ ,  $Bi^{210}$  y  $Pe^{210}$ , parecen representar un valioso auxiliar en la detección de cuerpos minerales ubicados inmediatamente por debajo de la superficie. Mediciones de radón combinadas con otras de helio, ofrecen una esperanza para el descubrimiento de mineralizaciones aún más profundas.

Mayores investigaciones, experiencias y desarrollo de esfuerzos serán necesarios en este campo de la prospección, a los efectos de poder contribuir con eficacia a asegurar las reservas uraníferas del futuro.

### 4. PROSPECCION EMANOMETRICA

En aquellos casos en que las características del terreno no permiten o dificultan la radiometría gamma, en especial cuando la cubierta estéril es potente, la prospección uranífera se vale de la emanometría, técnica ésta surgida en torno a la particularidad del uranio de dar por filiación radiactiva, un radielemento gaseoso de período relativamente largo (3,8 días) denominado radón, que al emitir partículas  $\alpha$  es pasible de ser detectado. Tratándose de un gas que como tal se difunde con mayor o menor facilidad de acuerdo a las características físicas del suelo, la técnica radica en la extracción de muestras de aire telúrico y en la cuantificación del tenor en radón contenido en él.

La aplicabilidad del método está sujeta, entre otras cosas, a la existencia

de una cubierta que actúe como reservorio de la emanación nacida de una fuente profunda y como es obvio, entonces, la movilidad de ella estará controlada por las características de aquélla, en especial por su porosidad, por su homogeneidad, por su grado de humedad y por su potencia.

A los fines prácticos de la prospección, interesa conocer además el grado de alteración o de resquebrajamiento de los terrenos que yacen sobre la fuente emanadora, como también en qué medida están afectados por fracturas, diaclasas, fallas, etc. ya que éstos son parámetros que pueden aumentar o disminuir el coeficiente de difusión del gas, el que seguirá siempre la vía de escape más fácil. Este principio es el tenido en cuenta cuando se echa mano a la emanometría para rastrear fallas u otros accidentes tectónicos aunque ellos no estén directamente relacionados con acumulaciones uraníferas importantes. En estos casos el tectonismo puede modificar el coeficiente de difusión de la roca afectada a causa de su trituración, lo que permitirá una mejor emanación, aunque sea mínima, del gas activo. Por supuesto que la técnica brinda resultados más categóricos cuando el accidente tectónico ha afectado a fuentes emanadoras o ha permitido la circulación de aguas con un contenido en uranio algo anómalo.

La posibilidad de medir la concentración radonífera en el aire del suelo (lo mismo que para el atmosférico), se basa en la capacidad del radioelemento de emitir durante su decaimiento, partículas  $\alpha$  fácilmente identificables por su alto poder ionizante, por su carga eléctrica y por su comportamiento al entrar en colisión con el sulfuro de zinc. En síntesis, la intensidad de emisión de partículas  $\alpha$  será función de la riqueza en radón del aire sometido a ensayo.

#### 4. 1. *Instrumental*

El instrumental utilizado en emanometría ha sido desarrollado en base a determinadas propiedades de la radiación. Inicialmente se especuló con su poder ionizante y en torno a él se elaboró, conjuntamente con una disciplina que se denominó ionometría, un aparato que permitía medir la intensidad de la corriente de ionización provocada por la desintegración del gas activo.

Hasta el año 1966, la CNEA utilizó un equipo desarrollado en sus laboratorios, con el que se aprovechaba ese principio y consta de un electrómetro monofilar acoplado a una cámara de ionización cuyo eje está dado por una varilla de dispersión conectada al primero.

Cargando el electrómetro con electricidad negativa, se observa que al introducir en la cámara el aire conteniendo la emanación radiactiva se origina una corriente de ionización, tanto más intensa cuanto mayor es la desintegración, que provoca por liberación de cargas de signo positivo (partícula  $\alpha$ ) la anulación parcial o total de la que originariamente se aplicara al aparato. Mediante un microscopio adosado al electrómetro se verifica en qué medida se produjo la anulación de cargas y la cifra leída se tomará como concentración en radón expresada en milivolts/segundo.

A partir del año indicado, la CNEA se equipó con otro tipo de instrumento basado en el centelleo provocado por el impacto de las partículas  $\alpha$  sobre una película de ZnS. La parte sensible consiste en un frasco de vidrio de 125 cc. de capacidad, cuya pared interior, salvo el fondo, ha sido tapizada con sulfuro de zinc. Hacia él se orienta la corriente de aire aspirada del suelo. El centelleo provocado por el bombardeo de partículas  $\alpha$  sobre las paredes opacadas del frasco es transmitido a través del fondo lúmpido de éste a un

tubo fotomultiplicador el que, mediante un adecuado sistema electrónico lo traduce en energía mensurable, expresando la actividad  $\alpha$  en cuentas por segundo. La respuesta de este aparato es prácticamente instantánea y ello convierte a la emanometría en una disciplina de un rendimiento comparable relativamente al de otras aplicadas en la prospección del uranio.

#### 4. 2. *Técnica operativa*

##### 4. 2. 1. Toma de muestras

La toma de muestras de aire del suelo es fundamental en el desarrollo de una prospección emanométrica. Debe tenerse siempre presente que las concentraciones radoníferas serán insignificantes o nulas en la zona de aireación del suelo y que se obtendrán datos confiables recién a partir de los 0,50 m de profundidad.

La absorción de aire telúrico se hace mediante una sonda cribada de longitud adecuada, que se hincia en el suelo y se conecta a una bomba manual aspirante-impelente que envía al instrumento sensible el caudal de aire que extrae del suelo. Debe tenerse especial cuidado en que la introducción de la sonda en el suelo no permita la constante penetración de aire atmosférico ya que ocasionaría una dilución del tenor en radón y podría enmascarar la existencia de una concentración anómala.

##### 4. 2. 2. El relevamiento emanométrico

El método emanométrico debe ser considerado una técnica aplicable durante la prospección uranífera detallada de un área o de un probable yacimiento. Como es natural, aprovecha los indicios localizados en la etapa de prospección general, de donde surge que tiene valiosos auxiliares en la radiometría gamma, en la geoquímica y en las cartas de resistividades, apoyándose casi siempre en las técnicas que permitan conocer el espesor de la cubierta moderna y la profundidad en que se encuentra la fuente emanadora (geoelectrica y sísmica).

La técnica de campo consiste en el trazado de perfiles cuya densidad estará dictada por el grado de detalle que se pretenda de la exploración a realizar. Para áreas con indicios conocidos es recomendable iniciar la prospección mediante tomas de aire del suelo cada 10 m sobre perfiles paralelos distanciados 20 m, malla que se cerrará paulatinamente cuando así lo aconsejen las dimensiones de las aureolas anómalas de dispersión.

##### 4. 2. 3. Interpretación

Los valores medidos de concentración radonífera en el sector prospectado permiten, una vez efectuadas las correcciones pertinentes por espesor de la sobrecarga estéril, naturaleza de la cubierta moderna, etc., trazar curvas de isoconcentración que reflejarán en definitiva las características de la fuente emanadora, sus dimensiones y orientación.

#### 4. 3. *Personal, rendimiento, costos*

Una comisión de prospección emanométrica está integrada por un operador y un ayudante, supervisados por un profesional responsable del operativo. El

operador debe tomar nota de las condiciones del terreno, de sus heterogeneidades locales, de los accidentes topográficos y geológicos y de todo otro dato que deba tenerse en cuenta durante la interpretación de los registros por él obtenidos. Estas funciones las desempeña habitualmente un perito minero quien además controlará la corrección de las operaciones inherentes a la toma de muestras que ejecuta el ayudante. A cargo del profesional queda la decisión sobre la malla a elegir, el cálculo del espesor de la cubierta y de los factores de corrección que deberán aplicarse sobre los registros brutos obtenidos en el terreno y, por supuesto, la interpretación final de los mismos.

El rendimiento de una comisión como la descrita y que utilice un emanómetro centellométrico, se traduce en un promedio de 120 lecturas por jornada de 8 horas a un costo de u\$s 11,4 la hectárea.

#### 4. 4. *Comentario final*

A partir del año 1958 la Gerencia de Materias Primas de la CNEA incorpora la emanometría en sus programas de prospección uranífera, siendo cada vez más frecuente su aplicación y más valiosos sus resultados, entre los que se registran la solución de problemas estructurales, la localización y ampliación de varios yacimientos (Rodolfo, Dr. Baulés, Los Adobes, etc.), y la incorporación de nuevas áreas de interés, a los programas de exploración física.

La experiencia recogida a través de esos años ha permitido depurar técnicas tanto operativas como de interpretación y considerar a esta disciplina como un elemento valioso en la prospección del uranio. Actualmente se ha encarado la formación de nuevos especialistas los que una vez capacitados permitirán aplicar esta técnica en diversas manifestaciones simultáneamente.

#### 5. METODOS GEOELECTRICOS

Como un método indirecto de prospección uranífera y a veces como complemento de las técnicas directas, la Gerencia de Materias Primas de la CNEA aplica por medio de su sector Geofísica, diversos métodos geoelectrónicos tendientes a determinar ya sea discontinuidades litológicas, profundidad del nivel de agua o el "bed rock" o la existencia de accidentes tectónicos, siendo los más empleados los de resistividad eléctrica.

La confección de cartas de resistividades se efectúa sistemáticamente cuando las técnicas directas de prospección, especialmente la emanometría, indican la relación probable uranio-estructura o cuando esta última juega un papel perturbador en la continuidad de la mineralización localizada.

En casos especiales y poco numerosos hasta ahora se ha aplicado el método de potenciales naturales y menos frecuentes aún han sido las oportunidades en que debió ensayarse la metodología clásica por potenciales inducidos. Las características de nuestros yacimientos uraníferos no requieren la aplicación de otros métodos que no sean los de resistividad.

En la actualidad la Gerencia de Materias Primas cuenta para la aplicación de métodos geoelectrónicos con resistímetros a corriente alternada de 4 ciclos/segundo de frecuencia, de fabricación sueca y otros de corriente continua desarrollados en la CNEA por los sectores de Geofísica y Radimetría.