

las explosiones nucleares confinadas y la industria

A principios del año en curso tuvo lugar la segunda reunión de un Grupo de expertos, convocado por el OIEA, para examinar los aspectos prácticos del empleo industrial de las explosiones nucleares confinadas.

El presente artículo reseña parte de la información dada a conocer en la reunión.

En un artículo que apareció en el *Boletín* de abril de 1970 (Vol. 12, N° 2) se exponía la labor realizada por el Grupo de expertos en su primera reunión. Otro artículo del mismo número versaba sobre una memoria preparada en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas acerca de las posibles aplicaciones de las explosiones nucleares de carácter pacífico (ENP) provocadas con fines específicos en dicho país.

A la segunda reunión, que tuvo lugar en la Sede del Organismo, asistieron 64 expertos —de los cuales ocho constituían el Grupo propiamente dicho— de 25 Estados Miembros y de tres organizaciones inter-



Antes ...
El ingenio nuclear
de 40 kilotones
utilizado en el proyecto Rulison
es colocado
en su emplazamiento.
Foto: Los Alamos Scientific Laboratory



... y después.
En esta fotografía, tomada en el punto cero poco después de detonar
el ingenio de Rulison,
puede verse a los observadores recibiendo instrucciones. El técnico (con casco protector)
controla la boca del pozo, cerrada herméticamente,
para detectar eventuales escapes de radiactividad: no hubo ninguno.

Foto: Los Alamos Scientific Laboratory

nacionales: la Organización Mundial de la Salud, la EURATOM y las Naciones Unidas. Se presentaron seis estudios generales acerca del interés que suscita en el ámbito nacional el empleo de las ENP y las actividades a ellas relativas, así como 20 memorias técnicas; además, los participantes en la reunión asistieron a la proyección de cuatro películas, dos de ellas relativas a proyectos de ENP para estimular la creación de yacimientos de gas natural en los Estados Unidos— los proyectos Rulison y Gasbuggy— y otras dos de la Unión Soviética acerca del empleo de explosiones nucleares subterráneas en un caso para extinguir un incendio incontrolado en un pozo de gas, y en otro para crear un embalse. Las cuatro películas se habían proyectado ya para los funcionarios del Organismo.

El Orden del Día de la reunión refleja fielmente el alcance de la labor que se realizaba o se proyectaba realizar en el momento de la reunión: estimular la creación de yacimientos de gas natural y de petróleo; crear cavidades para el almacenamiento de gas natural; el empleo de las ENP en la Unión Soviética para extinguir incendios de pozos de gas y su posible empleo para extinguir las «erupciones» de gas o de petróleo, en general, y para otras aplicaciones tales como facilitar el acceso a yacimientos minerales subterráneos; los efectos mecánicos y sísmicos de las ENP, y la evaluación de sus efectos radiológicos.

Estimulación del flujo del gas

En memorias presentadas por participantes de los Estados Unidos se describen detalladamente los dos experimentos llevados a cabo por el Gobierno de dicho país con la cooperación de patrocinadores industriales. Uno de los dos consultores especiales del Grupo, el Sr. Milo D. Nordyke, del Lawrence Radiation Laboratory de Livermore, California, presentó datos relativos al abastecimiento de gas natural en los Estados Unidos durante los 10 o 20 próximos años, según los cuales se sufrirá una grave escasez a menos que se adopten medidas sin demora para modificar la situación actual. Tanto el proyecto Rulison como el Gasbuggy han dado resultados prometedores, pero quedan pendientes de resolver gran número de problemas de ingeniería antes de poder reducir los costos a un nivel que permita el empleo económico de este método de estimulación del flujo del gas. En particular, quizá haya que emplear varias cargas explosivas nucleares en un mismo lugar para conseguir el resultado apetecido, las cuales se harán detonar simultánea o consecutivamente. En este último caso cada dispositivo explosivo habrá de poseer la robustez necesaria para resistir la sacudida provocada por explosiones anteriores en sus proximidades.

«No obstante», continuó diciendo el Sr. Nordyke, «en este terreno general se ha realizado ya mucha labor... y el problema planteado es, principalmente, un problema de aplicación de la tecnología al empleo de los explosivos que actualmente se elaboran para la estimulación del gas. Si bien esto representará una importante labor de ingeniería, los posibles beneficios económicos parecen justificar ese esfuerzo.»

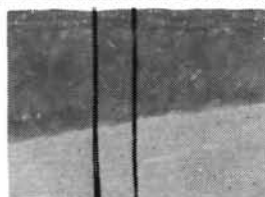
Facilitando el acceso a los minerales

En otro lugar se ha descrito ya detalladamente gran parte de la labor realizada en la esfera de la estimulación del gas. En su memoria, el

LIXIVIACION IN SITU DEL MINERAL

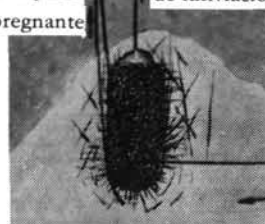
Modalidad tratada por el Sr. Nordyke

Planta de extracción del mineral en la superficie



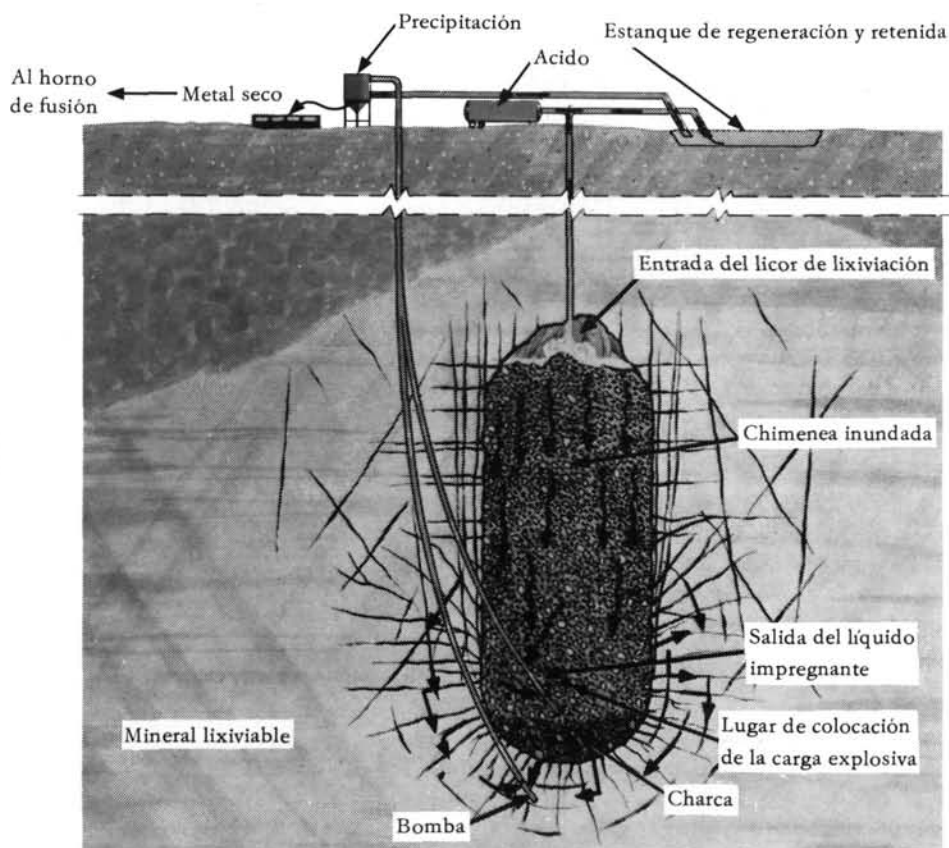
Salida
del líquido
impregnante

Entrada del licor
de lixiviación



Explosión de 75 kt
Mineral lixiviable

0 150 0 500
Metros Pies



Sr. Nordyke pasó a referirse seguidamente a otras posibles aplicaciones de las ENP, tales como la explotación de yacimientos minerales.

«Existen en el mundo entero gran número de yacimientos de minerales cupríferos de baja ley», dijo el Sr. Nordyke, «que contienen grandes cantidades de cobre tan difusamente distribuidas que resulta antieconómico extraer el mineral bien por el método usual de explotación por socavación y derrumbe o por el de remoción de la montera y explotación a cielo abierto. En el caso de yacimientos de óxidos de cobre suficientemente profundos, el empleo de las ENP entrañaría la creación de una chimenea en el yacimiento mineral, seguida por la introducción de una solución de ácido en la parte superior de la misma. A medida que la solución fuera descendiendo, filtrándose a través del mineral quebrantado, el cobre sería lixiviado de las nuevas superficies creadas así como de aquellas fracturas en el seno de la roca a las que pudiera llegar la solución lixivadora.

«El líquido impregnante se recuperaría en el fondo de la chimenea y se bombearía a la superficie, en donde se procedería a la extracción del cobre en instalaciones de separación de tipo usual y se devolvería el ácido a la parte superior de la chimenea para emplearlo en un nuevo ciclo. Esta explotación puede efectuarse siguiendo dos métodos distintos. Uno de ellos es el indicado en la figura, en la que puede apreciarse que se han desviado perforaciones hechas desde la superficie, hasta hacerlas penetrar en la región inferior de la chimenea. En la parte inferior de las perforaciones se instalarían bombas que se emplearían para elevar la solución hasta la superficie. Otra posibilidad sería emplear un sistema de pozo y túnel debajo de la chimenea, con galerías colectoras que partirían radialmente del túnel.»

Esta técnica, señaló el Sr. Nordyke, sería aplicable principalmente en el caso de yacimientos de minerales secundarios u oxidados; ahora bien, la inmensa mayoría de los yacimientos cupríferos de los Estados Unidos se presentan en minerales primarios o en calcopiritas. La explotación de aquellos yacimientos que contengan sulfuros minerales, u otros minerales tales como la molibdenita, pudiera ser viable de encontrarse situados bastante por debajo de la capa freática, en condiciones que hagan posible la oxidación de los sulfuros.

El riesgo principal asociado al empleo de explosivos nucleares para la lixiviación *in situ* era, según manifestó el Sr. Nordyke, el resultante de la presencia de radiactividad en la solución de lixiviación. Esta radiactividad quedaría circunscrita, sin embargo, a la planta de separación o de tratamiento, pudiéndose hacer frente a ella de manera análoga a como se hace frente a otros muchos riesgos industriales.

«Esta aplicación no sólo parece ofrecer un gran aliciente desde el punto de vista económico», dijo el Sr. Nordyke, «sino que las ventajas que entraña en relación con el medio ambiente son muy grandes. Las técnicas tradicionales de explotación de tal tipo de minerales exigen el laboreo del mineral para llevarlo hasta la superficie, o la excavación de una enorme mina a cielo abierto, el tratamiento del mineral en una gran planta montada en la superficie, y la evacuación de la roca tratada en inmensas escombreras. El empleo de la técnica nuclear ofrece la oportunidad de eliminar los peligrosos trabajos de minería, la desagradable visión de las minas explotadas a cielo abierto y de las escombreras, y la contaminación del aire resultante de la calcinación de los sulfuros minerales para conseguir que en ellos se forme y pase a la atmósfera dióxido de azufre.»

En algunas regiones del mundo se hace ya uso, en escala limitada, de la energía geotérmica, bien obteniéndola de perforaciones, en forma de vapor, o bien aprovechando géisers naturales. Una de esas regiones es la de Wairakei, en la Isla del Norte, en Nueva Zelanda. Ahora bien, conforme indicó el Sr. Nordyke en su memoria, la explotación comercial de este tipo de fuentes energéticas «se halla limitada actualmente a aquellas zonas en las que un sistema natural de fracturas interviene para acopiar calor de un gran volumen de roca, y en las que existe suficiente agua natural para actuar como agente termotransmisor».

Una posible aplicación de las ENP podría ser la creación de una chimenea y de un sistema de fracturación conexo, empleando la explosión nuclear para aumentar la permeabilidad de la formación subterránea de roca caliente y poder, de esa forma, obtener energía geotérmica. Las técnicas usuales para el aprovechamiento de esta fuente energética suponen la realización de gran número de perforaciones que atraviesan fracturas que contienen vapor o agua caliente; la aplicación de estas técnicas se halla limitada a casos muy especiales de estructuración geológica, y su eficacia es muy escasa comparada con la parte proporcional de energía que con ellas puede obtenerse del total de energía disponible. En teoría, el empleo de una explosión nuclear subterránea haría posible extraer calor geotérmico de depósitos geotérmicos secos, así como mejorar el rendimiento de la explotación de depósitos fracturados en los que exista una fuente natural de agua subterránea.

En el caso de un depósito geotérmico seco, el método previsto consistiría en introducir agua en el conjunto de la chimenea y sistema de fracturas, inyectándola a través de pozos o de chimeneas contiguas, y en la extracción subsiguiente de vapor sobrecalentado para emplearlo en la producción de energía eléctrica. En el caso de un depósito geotérmico fracturado y en el que existiese una fuente de agua, la chimenea y la zona fracturada desempeñarían la misma función que un pozo de gran diámetro, de manera análoga a lo que ocurre en el caso de la estimulación, mediante un explosivo nuclear, de un yacimiento de petróleo o de gas en una formación de baja permeabilidad.

El Sr. Nordyke estimó que el riesgo principal que llevaba consigo la aplicación sugerida lo constituiría la sacudida sísmica, ya que la totalidad de la radiactividad producida por las explosiones nucleares provocadas permanecería en el subsuelo o dentro del sistema cerrado de circulación. Debido a la magnitud de las explosiones requeridas, y a la naturaleza de las centrales de gran potencia, pudiera ser necesario, antes de construir éstas, asegurar un suministro de vapor suficiente para un período de 30 a 50 años.

Evacuación de desechos radiactivos

«A medida que vaya aumentando el número y el tamaño de los reactores de potencia a lo largo de los próximos 20 o 30 años», dijo el Sr. Nordyke, «las cantidades de desechos radiactivos resultantes de la reelaboración de los elementos combustibles destinados a esos reactores irán aumentando hasta alcanzar proporciones muy considerables... La evacuación de los desechos radiactivos es cara. Además, debido a la capacidad termogeneradora y a la naturaleza química de los desechos, éstos pueden llegar a ser muy peligrosos a menos que se les manipule adecuadamente...

«De concurrir determinadas circunstancias, la evacuación de desechos líquidos de alta actividad en chimeneas o cavidades producidas por explosiones nucleares en formaciones impermeables ofrece cierto número de posibles ventajas. En una masa de roca impermeable, por ejemplo, rocas ígneas o metamórficas, esquistos, o areniscas impermeables, se podría reducir considerablemente la migración de los desechos radiactivos o incluso tal vez eliminarla totalmente. Estas formaciones son mucho más comunes que las permeables que se precisan para la inyección de los desechos. Además, podría recurrirse a ensayos de estanquidad para comprobar la integridad de la chimenea o de la cavidad antes de introducir en ellas los desechos.

«El concepto actualmente en estudio prevé la introducción directa de desechos líquidos de alta actividad en una chimenea nuclear, dejando que el agua se evapore por ebullición hasta quedar reducidos los desechos a una masa sólida. El vapor de agua y los gases nobles se tratarían y filtrarían en la superficie y se liberarían a la atmósfera. Una vez terminado el proceso de evaporación se obturarían los orificios. El contenido energético de la mayor parte de los desechos procedentes de reactores es suficientemente alto para que continúe provocando un aumento de la temperatura, como consecuencia del cual se fundiría la roca en la chimenea o en la zona inmediatamente circundante de la cavidad. Por último, el proceso de dilución debido a la roca fundida y a la conducción del calor conducirá a la solidificación de la roca en fusión y a la retención permanente de los desechos radiactivos.»

De dar resultado, dijo el Sr. Nordyke, esta técnica constituiría «un método de evacuación más rápido, más económico y más seguro de por sí que los demás que se han estudiado... Debe señalarse que esta técnica no podría ser aplicada en cualquier lugar ni sería idónea para la evacuación de todo tipo de desechos radiactivos. Además, es preciso estudiar la cuestión mucho más a fondo antes de que pueda considerarse que se han analizado todos los aspectos de esta técnica.

«No obstante, las enormes ventajas que este método ofrece para la evacuación de desechos de alta actividad en determinados casos, y el hecho de que su empleo conduciría a una evacuación de carácter verdaderamente «permanente», hacen conveniente que se estudie más a fondo esa aplicación.»

En casi todas las aplicaciones que se estudian, dijo el Sr. Nordyke, «existe la posibilidad de contribuir de manera considerable al progreso de la tecnología industrial y, de paso, de reducir las repercusiones de las actividades industriales sobre el medio ambiente».

El Grupo opinó que, sin embargo, debía subrayarse el hecho de que los estudios sobre las aplicaciones de este tipo no tienen todavía más que un carácter preliminar.

Labor realizada en la Unión Soviética

El año pasado se distribuyeron a los Estados Miembros del Organismo tres memorias relativas al estudio de las ENP en la Unión Soviética: en una de ellas se estudiaba la contaminación radiactiva del medio ambiente debida al empleo de ENP y los métodos para pronosticarla, la segunda versaba sobre los efectos mecánicos de las ENP, y en la tercera se examinaban las posibles aplicaciones de las ENP desde el punto de vista de la economía soviética. Esta tercera memoria fue tratada con bastante detalle en este *Boletín*, en el N° 2 de su Volumen 12, aparecido

en abril de 1970, poco después de celebrarse la primera reunión del Grupo de expertos en ENP.

En esta segunda reunión, el Profesor O.L.Kedrovski, de la Comisión Estatal para la Utilización de la Energía Atómica de la Unión Soviética y, a la vez, consultor especial del Organismo en materia de ENP, describió un método en el que se recurría a una explosión nuclear subterránea para extinguir un incendio incontrolado en un pozo de gas natural. Esta aplicación de las ENP fue también el tema de una de las películas a cuya proyección asistieron los miembros del Grupo. Después de tratar sin éxito de extinguir dos incendios de ese tipo empleando los métodos usuales, se decidió, en uno y otro caso, detonar un dispositivo nuclear subterráneo colocado en las proximidades de la perforación incendiada. El principio en que se basa este método es que la presión aplicada a la roca estratificada como consecuencia de la explosión nuclear, puede ser suficiente para aplastar el entubado del pozo y, al mismo tiempo, quebrantar y desplazar la masa de roca inmediata a fin de que la perforación no pueda seguir desempeñando su función. El pozo o perforación queda eficazmente obturado, de forma tal que deja de ser posible que el contenido del yacimiento de petróleo o de gas llegue a la superficie a través de él.

El Profesor Kedrovski señaló que es preciso poner gran cuidado al seleccionar el «horizonte» geológico en el que ha de tener lugar la explosión para este tipo de aplicación, que el pozo al que se aplique la explosión ha de hallarse totalmente aislado, que los pozos circundantes tienen que ser cerrados herméticamente, que es preciso vigilar la cantidad de radiactividad en los pozos y en los horizontes acuíferos, etc.

El Grupo estimó que los análisis empleados en el diseño de los dos proyectos descritos por el Profesor Kedrovski, y la evidente concordancia de los resultados obtenidos con los previstos, llevaban a la conclusión de que este tipo de aplicación podía considerarse como un medio industrial viable para hacer frente a accidentes análogos en el futuro. El Grupo señaló que «como en el caso de la estimulación del gas, debía lograrse un cuidadoso equilibrio económico. Las pérdidas económicas, las repercusiones perjudiciales para el medio ambiente, y los posibles riesgos que entrañe el pozo incendiado, han de sopesarse comparándolos con los costos y los posibles riesgos del empleo de las ENP».

Labor futura

Debe insistirse de nuevo en que, con las excepciones indicadas en el presente artículo, el empleo práctico de explosiones nucleares contenidas con fines pacíficos se encuentra todavía, desde el punto de vista técnico, en su infancia. Quedan por resolver múltiples cuestiones técnicas, económicas y de carácter jurídico y administrativo. No obstante, esta reunión del Grupo de expertos, como la primera, ha puesto de manifiesto el valor potencial que encierran las ENP para el futuro.

El Organismo espera publicar dentro de unos meses las memorias presentadas en la reunión del Grupo, juntamente con las conclusiones de éste.