

nuestro mundo industrializado. La energía requerida para el curado electrónico de revestimientos es el 7% de la necesaria por vía térmica. La energía precisada para esterilizar con electrones o rayos gamma los alimentos es mucho menor que la requerida utilizando el calor. Al aumentar la competencia para conseguir combustibles limpios, el costo de la energía es posible que sea el elemento esencial. Es preciso un análisis detallado de todos los gastos relativos a la energía a fin de determinar si resultará ventajoso para nuestra sociedad esforzarse en conservar la energía gracias a la sustitución generalizada de los procesos térmicos por los de haz electrónico. Quiero terminar con este reto.

El futuro aparece brillante y esperanzador. El presente no es demasiado malo tampoco. El momento es oportuno.

## El fenómeno de Oklo

Por Roger Naudet\*

**Tema de un Simposio internacional del OIEA que se celebrará del 23 al 27 de junio de 1975**

En el verano de 1972, los investigadores del Commissariat à l'énergie atomique de Francia hicieron un descubrimiento sorprendente: en una época muy remota se habían iniciado espontáneamente reacciones en cadena de fisión en un yacimiento de uranio del Gabón; durante centenas de millares de años, ciertas partes de este yacimiento habían funcionado lo mismo que nuestros modernos reactores nucleares. Los estudios realizados posteriormente revelaron que los lugares en que se produjeron las reacciones habían permanecido en un estado de notable conservación, lo que permitía su examen detallado.

El OIEA, estimando que el fenómeno de Oklo puede constituir un tema excelente para la cooperación internacional en la investigación básica, ha aceptado la propuesta formulada por el Gobierno del Gabón y el Commissariat à l'énergie atomique de Francia de organizar conjuntamente un simposio sobre esta cuestión. Este simposio se celebrará en Libreville (Gabón) del 23 al 27 de junio de 1975.

Es sabido que de los dos principales isótopos del uranio que poseen radiactividad natural, el  $^{235}\text{U}$  tiene un período de semidesintegración más corto que el  $^{238}\text{U}$  (de  $7,1 \times 10^8$  años frente a  $4,51 \times 10^9$  años). Por ello, la concentración del  $^{235}\text{U}$  en el uranio decrece constantemente con el tiempo; en edades geológicas muy remotas era mucho mayor que ahora (3,65% hace dos mil millones de años frente a 0,72% actualmente).

### UN REACTOR NUCLEAR "FOSILIZADO"

Por ello, hace bastante tiempo que se sugirió la idea de que las reacciones de fisión en cadena podrían haberse iniciado espontáneamente en yacimientos de uranio en una época muy remota, siempre que se diesen ciertas condiciones: concentraciones elevadas de uranio,

\* El Sr. Roger Naudet es jefe del proyecto "Franceville". Trabaja en el Departamento de Física de Reactores y Matemáticas Aplicadas del C.E.N., en Saclay.



La explotación minera de Oklo (Gabón). En primer plano, la zona de los reactores naturales.  
Foto: C.E.A.

ausencia de elementos muy absorbentes de neutrones, presencia de agua. No parecía imposible que estas condiciones llegasen a reunirse, y cuanto más se retrocedía en el tiempo más plausible se juzgaba esta eventualidad.

Sin embargo, la idea no se tomaba demasiado en serio por la siguiente razón. Aún admitiendo que se hayan producido fenómenos de esta naturaleza e incluso que, al menos en algunos casos, mecanismos apropiados hayan permitido que las reacciones continuaran hasta que se produjese una modificación significativa de la composición isotópica del uranio, ¿qué posibilidades habría de hallar algún vestigio? Desde épocas tan remotas — puesto que hay que contar en miles de millones de años — la superficie de la tierra ha sufrido conmociones constantes; además, el uranio es un elemento que se desplaza fácilmente bajo el efecto de las corrientes de agua, de modo que la mayor parte de sus yacimientos se han modificado considerablemente con el paso del tiempo. Por tanto, hubiera sido necesario un

concurso excepcional de circunstancias para encontrar "fosilizado", por decirlo así, un reactor nuclear de tan antigua edad geológica. Ahora bien, este es precisamente el descubrimiento realizado en el yacimiento de uranio de Oklo.

## HISTORIA DEL DESCUBRIMIENTO

La historia de este descubrimiento merece ser recordada. Comenzó con la observación de una ligerísima anomalía isotópica en una muestra de uranio natural durante un análisis de rutina efectuado en el laboratorio de Pierrelatte. Para poner en claro el asunto se hicieron numerosas comprobaciones. Luego, cuando estas comprobaciones revelaron la existencia de otras muestras anómalas, se inició una serie de análisis sistemáticos a fin de encontrar el origen de lo que se suponía que podía ser una especie de contaminación artificial. Se averiguó que, en realidad, se había recibido del Gabón mineral de uranio con una concentración de núcleos fisionables inferior a la normal, y las investigaciones efectuadas revelaron que dicho mineral procedía de la extremidad norte del yacimiento de Oklo. Es más, se constató que ya habían entrado en el circuito industrial grandes toneladas de mineral empobrecido.

Las investigaciones permitieron hallar uranio anormal en los escombros provenientes de un antiguo sondeo realizado en la zona sospechosa, por lo que dicho mineral se examinó con toda minuciosidad. El descubrimiento de productos de fisión en el mineral demostró sin lugar a duda el origen de la anomalía.

Se tomó entonces la decisión de suspender la explotación en esta parte del yacimiento a fin de reservarla para investigaciones científicas. La exploración de las zonas no explotadas del yacimiento permitió después descubrir amplias partes de los lugares de reacción todavía intactas. Estas partes se han estudiado detalladamente por medio de sondeos y se han realizado numerosos muestreos.

## UNA CONCENTRACION DE URANIO MUY ELEUADA

Los lugares de reacción consisten en varios cuerpos compactos de mineral con una concentración sumamente elevada de uranio. En total, intervinieron en las reacciones más de 500 toneladas de uranio (quizá incluso más, pues acaban de descubrirse nuevas masas de mineral). La energía liberada se aproximó a  $10^{11}$  kWh. En determinados puntos el flujo neutrónico integrado excedió de  $1,5 \times 10^{21}$  n/cm<sup>2</sup>, habiéndose encontrado muestras en las que la concentración del isótopo <sup>235</sup>U es sólo de 0,29% (frente a 0,72% en el uranio natural de composición isotópica normal). Para que hayan podido alcanzarse valores tan elevados, han debido existir mecanismos de control sumamente eficaces de las reacciones nucleares; estos mecanismos no se han esclarecido plenamente todavía.

Más notable aún es el estado de conservación de estos "reactores nucleares fósiles". En efecto, el uranio ha conservado tan fielmente su configuración de la época de las reacciones que las distribuciones de los coeficientes de reacción sobre el terreno pueden interpretarse en términos de física neutrónica. Esto supone un concurso verdaderamente excepcional de circunstancias, por lo que cabe esperar que se pueda reconstruir con cierto detalle la evolución de esos fenómenos.

En realidad, es posible estudiar todo un episodio de la historia geológica gracias a los numerosos "trazadores" nacidos de las reacciones nucleares, desde el depósito de concentraciones de uranio sumamente altas, hace unos 1 800 millones de años hasta alteraciones recientes. Aparte de su interés intrínseco, este estudio puede proporcionar abundante información de importancia práctica.