



**GASTRE: UN CONTROVERTIDO SITIO PARA ALMACENAR
RESIDUOS RADIOACTIVOS EN ARGENTINA**

ARTURO HAUSER YUNG¹

RESUMEN

En Argentina, la utilización de fuentes nucleares se ha constituido en una atractiva alternativa para la generación de energía eléctrica; en el próximo futuro, esta tendencia no debería modificarse. Las operaciones de las centrales nucleoelectricas, generan residuos radioactivos que es necesario almacenar en sitios seguros. A nivel mundial, estudios geotécnicos, han demostrado que cavidades excavadas en ambientes despoblados, con bajas precipitaciones y sismicidad, alejadas de centros volcánicos activos, comprometiendo macizos rocosos homogéneos, tectónicamente estables y geotécnicamente competentes, constituyen eficientes estructuras para el almacenamiento de los residuos radioactivos, previamente encapsulados. Las autoridades argentinas, tras numerosos estudios han resuelto almacenar los residuos radioactivos en excavaciones comprometiendo un macizo granítico triásico, en la Sierra del Medio, ubicada en torno a la localidad de Gastre, en la Provincia de Chubut, Argentina y distante 200 km de la frontera con la Décima Región de Chile. Grupos ecologistas y autoridades chilenas, han expresado su oposición al proyecto. Más, numerosas prospecciones, permiten establecer que se trataría de terrenos que satisfacen los estándares internacionales para el seguro almacenamiento de residuos radioactivos.

DISCUSION

A partir de 1996, la opinión pública chilena ha sido sensibilizada por persistentes informaciones referidas a esfuerzos que autoridades argentinas estarían desarrollando en orden a seleccionar un sitio seguro para el eficiente almacenamiento de residuos radiactivos, generados a partir de la operación de tres centrales nucleoelectricas.

Grupos ecologistas, autoridades regionales, gubernamentales, parlamentarios y público en general, ha expresado, de acuerdo a sus medios y disponibilidades, serios reparos a este proyecto, habida consideración que la prioridad para albergar dicha instalación corresponde a un sitio localizado en torno al pueblo de Gastre, en la Provincia de Chubut; por tanto aledaño a nuestra Décima Región, zona privilegiada por la naturaleza, donde se han realizado enormes esfuerzos por la preservación del medio ambiente y el desarrollo sustentable de sus recursos naturales. Los medios comunicacionales han recogido de diversa manera algunos de estos clamores. Como suelo ocurrir con reiterada frecuencia, cuando se trata de materias en la que está amenazado el patrimonio ecológico del país, muchas de las argumentaciones en contrario han seguido el camino de las fundamentaciones simplistas, carentes de equidad. El problema pareciera responder a acciones en situación de privilegiar los sentimientos conservacionistas, por sobre la racionalidad que debe emanar del conocimiento científico.

En las últimas tres décadas, la energía atómica se ha transformado en una eficiente y económica alternativa para la generación eléctrica. Hacia el año 1991, existían en el mundo 429 plantas generadoras, localizadas en 25 países, utilizando uranio como fuente energética. En 1975 habían 113 plantas en operación en los EE.UU., generando el 20% de sus requerimientos energéticos, mientras que hacia 1991, Francia disponía de 55 plantas, proporcionando el 75% de las demandas nacionales; en el mismo año, Suecia tenía en operación 12 plantas; por decisión gubernamental, la totalidad de ellas dejarán de operar

¹ Servicio Nacional de Geología y Minería, Av. Santa María 0104, Santiago

hacia el año 2010. Japón dispone de 49 plantas nucleoelectricas en operacion, en situacion de satisfacer el 33% de sus actuales demandas de energia electrica.

El principal problema asociado a la operacion de las plantas atomicas destinadas a la generacion de energia electrica, radica en la produccion de residuos con diversos niveles de radioactividad. Dos situaciones de dificil control participan de este caracter: la normal alta radioactividad de los residuos y el prolongado tiempo que ellos requieren para reducir su radioactividad, hasta valores tolerables al desarrollo de los distintos tipos de vida. Un ejemplo sirve para dramatizar este caracter: de acuerdo con los estandares en aplicacion, un residuo radioactivo normal, con un contenido de plutonio de 0.5%, cuya vida media es de 24.000 años, debe ser almacenado en forma segura durante 250.000 años.

Debido a su notable concentracion, los combustibles radioactivos producen insignificantes volúmenes de residuos, en relacion a la energia generada; ello significa que los riesgos de contaminacion normalmente no se vinculan con los pesos y volúmenes de tales residuos. Un reactor nuclear de 2.000 Mw (capacidad de generacion de nuestras centrales hidroelectricas El Toro, Polcura, Colbún-Machicura, Rapel y Pehuenches), en 50 años de operacion produce aproximadamente 200 m³ de residuos radioactivos.

Estas consideraciones, como es obvio, exigen contar con adecuados y seguros sitios para el almacenamiento de los residuos radioactivos. En las últimas décadas, los EE.UU. han hecho inversiones por 2 billones de dólares, destinadas a la localizacion y caracterizacion de sitios para este destino. Los resultados más auspiciosos, se han alcanzado en torno a las montañas de Yucca, en el estado de Nevada. Allí es muy probable que hacia el año 2010 entre en actividad una compleja estructura subterranea, en situacion de almacenar la totalidad de los residuos radioactivos disponibles para esa fecha en todo el territorio de los EE.UU.: aproximadamente 77.000 toneladas.

La necesidad de disponer de seguros sitios para albergar los residuos radioactivos, ha llevado a desarrollar ideas realmente fantásticas: posibilidad de proceder al "entierro" subterraneo de las cápsulas, tanto en potentes capas de hielo antártico, como en la interfase submarina entre dos placas tectónicas efectas a permanentes desplazamiento.

Hasta 1986 se habian depositado 120.000 contenedores con desechos radioactivos en la mina de sal Asse de Alemania. La cavidad para su almacenamiento, con un volumen de 10.000 m³, su ubica a una profundidad de 100 m. El Servicio Geológico Alemán, BGR, ha realizado detallados estudios tendientes a identificar y caracterizar sitios para el seguro almacenamiento definitivo de residuos radioactivos. A la fecha, se dispone de dos ubicaciones denominadas Gorleben y Konrad. Se espera que en el próximo futuro, comiencen a recibir los primeros contenedores con residuos.

Hacia el año 1985, Suecia disponia de al menos dos estructuras subterraneas para la depositacion temporal (30 a 40 años) de residuos radioactivos (1).

Los problemas ambientales de las centrales electricas basadas en combustibles atomicos, se vinculan más a fallas humanas y tecnologicas, durante su operacion, que a la manipulacion, transporte y almacenamiento de sus residuos. Tres situaciones documentan este caracter: **a-** accidente en el reactor N° 2, de la central Three Mile Island, (1700 Mw), ubicada cerca de la localidad de Harrisburg, estado de Pensilvania, EE.UU., ocurrida en el mes de mayo de 1979; **b-** accidente en el reactor N° 4, de la central Chernobyl (4000 Mw), ubicada en la actual República de Ucrania, ocurrida el 26 de abril de 1986; y **c-** filtraciones de agua pesada, en la central Atucha, ubicada en la localidad bonaerense de Zárate, cerca de Buenos Aires, Argentina. Evidentemente, que el accidente ocurrido en Chernobyl revistió la mayor gravedad; significó la abrupta liberacion al espacio de 7 toneladas de combustible constituido por dióxido de uranio y productos de fisión correspondientes a cesio 137 y yodo 131. Durante las primeras operaciones de rescate, murieron 31 bomberos, mientras que fue necesario evacuar cerca de 135.000 personas residentes en ciudades vecinas.

En el diseño de las actuales unidades de generacion atomica, se observa una marcada tendencia a incorporar tecnologias para incrementar la tolerancia los errores humanos en situaciones de emergencia, a objeto dar a los operadores horas en lugar de minutos, para su oportuna y eficiente reaccion.

La República Argentina, a diferencia de nuestro país, en virtud de sus condiciones geograficas, climáticas, morfológicas, distribucion poblacional y

desarrollo económico, entre otros factores, ha creado una particular demanda energética. Como resultado de ello, y atendidas consideraciones de eficiencia, un porcentaje importante de sus requerimientos de energía eléctrica se han sustentado en plantas atómicas. Argentina en la actualidad cuenta con dos plantas de este tipo en operación: Atucha I en la Provincia de Buenos Aires y Embalse en la Provincia de Córdoba, que en total desarrollan una capacidad de generación de 1.000 Mw (igual a la capacidad de nuestras centrales Colbún-Machicura, Rapel, Canutillar). Sus respectivos aportes energéticos representan el 8% de los requerimientos argentinos.

La base de las operaciones corresponde a uranio natural y agua pesada. Una tercera central, denominada Atucha II, con una capacidad proyectada de 750 Mw, estará en funcionamiento en el futuro próximo.

Las operaciones de las aludidas centrales, generan un cierto volumen de residuos radioactivos que, en la actualidad, se disponen en almacenamientos seguros de "carácter temporal", consistentes en reservorios acuáticos, para su decaimiento o desactivación natural, en un ambiente convenientemente refrigerado. En el mediano plazo, entendido como los próximos 20 a 25 años, el volumen acumulado de residuos, producto tanto de las centrales en actual operación, como de la entrada en servicio de eventuales nuevas plantas, exigirá la habilitación de un eficiente "vertedero" definitivo, en situación de almacenar en forma segura y por largo tiempo los residuos radioactivos generados, debido a las limitaciones tecnológicas y económicas que impone su reciclado, decaimiento o desactivación natural y/o exportación a otros países para su posterior beneficio y seguro almacenamiento. Los más probables mecanismos de escape o liberación radioactiva hacia la biosfera, a partir de residuos almacenados en cavernas subterráneas excavadas en rocas fracturadas, se asocian a procesos de disolución y transporte hídrico.

Esta evidente demanda, sumada a la necesidad de vincular la resolución de este imperioso problema, con la eventual privatización de las empresas generadoras argentinas, ha actualizado el problema de los residuos radioactivos.

Es a propósito de este punto, que la Geología Aplicada a la Ingeniería o Geotecnia, está en situación de proporcionar algunos antecedentes esclarecedores. Esta actividad de las geociencias, a nivel mundial, desempeña un rol preponderante en la búsqueda, evaluación y selección de sitios para el eficiente y seguro almacenamiento de toda clase de residuos radioactivos, tanto en sus modalidades superficiales como subterráneas. Normalmente, se exige de ambientes tectónicos estables, en macizos rocosos geotécnicamente competentes y cuyo comportamiento hidrogeológico permita el efectivo control de los eventuales flujos de aguas subterráneas (1). El exacto conocimiento de estas variables, se obtiene a partir de complejas campañas de terreno, consignando levantamientos a diversas escalas, ejecución de sondajes, prospecciones geofísicas, toma de muestras, determinaciones de parámetros en laboratorios, monitoreos, modelaciones o simulaciones de estructuras y sus comportamientos, etc. La suma de estas actividades, finalmente proporcionan el necesario sustento tecnológico comprometido tanto en la selección, como en el diseño final de las estructuras para el seguro almacenamiento de cualquier tipo de residuo radioactivo. En relación con esta materia, interesa exponer brevemente algunos antecedentes y criterios geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos utilizados en Argentina para localizar, caracterizar y seleccionar tales ubicaciones.

Los primeros estudios al respecto, fueron realizados hacia comienzos de la década del 70, al amparo de la Comisión de Energía Atómica de la República Argentina y la coparticipación de profesionales de la Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, CONICET, y del Instituto de Investigaciones Mineras de la Universidad de San Juan.

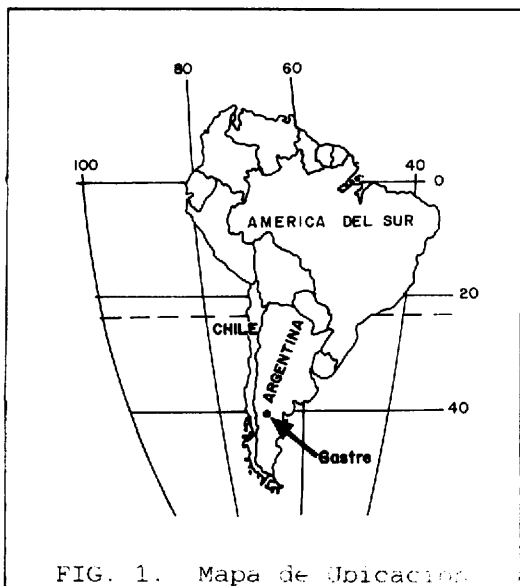
El principal requisito que debe cumplir un depósito de residuos radioactivos corresponde a su almacenamiento por varios miles de años, sin riesgo que sus elementos sean liberados hacia la biosfera.

Los escenarios naturales que satisfacer estos requerimientos, universalmente corresponde a: formaciones geológicas profundas y estables, con baja conductividad hidráulica, en ambientes con baja probabilidad de ocurrencia de eventos modificadores, tanto naturales (actividad sísmica y volcánica), como conexos a la intervención humana (actos terroristas). A nivel mundial, los ambientes geológicos que mejor se adaptan a este tipo de requerimientos, corresponden a los llamados "domos salinos", atendidas sus favorables

propiedades termomecánicas; fácil excavación; estabilidad estructural de las excavaciones; impermeabilidad frente a gases y líquidos y amplia ocurrencia. La impermeabilidad de estas rocas se asocia a su deformabilidad plástica, en respuestas a diversos niveles de presiones y temperaturas; éstas, se desarrollan como resultado del "decaimiento" o desactivación natural de los residuos radioactivos (2).

En ausencia de rocas salinas en la República Argentina, se optó por orientar la prospección hacia zonas donde predominaran macizos graníticos estables, con baja conductividad hidráulica, moderada a baja actividad sísmica, con escaso o sin interés minero, en situación de permitir el almacenamiento en estructuras subterráneas dispuestas a varios cientos de metros de profundidad.

Desde el punto de vista de la ingeniería geológica, la selección de un sitio para el seguro almacenamiento de residuos radioactivos, debe considerar la imposibilidad que tales elementos se desplacen hacia la biosfera, vía circulación de aguas subterráneas. Ello normalmente se posibilita mediante barreras naturales (suelo o roca en torno al residuo), e ingenieriles (sellos artificiales) (2). La eficiencia de las barreras y la estabilidad de las rocas en situación de albergar residuos radioactivos, sólo pueden ser demostrados confiablemente, si se utilizan modelos geomecánicos válidos.



Estudios preliminares, permitieron detectar la presencia de aproximadamente 200 cuerpos graníticos, eventualmente atractivos para los fines del proyecto. A los criterios de descarte precedentemente descritos, se agregaron consideraciones conexas a sus respectivas accesibilidades, densidad de población e interés turístico y/o arqueológico; producto de este nuevo análisis, se localizaron siete sitios, todos ubicados en la Provincia de Chubut. Un tercer paso, basado en levantamientos geológicos de detalle, permitió eliminar tres de estos sitios. El último procedimiento prospectivo se desarrolló en la denominada Sierra del Medio, provincia de Chubut (3) Fig. 1, poniendo especial énfasis en estudios de fotointerpretación, análisis estructurales, reconocimientos geológicos y geofísicos de las rocas, ejecución de sondajes de 200 m de profundidad, análisis geomorfológicos e hidrogeológicos del área y ejecución de sondajes profundos de 800 m. Estos

procedimientos fueron seguidos por estudios destinados a determinar la efectiva conductividad hidráulica del macizo rocoso.

La Sierra del Medio corresponde a un macizo montañoso de 25 por 8 kilómetros, de acuerdo a un eje mayor cercanamente Este-Oeste, integrado mayoritariamente por rocas graníticas Paleozoicas y pre Cámbricas (400 a 550 millones de años (3 y 4)); se observan recorridas por dos fallas principales, subparalelas a su eje mayor, cuya última actividad se habría registrado hace alrededor de 210 a 250 millones de años, signo irrecusable de estabilidad tectónica. En el sector, con posterioridad, se realizaron una serie de sondajes, totalizando 2.272 m (3), destinados a conocer en detalle el real carácter estructural del macizo rocoso, particularmente en lo que compete a su padrón de fracturamiento, determinante en cuanto a establecer propiedades vinculadas al eventual almacenamiento y movilización del agua subterránea, asociada a mecanismos de recarga pluvial (la precipitación media anual en el sector de Sierra del Medio corresponde a 150 m). La profundidad final a la cual se colocarán los recipientes conteniendo los residuos radioactivos, se determinará a partir de estudios de optimización, considerando diversas modalidades de cavernas subterráneas.

Los residuos, previo a su disposición en las estructuras subterráneas, se colocarán, de acuerdo con sus niveles de toxicidad o radioactividad, en recipientes especiales de diversa forma (cilindros, cubos, esferas), volumen y

material (acero, plomo), sellados con bitumen, cemento, arcillas bentoníticas o sustancias vitrificadas.

Desde el punto de vista geotécnico, el almacenamiento subterráneo de residuos radioactivos constituye una modalidad segura, que no ofrece mayores riesgos, en la medida que este procedimiento comprometa estructuras profundas, excavadas en macizos rocosos homogéneos, sometidos a bajas tensiones residuales, estables, carentes de fracturamiento relevante, con baja conductividad hidráulica, distantes de focos sísmicos y centros volcánicos activos.

Razonablemente, deberá esperarse que la República Argentina, en virtud de la necesidad de dar eficiente y oportuna demanda a sus requerimientos energéticos, independiente del estatus de la propiedad de sus plantas, en el futuro inmediato, continuará con la operación de sus centrales atómicas. Ello significará una continua producción de importantes volúmenes de residuos radioactivos que obligarán a su almacenamiento en localizaciones seguras, de acuerdo a los estándares internacionales para este tipo de sustancias y estructuras.

En relación con esta ineludible imposición, no cabe duda, que la autoridad competente argentina, recurrirá a estructuras emplazadas en torno a la localidad de Gastre. Razonablemente, para este destino, el macizo granítico allí detectado, reuniría las mejores condiciones para la construcción de cavernas subterráneas destinadas al seguro almacenamiento de cápsulas conteniendo residuos radioactivos.

Múltiples estudios realizados en EE.UU., Canadá, Suecia, Suiza y Alemania, entre otros, han desarrollado eficientes tecnologías que permiten el seguro almacenamiento de residuos radioactivos, recurriendo a variados tipos de excavaciones subterráneas. Argentina, en torno a la localidad de Gastre, Provincia de Chubut, estaría a punto de poner en práctica esta tecnología. La sustentabilidad ambiental del proyecto, en términos de su seguridad, dependerá del estricto cumplimiento de las normas operacionales de este tipo de sistemas, y del rigor que las autoridades fiscalizadoras argentinas, ejerzan sobre la totalidad de los procedimientos técnicos comprometidos en el funcionamiento de este tipo de estructuras de almacenamiento. Referido a estas actividades, interesa establecer que, no hay forma de evitar totalmente la amenaza de la imperfección humana; en este caso, el punto esencial radica en minimizar las incertidumbres, no en ignorarlas.

REFERENCIAS

- 1.- Morfeldt, C.O., 1985. Engineering Geological Aspects of Underground Waste Disposal. Geo Resources and Environment; Proc. Fourth Inter. Symp., p. 67-92. Stuttgart, Germany.
- 2.- Beninson, D.J., González, Palacios, E. & Ciallella, N.R., 1986. The argentine radioactive waste repository: basic criteria, preliminary sitting and design conceptual basis. Bulletin Inter. Assoc. Eng. Geol., N° 34, p. 5-9, Paris.
- 3.- Llambias, E.J., Perucca, J.C., Puigdomenech, H.H., Cebrelli, E., Castro, C.E., Grassi, J.I. & Salinas, L.I., 1986. Geological and geophysical investigations at Sierra del Medio Massif, Argentina. Bull. Inter. Assoc. Eng. Geol., N° 34, p. 39-43, Paris.
- 4.- Wetten, C. & Grassi, J.I., 1986. Hydrogeological features of a rocky massif to be used as a nuclear repository. Bull. Inter. Assoc. Eng. Geol., p. 95-101, Paris.