

RADIOGEOLOGIA Y SUS APLICACIONES EN VENEZUELA ¹

por el
Dr. Víctor M. López²

La denominación de esta nueva rama de la Geología ha sido materia de controversia; de allí que encontramos los siguientes nombres para el mismo tipo de estudio:

Geología Nuclear;
Geología de los Isótopos;
Radiogeología;
Geología de los Minerales Radiactivos.

De estos nombres, quizás el más adecuado sería el de Radiogeología, empleado por primera vez por Vernadsky, quien en el año de 1933 dictó en París algunas conferencias sobre este tema y publicó, en 1935, una obra titulada **Los Problemas de la Radiogeología**.

Alcances de la Radiogeología

Evidentemente estamos viviendo una etapa técnico-social que está consumiendo los depósitos de petróleo y

1. Trabajo presentado en el II Simposium de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales el día 29-5-64.
2. Profesor de la U.C.V. Individuo de Número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales.

En los comienzos del siglo XX, cuando nuevas y revolucionarias ideas fueron introducidas a las ciencias físicas, se le planteó al investigador de las rocas el problema de encontrar sustancias radiactivas; ya en los comienzos de la Física Atómica, los experimentos se llevaban a cabo con minerales radiactivos de las series del uranio y el torio.

A medida que la Física Atómica avanzó en sus conceptos sobre la estructura de los elementos, se hizo más y más intensa la búsqueda de minerales radiactivos. Esta necesidad ha servido de base para establecer nuevos conceptos en las ciencias geológicas que han dado origen a una nueva rama de la Geología, denominada Radiogeología. Esta se propone el estudio de la radiactividad de nuestro globo, de todas sus aplicaciones y de todas sus consecuencias; no solamente desde un punto de vista utilitario inmediato, sino también como medio para investigar la posible influencia de la radiactividad sobre los fenómenos geológicos en general. Esta nueva rama de la Geología está, pues, íntimamente ligada a la Física Atómica y a la Química en el aspecto electrónico del átomo.

ESPECIES (en orden alfabético)	FORMACIONES (en orden alfabético)	
	Agua Clara	Agua Linda
Loxocncha cyrtan v. d. Bold		
Loxocncha fischeri (Brady)		
Loxocncha lapidiscola Hartmann		
Loxocncha lewis Brady		
Loxocncha rohri v. d. Bold		
Loxocncha reticularis Edwards		
Loxocncha rugosa v. d. Bold		
Luvula sp. B v. d. Bold, 1963		
Munseyella minutia (v. d. Bold)		
Munseyella mihlemanni v. d. Bold		
Munseyella punctata v. d. Bold		
Munseyella sp. B v. d. Bold, 1963		
Munseyella n. sp. C		
Neocaudites neyianii Puri		
Neocaudites triplicistrata (Edwards)		
Orionina fragilis v. d. Bold		
Orionina serrulata (Brady)		
Orionina similis v. d. Bold		
Palaeosoa vandenboldi Hartmann		
Parakritthe vernunfi (v. d. Bold)		
Pellicistoma aff. kendagensis (Kirmgol)		
Pellicistoma magniventra Edwards		
Pellicistoma aff. spuria v. d. Bold		
	Casupal (= Bachacal)	
	Caujarao	
	Cerro Pelado	
	Cubagua, afloramientos	
	Cubagua, pozos, parte superior	
	Cubagua, pozos, parte inferior	
	Cuéparo	
	Cumaná	
	Freites	
	Husito	
	Huso	
	Menecito	
	Oficina	
	Querales	
	Socorro	
	Urumaco	
	Subreciente, Lago de Valencia	
	Reciente, Lago de Valencia	
	Reciente, aguas salobres	
	Reciente, aguas marinas	

carbón, suplidores de la casi totalidad de la energía requerida por las industrias y nuestro sistema de vida.

Ya hoy se habla en términos de décadas para la extinción de estos depósitos, y a las generaciones futuras no les quedará más remedio que buscar en otros materiales la energía requerida para su subsistencia social e industrial.

Sabemos, para descanso de nuestras conciencias, que, aunque se ha derróchado la energía acumulada por la naturaleza en las formas de petróleo y carbón, también se ha avanzado enormemente en el concepto de la materia que forma el Universo. Aceptada la teoría relativística de Einstein, se concluye que la masa que conforma la materia no es otra cosa que una condensación de la energía.

En el año de 1905, Albert Einstein lanzó la idea de que el Universo está solamente compuesto por energía y materia, y que la materia y la energía son manifestaciones diferentes de la misma cosa. Hasta ese momento la materia se consideraba completamente diferente de la energía. Einstein expresó, después de un detallado análisis matemático, que la relación existente entre energía y materia puede indicarse mediante la fórmula:

$$E = m \cdot c^2$$

donde m representa la masa en gramos, c la velocidad de la luz en centímetros por segundo y E el valor de la energía en ergios. Estudiando estas cantidades se observa que una pequeña cantidad de materia es equivalente a una enorme cantidad de energía. Actualmente, la transformación artificial de materia en energía no constituye un proceso simple ni económico. Para ello se utiliza la energía que desprenden minerales radiactivos de las series del uranio, el actinio y el torio.

Estos minerales poseen la propiedad de desintegrarse, es decir, de transformarse en otras sustancias mediante la emisión de partículas en lo que se ha denominado radiación radiactiva. Se produce una transmutación natural. El efecto evidente de estas transformaciones consiste en la disminución lenta de los elementos radiactivos naturales a medida que se produce un aumento de los elementos que ellos originan. Es así cómo los minerales radiactivos de uranio, actinio, torio y otros van en disminución progresiva mientras aumentan los residuos o productos finales de la descomposición. La desintegración de los elementos radiactivos produce energía. Esta constituye el objeto de nuestra preocupación, por cuanto podemos y debemos utilizarla para economizar los otros minerales de agotamiento rápido y de constante uso como productores de energía.

Es deber, pues, de nuestra sociedad, establecer métodos de investigación que estén orientados hacia la consecución de estos minerales, tal y como se hizo hace cincuenta años para establecer los métodos que ayudaron a descubrir los enormes depósitos de petróleo en Venezuela y en otras partes del mundo.

El avance técnico, en lo que respecta a la Física Atómica, es inmenso. Los métodos de estudios para las investigaciones de tipo geológico ocupan volúmenes enteros pero, en lo que a Venezuela atañe, hasta el presente nos hemos contentado con leer ávidamente la literatura publicada al respecto. Hasta ahora poco o nada se ha hecho para llevar estos conocimientos a la práctica de campo o al laboratorio.

Difícilmente se puede llevar a cabo un estudio de esta naturaleza sin tener el equipo adecuado; y, sobre todo, sin contar con personas idóneas

para manejar este equipo e interpretar los resultados obtenidos.

Debido a estas restricciones, difíciles de sobrepasar en las actuales circunstancias, estamos intentando iniciar investigaciones en el laboratorio. Nos contentamos con estudiar muestras recogidas en localidades bien definidas e investigar sus propiedades radiactivas, dando a conocer los resultados obtenidos a los institutos y profesionales interesados. Creemos que de esta manera comenzará el estudio formal de la Radiogeología en Venezuela, similarmente a como se inició el estudio de la Geología nacional. Un grupo de científicos entusiastas fundaron, hace aproximadamente veinticinco años, el Servicio Técnico de Geología y Minería del Ministerio de Fomento, y luego ese mismo grupo fundó la Escuela de Geología de la Universidad Central que tanto provecho ha traído al país, tanto en el aspecto científico como en el económico.

En el Laboratorio de Investigaciones Petrográficas y Minerográficas de la Escuela de Geología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela se iniciará una serie de trabajos con fines docentes, prácticos y de investigación. El desarrollo de los trabajos se ha planificado en varias etapas según la posibilidad de adquisición de los equipos necesarios y de acuerdo con la formación progresiva de personal entrenado en el manejo de éstos, así como la interpretación de los resultados de las mediciones.

Es imprescindible, en nuestros días, que los futuros ingenieros y geólogos obtengan un conocimiento práctico del manejo de la instrumentación que, posible y probablemente, utilizarán en más de una ocasión en el ejercicio de su carrera profesional. Los campos prácticos donde se encontrarán frente a este problema son:

1º) La exploración para descubrir yacimientos radiactivos, ya que hay un gran afán en todo el mundo por encontrar depósitos de minerales radiactivos para ser utilizados como combustibles en los reactores atómicos.

2º) La evaluación del contenido de material radiactivo de los yacimientos. Este factor es importante para la determinación de la productividad de una explotación racional de las rocas. Veamos un ejemplo: el uranio está contenido en todas las rocas graníticas, pero su contenido es tan bajo que no justifica una explotación racional debido a que hay formaciones más ricas en contenido de uranio y en cantidad suficiente para satisfacer la demanda actual. Pero el panorama de las necesidades de material radiactivo cambia rápidamente y, según la experiencia del pasado, siempre en sentido de necesidades ascendentes. En comparación con las reservas comprobadas de energía aprovechable de petróleo y carbón, las reservas comprobadas de energía aprovechable de yacimientos radiactivos por medio de los reactores nucleares son superiores.

3º) La determinación de la edad geológica de formaciones de rocas por mediciones radiogeológicas, procedimientos químicos para la determinación de los productos de descomposición de los elementos radiactivos incluidos en las formaciones geológicas cuando se sedimentaron e investigaciones conexas a este tema.

El instrumental que se está adquiriendo en la primera fase del desarrollo de este programa permite efectuar ciertos tipos de trabajos que consideraremos en detalle al incluirlos en los tres grupos de objetivos mencionados.

Así habrá para las exploraciones, en la etapa inicial, un equipo portátil con detector de tipo Geiger-Müller, estudiándose técnicas para la diferenciación de las señales producidas por fuentes radiactivas, de las producidas por la radiactividad ambiental en la que estamos literalmente sumergidos, aun en la ausencia de fuentes radiactivas concentradas. Este problema de la radiactividad ambiental es tomado en cuenta en las mediciones cuantitativas de actividades, debido a que las señales generadas por ella son normalmente un múltiplo de las señales generadas por yacimientos con contenido de elementos radiactivos. Como es sabido, la radiactividad ambiental es generada por varios factores:

a) Los gases radiactivos, radón y torón, que salen continuamente de la superficie terrestre y que son producidos por la desintegración de los elementos radiactivos naturales, uranio y torio, que están distribuidos en toda la corteza terrestre.

b) Los rayos cósmicos que inciden sobre la Tierra como producto de los procesos nucleares en las estrellas y en el Sol.

c) Las radiaciones originadas por elementos radiactivos naturales que se encuentran en la cercanía (por ejemplo, potasio 40) y, finalmente,

d) La radiación de los elementos radiactivos artificiales producidos en los ensayos con armas nucleares y termonucleares y que se han mantenido en la atmósfera y la Tierra. Normalmente esta última componente es muy pequeña, pero puede crecer apreciablemente hasta cierto intervalo después de ocurrida una explosión atómica. Todos estos factores de la radiación ambiental producen una señal

en los detectores de radiactividad que se llama "efecto de cero", "ruido de fondo" o, en inglés, **background**.

En una segunda etapa de la investigación se prevé la utilización de detectores de centelleo portátiles con sensibilidad aproximadamente cien veces mayor que la de los detectores Geiger.

Laboratorio: Para la evaluación cuantitativa del contenido en minerales radiactivos naturales de las rocas, se ha previsto para la primera etapa un contador de centelleo con cristal en forma de pozo, con mayor sensibilidad y eficiencia en el conteo. Este contador está protegido por un blindaje de plomo de 5 cm de espesor para reducir el "efecto de cero". Este detector sirve para la medición de la radiación gamma de las muestras. Como instrumento de conteo usaremos un contador diferencial llamado escalímetro, de alta sensibilidad y con dispositivo de discriminación de la energía de los rayos gamma emitida por las muestras, y un contador integrador —**ratemeter**— con las mismas características. Posteriormente se propone completar el equipo con un analizador de impulsos para el análisis completo del espectro energético de los emisores gamma, un dispositivo para conteo en coincidencia y anticoincidencia aumentando apreciablemente la sensibilidad de la instalación, y un contador en corriente de gases para medición de radiaciones beta.

En lo que se refiere al proyecto de investigación nos proponemos, en la primera fase, hacer determinaciones de la edad geológica de rocas que contienen potasio radiactivo 40 (por ejemplo, en pegmatitas).

El concepto básico es el siguiente: hay dos tipos fundamentales de radiactividad: la natural y la artificial. Ambas expresan la tendencia del nú-

cleo atómico de regresar a un nivel energético estable cuando, por razones varias, se encuentra en un nivel energético inestable. En el caso de los elementos radiactivos naturales con número atómico mayor de 81, la inestabilidad energética se debe a que el núcleo logra un tamaño tal que las fuerzas de repulsión nuclear se encuentran en un desequilibrio dinámico con las fuerzas de cohesión nuclear. El camino escogido por estos tipos de núcleos para alcanzar un nivel estable se puede simplificar diciendo que se eliminan las partículas sobrantes bajo forma de radiación alfa (formada por un grupo de dos neutrones y dos protones) conjuntamente con reajustes de equilibrio energético por emisión de radiación beta (con masa electrónica) y radiación gamma. Estos reajustes energéticos se hacen en forma sucesiva, produciendo lo que se conoce como cadena de desintegración radiactiva natural. Estas cadenas se agrupan en cuatro familias principales, como sigue: familia del uranio, con el elemento principal ${}_{92}\text{U}^{238}$, el cual tiene una vida media de $4,5 \times 10^9$ años para terminar en el elemento estable: Pb^{206} ; la familia del torio, con el elemento ${}_{90}\text{Th}^{232}$, con una vida media de $1,39 \times 10^{10}$ años, terminando en el elemento estable ${}_{82}\text{Pb}^{208}$; la familia actínica con el actinouranio ${}_{92}\text{U}^{235}$, que tiene una vida media de $7,07 \times 10^8$ años y que termina con el elemento estable ${}_{82}\text{Pb}^{207}$; y por último la familia del neptunio con el ${}_{94}\text{Pu}^{241}$, con vida media de 10 años y elemento final estable ${}_{83}\text{Bi}^{209}$.

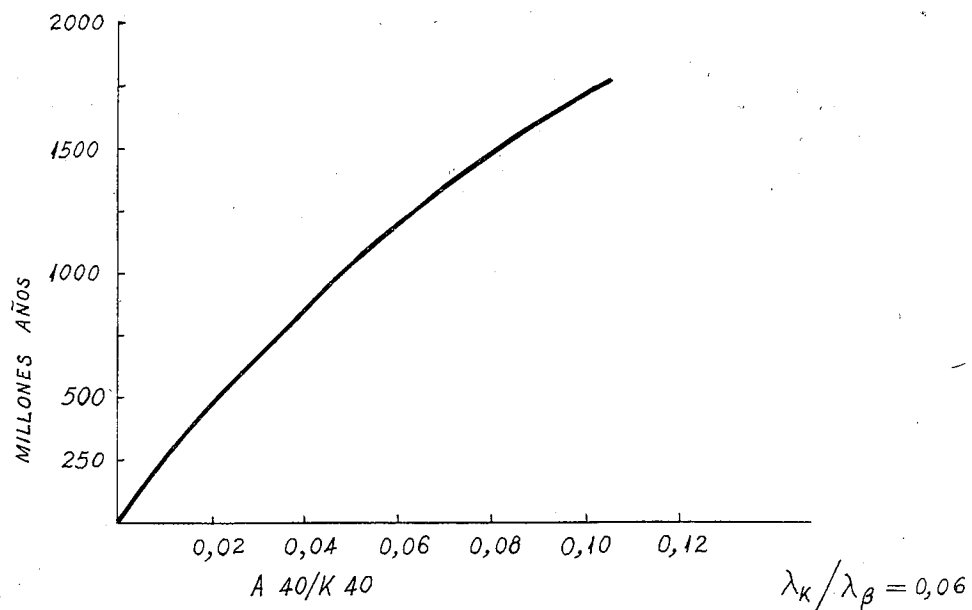
Además de las familias radiactivas naturales enumeradas y de sus productos de desintegración intermedia, en la naturaleza se encuentran otros elementos bajo la forma de isótopos radiactivos: ${}_{19}\text{K}^{40}$, ${}_{37}\text{Rb}^{87}$, ${}_{62}\text{Sm}^{148}$, ${}_{71}\text{Lu}^{176}$, ${}_{75}\text{Re}^{187}$ y ${}_{83}\text{Bi}^{209}$.

De estos elementos, el que más nos interesa para fines radiogeológicos es el potasio 40; en primer lugar, porque el potasio está distribuido con uniformidad en la corteza terrestre y, en segundo lugar, porque su abundancia relativa (es decir, la relación entre la cantidad de átomos del isótopo radiactivo natural con respecto a la cantidad total de átomos de los isótopos que forman el potasio químico) es apreciable: 0,012 por ciento. Más importante todavía es que el K 40 tiene una vida media muy larga: $1,3 \times 10^{10}$ años, así que se conserva apreciablemente en el transcurso de las edades geológicas. La determinación de la edad geológica de una roca que incluye potasio 40 en su formación se basa en el siguiente razonamiento:

El potasio 40 se desintegra por medio de dos procesos: primero, por emisión beta transformándose en calcio; y, segundo, por captura de un electrón K de la capa atómica acompañado de emisión de radiación gamma, transformándose en argón 40.

Es decir que, entre otros, la desintegración del potasio 40 produce el elemento argón 40. La cantidad de este subproducto de la desintegración depende de la velocidad con la cual se efectúa, caracterizada por la vida media del K 40; y, si se encuentra en un sistema encerrado —como, por ejemplo, en los cristales de una formación de roca— puede dar el tiempo transcurrido desde que fue encerrado en la roca, es decir, la edad geológica de la roca misma.

El procedimiento básico consiste, entonces, en averiguar con un contador de centelleo muy sensible si hay radiación gamma en la muestra proveniente del potasio 40 (energía de la radiación: aproximadamente 1,45 MEV). Después, por un procedimiento químico que vamos a esbozar, se extrae el argón, se mide y se calcula



la edad geológica de la roca por la vida media del potasio y de la fracción que se desintegra por el proceso de captura K.

A grandes rasgos, se procede químicamente de la siguiente manera: en el caso de pegmatitas, se muele la muestra hasta un tamaño de 120 mesh, se calienta con sodio metálico hasta 850° C en un horno de alto vacío, liberándose de esta manera el argono, que se purifica con calcio. La presión gaseosa resultante en el horno, y que proviene de la liberación del argono, se mide con un medidor de MacLeod. Estudios detallados¹ han mostrado que la contaminación con argono atmosférico es muy pequeña (entre 1 y 10%).

Tomando el valor 0,06 para la relación que existe entre la constante de desintegración por proceso de captura de K y por proceso de desintegración beta^{1,2} se puede calcular el

tiempo transcurrido para la producción de la cantidad de argono encontrado en la roca (ver curva).

También se puede trazar una curva entre el tiempo transcurrido y la relación entre el A 40/K 40 presentes en la muestra. Estos cálculos coinciden con los valores obtenidos por el análisis de la cantidad de plomo de origen radiactivo encontrado en las mismas muestras, como subproducto de la desintegración del uranio. Este último método es muy laborioso, necesitándose equipos de espectrografía de masa. Estos métodos se pueden utilizar y desarrollar para otro tipo de rocas.

Como última observación, quiero mencionar que en estas mediciones debemos tener cuidado con la radiación del potasio 40 contenido en el cuerpo humano. Una persona que pesa 75 kg, tiene aproximadamente 260 gr de potasio, del cual el isótopo po-

tasio 40 representa 31 miligramos. La radiación resultante proveniente del K 40 humano se calculó y fue medida³ en 0,01 microcurie, es decir, 370 desintegraciones elementales por segundo. No obstante esto, hay métodos muy eficaces para eliminar esta interferencia.

Agradecimientos

Antes de concluir, quiero hacer referencia de mi agradecimiento al geólogo Julio Alfredo Rodríguez Alemán y al doctor Maximiliano Schuster, por su cooperación en la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) M. H. MacGregor and M. L. Wiedenbach: **Proceedings of the Conference on Nuclear Processes in Geological Settings**; William Bay, Sept. 1953.
- 2) R. E. Lapp and H. L. Andrews: **Nuclear Radiation Physics**; Prentice-Hall, 1955.
- 3) J. Jeanmair et J. Chameaud: "Essai d'utilisation de la spectrometrie gamma humaine pour le controle de la contamination chez les mineurs"; **Radiological Health and Safety**, vol. II; Viena, 1964.
- 4) R. D. Nisinger: **Minerals for Atomic Energy**; D. Van Nostrand; New York, 1955.
- 5) H. Faul (ed.): **Nuclear Geology**; Wiley; New York, 1954.
- 6) K. Rankama: **Isotope Geology**; McGraw-Hill; New York, 1954.
- 7) S. Glasstone: **Sourcebook on Atomic Energy**; D. Van Nostrand; Princeton, 1958.

1, 2. Ver bibliografía al final.