

REACTORES DE FISION ... ¡EN LA ERA PRECAMBRICA!

Eduardo R. Felizia

INTRODUCCION

El 2 de diciembre de 1942, el físico italiano Enrico Fermi y sus colaboradores consiguieron producir y controlar una reacción de fisión en cadena autosustentada. La primer "pila atómica" —como fue denominada en aquellos días— consistía en una masa de 60 ton. de uranio en bloques, distribuidos en una matriz de 385 ton. de grafito a modo de generador y reflector. La potencia generada por la pila era de sólo 2 kW.

Este acontecimiento fue considerado como el comienzo de una nueva era en la historia de la humanidad, la era nuclear.

Sin embargo, actualmente es posible afirmar casi con seguridad que el primer reactor de fisión construido por el hombre fue precedido por reactores naturales que funcionaron en la era precámbrica, unos 1 800 millones de años atrás.

En efecto, en setiembre de 1972 el Commissariat à l' Energie Atomique (la Comisión de Energía Atómica de Francia) anunció un sorprendente descubrimiento: en la mina de Oklo —República de Gabón; Africa— se habían detectado depósitos de uranio cuya composición isotópica permitía conjeturar la ocurrencia de una reacción de fisión en cadena espontánea en un pasado remoto.

Posteriores trabajos de investigación multidisciplinarios, fruto de una amplia colaboración internacional, consolidaron aquella conjetura inicial y enriquecieron con valiosos aportes el campo de la geoquímica nuclear.

El sitio donde se había producido la reacción presentaba varios bolsos ricos en mineral de uranio; se estimó que aproximadamente 500 ton. de uranio estuvieron involucradas en el proceso de fisión y que la energía liberada total fue del orden de 10^{11} kWh. En algunos puntos se constataron flujos neutrónicos del orden de 10^{21} n/cm² y muestras del mineral con una

Boletín SA

concentración
concentración

El es
hasta el punt
geológicas per

LOS REA

El territorio de
tico que present
La cuenca de B
dicha formación
de años, por lo
precámbrico B.

Los dep
ubicados sobre u
superior de la fo

Se ident
entre 10 y 20 m
mineral de urani
bloques aplanado

La conce
resultado de una s
granos de uranini
sales próximas y d
densidad— se acu

La concen
sente en la atmós
uranio oxidado se
las aguas pasaron a
ríos. Finalmente,
naturaleza mecánica

concentración isotópica de uranio-235 del 0,29%, notablemente inferior a la concentración actual de 0,72% en uranio natural.

El estado de preservación de estos "reactores fósiles" era excelente hasta el punto que las distribuciones de uranio halladas en las formaciones geológicas permitieron estimar en muchos casos las tasas de reacción.

LOS REACTORES DE OKLO

El territorio de Gabón yace sobre una de las cuatro formaciones del tipo granítico que presenta el continente africano, la denominada *formación congolense*. La cuenca de Franceville, donde está situada la mina de Oklo, pertenece a dicha formación; la edad de sus sedimentos fue estimada en 1 800 millones de años, por lo tanto, corresponde geológicamente a la orogénesis del período precámbrico B.

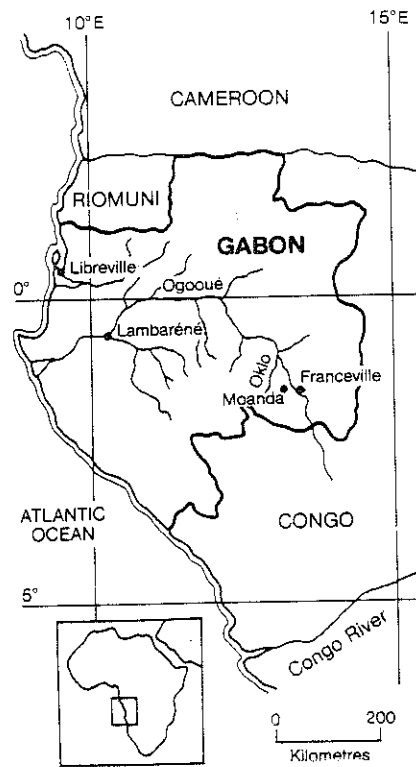
Los depósitos de uranio de Oklo son de tipo sedimentario y están ubicados sobre un estrato de 4 a 10 metros de espesor, que constituye la capa superior de la formación de piedra arenisca de Franceville.

Se identificaron seis sitios de reacción, cada uno de una longitud de entre 10 y 20 metros y un espesor medio de un metro. Los sitios, ricos en mineral de uranio, se presentan como acumulaciones compactas en forma de bloques aplanados en la dirección de los estratos.

La concentración progresiva de uranio en estos depósitos podría ser el resultado de una serie de procesos, el primero de ellos de naturaleza mecánica: granos de uraninita (uranio parcialmente oxidado), provenientes de rocas basales próximas y de restos volcánicos fueron erosionados y —debido a su alta densidad— se acumularon en lechos sedimentarios.

La concentración de uranio fue favorecida también por el oxígeno presente en la atmósfera precámbrica, que dió lugar a un segundo proceso: el uranio oxidado se transformó en compuestos solubles, los que arrastrados por las aguas pasaron a formar nuevos depósitos en los deltas y riberas de antiguos ríos. Finalmente, procesos de reducción de origen orgánico y fenómenos de naturaleza mecánica debidos a la actividad tectónica habrían contribuido a la

formación natural de los bolsones ricos en uranio.



Ubicación de la mina de Oklo

El uranio natural que se encuentra en los depósitos actuales contiene tres variedades isotópicas: el uranio-234 (0,0058%), el uranio-235 (0,72%) y el uranio-238 (99,274%)¹, de las cuales sólo el uranio-235 es fisiónable por neutrones de todas las energías.

¹Porcentaje en peso

Hoy en día se sabe que es imposible producir una reacción nuclear de fisión en uranio natural moderado con agua común, debido a que el uranio-238 y el agua común absorben demasiados neutrones de fisión, lo cual impide que ocurra la reacción.

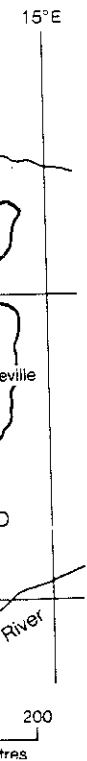
¿Cómo se explican entonces las reacciones de fisión en los depósitos de Oklo?

La respuesta surge al analizar la variación temporal de las proporciones relativas de las dos variedades isotópicas fundamentales que componen el uranio natural, teniendo en cuenta sus respectivas constantes de desintegración. El uranio-238 tiene un período de 4.5×10^9 años, mientras que el del uranio-235 es del orden de 7×10^8 años; por lo tanto, la proporción relativa del nucleido físil en el período precámbrico —estimada entre el 3 y 5%— era mayor que en la actualidad.

En otras palabras, el combustible de los reactores fósiles de Oklo era uranio natural enriquecido y el moderador agua liviana; en tal sentido los reactores fósiles son los ascendientes más remotos de los actuales PWR (Pressurized Water Reactor - Reactor de Agua a Presión), excepto en que el combustible para los PWR debe ser el uranio con una concentración del isótopo uranio-235 del 30%, es decir, enriquecido artificialmente.

Por otra parte, para que la reacción de fisión en los reactores de Oklo se haya mantenido en equilibrio debe haber existido un mecanismo estabilizador, de modo tal que cualquier aumento de la potencia diera lugar a una reducción en el coeficiente de multiplicación neutrónica y viceversa. Incluso, para que la reacción haya continuado durante largos períodos (se ha estimado que los reactores naturales habrían funcionado durante períodos de entre 200 000 y 600 000 años), a pesar de los cambios en la composición isotópica de la masa de uranio, debe haber existido un mecanismo de compensación del nivel de reactividad.

La hipótesis acerca de un proceso continuo de agregación de uranio que permitió que la reacción funcionara en etapas se consideró poco probable. Se atribuyó mayor plausibilidad a mecanismos de compensación debidos a la formación de "venenos neutrónicos" (boro, tierras raras) y, principalmente, al efecto regulador del agua. El proceso natural de regulación habría sido el siguiente:



de Oklo

los depósitos actuales contiene 0,58%), el uranio-235 (0,72%) y el uranio-235 es fisionable por

- a) Cualquier aumento de potencia —y por consiguiente, de la cantidad de calor generado por la reacción— provocaba la evaporación del agua, con lo cual la potencia era reducida como consecuencia de la variación negativa de la densidad del medio moderador;
- b) al disminuir la potencia, el sistema combustible-moderador reducía su temperatura hasta el punto de condensación del agua y nuevamente recomenzaba el ciclo de aumento de potencia.

El sistema no se habría comportado en forma explosiva, sino más bien con tasas modestas de reacción a niveles de potencia de entre 10 y 25 kW.

En aquella época, los procesos señalados tenían lugar a una profundidad de algunos miles de metros bajo el suelo; la erosión posterior, producida durante millones de años, hizo que los restos fósiles de los reactores fueran descubiertos a sólo algunos centenares de metros bajo el suelo.

Los tiempos involucrados desde la extinción de las reacciones de fisión en los reactores de Oklo hasta nuestros días son tan grandes que la actividad de los productos de fisión generados es demasiado débil para suministrar datos que posibiliten la reconstrucción precisa de los parámetros de dichas reacciones. La herramienta analítica de mayor utilidad fue la espectrometría de masa, la cual permitió determinar la distribución en el sitio de los isótopos del uranio y del plutonio, y también la de los ahora estables —y por ende inactivos— productos de fisión.

Muestras de variedades isotópicas del neodimio y de otros nucleidos, extraídas del sitio, presentan una notable correlación entre sus abundancias relativas y las que resultarían de distribuciones características provenientes de reacciones de fisión, una vez efectuadas las correcciones correspondientes.

Los reactores fósiles de Oklo ofrecieron también una oportunidad única para estudiar la migración de productos de fisión del uranio, alojados en un "repositorio" natural durante un período excepcionalmente largo. Los estudios realizados demuestran que el escape de productos de fisión fue muy limitado.

Nucleidos pesados tales como el torio (resultante del decaimiento del plutonio-240 y del uranio-236), el bismuto (que resulta del decaimiento del plutonio-241 y del uranio-237), el neodimio, el samario, el gadolinio y el rutenio permanecieron confinados en los depósitos. El kriptón y el xenón por el

consiguiente, de la cantidad de
aba la evaporación del agua, con
nsecuencia de la variación nega-
r;

mbustible-moderador reducía su
ación del agua y nuevamente re-
cia.

n forma explosiva, sino más bien
otencia de entre 10 y 25 kW.

dos tenían lugar a una profundi-
; la erosión posterior, producida
s fósiles de los reactores fueran
ros bajo el suelo.

inción de las reacciones de fisión
on tan grandes que la actividad
ado débil para suministrar datos
parámetros de dichas reacciones.
e la espectrometría de masa, la
sitio de los isótopos del uranio
tables —y por ende inactivos—

l neodimio y de otros nucleidos,
relación entre sus abundancias
s características provenientes de
rrecciones correspondientes.

t también una oportunidad única
isión del uranio, alojados en un
ocionalmente largo. Los estudios
ctos de fisión fue muy limitado.

(resultante del decaimiento del
que resulta del decaimiento del
l samario, el gadolinio y el rute-
s. El kriptón y el xenón por el

contrario migraron totalmente, probablemente durante el período de funciona-
miento de los reactores◇

REFERENCIAS

- * IAEA, *The Oklo phenomenon*, Proceedings of a symposium on the Oklo phenomenon, organized in co-operation with the French Atomic Energy Commission and the Government of the Republic of Gabon, Libreville, Gabon (June 1975).
- * PEARCE, R.M., *The naked reactor*, Ascent (Summer 1980).