

Mutti, Diana Irene (noviembre 2008). *Restrospectiva y situación actual en Argentina : El desarrollo del uranio*. En: Encrucijadas, no. 45. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <<http://repositorioubas.sisbi.uba.ar>>

## RETROSPECTIVA Y SITUACIÓN ACTUAL EN ARGENTINA

### EL DESARROLLO DEL URANIO

Ante el progresivo agotamiento de los combustibles fósiles, la energía nuclear surge como una alternativa importante en las últimas décadas, y hoy el 15 por ciento de la electricidad mundial proviene de centrales nucleares que, por otra parte, presentan numerosos problemas de seguridad y generan desechos radiactivos.

#### Diana Irene Mutti

*Doctora en Ciencias Geológicas. Profesora Área Geología Minera, Coordinadora de la Carrera de Especialización en Geología Minera (FCEyN-UBA), Miembro Titular de Número de la Academia Argentina de Ciencias del Ambiente y Directora de la Revista de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas.*

El uranio es un recurso energético no renovable, así como el gas, petróleo y carbón. En la década del '50 su aplicación se centralizó en el uso como energía nuclear para el armamento militar y no fue hasta 1970 en que se implementó como energía eléctrica comercial, iniciándose así una segunda etapa de desarrollo.

La producción de esta forma de energía se basa en la desintegración espontánea del uranio con emisión de partículas atómicas, rayos gamma y energía calorífica, proceso que se denomina radioactividad. La fisión nuclear involucra ruptura de un núcleo grande, como lo es el de uranio, en dos núcleos más pequeños como bario y kriptón. Es un proceso donde una pequeña cantidad de materia se convierte en gran cantidad de energía.

Este mecanismo en la naturaleza sucede en un intervalo de millones de años, pero en laboratorio se acelera por bombardeo del núcleo radioactivo con neutrones, o aproximando los suficientes núcleos radioactivos entre sí, de forma que la tasa natural de emisión de neutrones es capaz de causar un incremento en la velocidad de desintegración.

En el uranio coexisten tres isótopos en diferentes cantidades y períodos de desintegración, pero el único átomo fácilmente fisiónable es el de número másico 235 (235U), que al ser bombardeado por neutrones se fisiona en isótopos de 141Ba y 92Kr, liberando neutrones y energía. Los neutrones liberados penetran en núcleos cercanos de átomos de 235U y producen una reacción en cadena, siempre y cuando la cantidad de masa crítica sea suficiente. Por cada átomo se liberan 200 millones de electrón voltios y 1 electrón voltio equivale a  $1,6 \times 10^{-13}$  Joules.

Si la fisión de uranio procede en condiciones controladas, el calor desprendido se utiliza para generar vapor de agua y electricidad mediante turbinas. Un cubo de 4 mm de arista de 235U, equivale a la combustión de 2,7 t de carbón o 13,7 barriles (12 t) de crudo petrolífero y el proceso no emite CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## El uranio en la naturaleza

El uranio se encuentra en la corteza terrestre con una concentración media de 1,7 ppm, pero en rocas ígneas alcalinas y pegmatitas especializadas alcanza hasta 100 ppm y ~ 1%  $U_3O_8$ , respectivamente. Los minerales más comunes que poseen U como traza son el circón, titanita y apatita.

La uraninita ( $UO_2$ ) o pechblenda, donde el  $U^{4+}$  es la forma estable, es el mineral con concentración económica de mayor relevancia en la naturaleza. Sin embargo, el ión  $U^{4+}$  se oxida fácilmente y pasa a uranilo ( $U^{6+}$ ), que se combina con oxígeno y forma complejos solubles con radicales como carbonato, sulfato, fluoruro, fosfato y vanadato. Las aguas hidrotermales y/o cercanas a la superficie, que suelen ser oxidantes, lixivian iones  $U^{4+}$  de los silicatos y los transporta en solución como iones  $U^{6+}$ . Este ión se reduce fácilmente, y precipita en ambiente reductor en presencia de materia orgánica o carbonosa, entre otras.

Los yacimientos formados por mecanismos naturales de lixiviación del uranio por un solvente acuoso y precipitación por óxido-reducción forman las principales reservas mundiales desde el Precámbrico tardío hasta la actualidad. En Australia, el yacimiento Olympic Dam tiene las reservas mayores de U descubiertas (1,20 x 10<sup>6</sup> toneladas), asociadas con oro, cobre y hierro. No obstante, el U extraído de las minas está compuesto por 99,3% de <sup>238</sup>U, 0,7% de <sup>235</sup>U y 0,005% de <sup>234</sup>U. Por ello, los reactores más modernos requieren un combustible enriquecido con <sup>235</sup>U hasta concentraciones del 4%. Este proceso se conoce como “ciclo del combustible nuclear”.

Otra fuente secundaria de uranio enriquecido es por reciclaje de armamento (high-enriched uranium: HEU). Esta importante fuente de abastecimiento surge luego del acuerdo Megatons to Megawatts, firmado entre Rusia y Estados Unidos de Norteamérica en 1993, el cual expira en el 2013.

## Minería del uranio

La explotación es a cielo abierto o subterránea, con métodos convencionales similares a los que emplea la minería de baja ley (< 1%  $U_3O_8$ ). Es una minería altamente regulada con estándares internacionales, donde los aspectos ambientales, salud y seguridad del personal son auditados externa y periódicamente. La mayor diferencia de la industria minera del uranio con la de otros commodities es que el combustible final tiene una larga vida útil (30 años) y, por ello, la vida útil de una mina es también longeva. La explotación actual en Rusia y Uzbekistán es por extracción subterránea y con modernos métodos de lixiviación en túneles y cámaras cerradas, estrictamente monitoreados.

El proceso de concentración es complejo, mediante pasos mecánicos y químicos, hasta formar un óxido crudo con 70-90%  $U_3O_8$  y 0,7% de <sup>235</sup>U, denominado “torta amarilla”. El proceso continúa con el enriquecimiento del uranio hasta alcanzar 96% <sup>238</sup>U y 4% <sup>235</sup>U, material que permite fabricar las barras de combustible.

Argentina entre los años 1955 y 1996, consumió 2.509 t U a partir del desarrollo de ocho Complejos Mineros Fabriles: Malargüe (Mendoza), El Tronco (Salta), Don Otto (Salta), Pichiñán (Chubut), Los Gigantes (Córdoba), La Estela (San Luis), Los Colorados (La Rioja) y San Rafael (Mendoza). La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) indica reservas por 15.000 t U y estima otras 50.000 t U que requieren prospección-exploración.

## Aspectos económicos y ambientales

El potencial de la radioactividad como fuente energética tuvo un comienzo prometedor a partir de los años '50. Luego de la década del '70, etapa conducida por la OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries), se transitaron casi diez años libres de accidentes.

Sin embargo, en 1979 se generó el primer incidente nuclear, debido a errores humanos, que provocaron la fusión parcial del reactor de la isla Three Miles en Pensilvania. El incidente no ocasionó daños físicos al personal, aunque la población norteamericana se manifestó negativamente y las centrales que estaban en proceso de planificación fueron canceladas. Ese año el precio del U3O8 era de \$40/lb. Pero el accidente que alcanzó la primera plana periodística mundial fue el de Chernobyl, en Ucrania, en abril de 1986. Centenares de miles de personas quedaron expuestas a radiaciones, con muertos y enfermos crónicos, además de ciudades y tierras contaminadas por radiación en varios países, y el precio del uranio cayó hasta \$7/lb. En el año 2004, en Cogema, Francia, se dispersó uranio al canal del río Tauran. En este caso, la relativa capacidad de renovabilidad del medio hídrico (~15 años) y las rápidas medidas de mitigación aplicadas, determinaron que no se registrara un impacto ambiental negativo significativo.

En consecuencia, la dependencia de la energía nuclear varió mucho en distintas zonas del mundo y mientras unos países abandonaron sus planes de uso, otros invirtieron en tecnológicas, manipulación y educación, entre otros aspectos, para obtener normas de producción, manejo, control y mitigación más seguros. El 15% de la electricidad que se genera en el mundo proviene de energía nuclear y comprende el 76,8% en Francia, 64,4% en Lituania, 54,3% en Eslovaquia, 54% en Bélgica, 48,1% en Ucrania, 46,1% en Suecia, 43,5% en Armenia, 41,6% en Eslovenia, 40% en Suiza, 36,8% en Hungría, 35,3% en Corea del Sur, 32,1% en Bulgaria, 29% en Japón, 18% en Estados Unidos y 8,6% en Argentina. El consumo anual mundial representa 176 Mlbs y se espera un crecimiento futuro del 2% anual, lo que significa en términos acumulativos una demanda de 2.200 Mlbs U3O8 para el 2.015, implicando una nueva producción de al menos 1.000 wMlbs de U3O8.

La producción mundial declarada de uranio primario es de 108,5 Mlbs U3O8, donde el 28% corresponde a Canadá, 23% a Australia, 10% a Kazajstán, 8% a Namibia y Rusia, 7% a Nigeria, 6% a Uzbekistán, 2% a Estados Unidos y Sudáfrica y el 6% restante a otros países. Esta minería primaria cubre el 60% del consumo.

De acuerdo con los datos de la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA), en el mundo existen 439 reactores nucleares en operación a marzo de 2008, entre ellos dos en Argentina: Embalse Río Tercero y Atucha 1, en las provincias de Córdoba y Buenos Aires respectivamente, y 34 reactores más se construyen en 14 países, dentro de los cuales Atucha 2 en Buenos Aires, tiene prevista su finalización para 2015.

En Argentina, el consumo de energía eléctrica desde 1990 fue creciendo y para 2007 se reportó un valor cercano a los 2.020 KWh/año. La capacidad instalada es de 35 GW y 0,9 GW proceden de la energía nuclear. No obstante, el consumo de este metal también se dirige a las industrias electrónica, automotriz, aeroespacial, extractiva metalífera y del petróleo, manufactura de fotocopiadoras, detectores de humo, manufacturas con estaño, aluminio y de comida, en la construcción de ductos, además de su uso medicinal, en agricultura y cosmética.

La eficiencia económica de la tecnología del uranio se evalúa por el costo de producción. La energía nuclear, cuyo costo es de 1,68 centavo de dólar/KWh, hoy tiene el costo menor frente a la generación de energía a partir de combustibles fósiles: el carbón requiere 1,9 cent. de dólar/KWh, el gas natural 5,87 cents. de dólar/KWh y el petróleo 5,39 cents. de dólar/KWh. Sin embargo, energías alternativas como la hidroeléctrica y la eólica insumen 0,5 cent. de dólar/KWh y 0,2 cent. de dólar/KWh, respectivamente.

Para mantener el equilibrio en la mayoría de los reactores, las barras de material que atrapan los neutrones y regulan el proceso de fisión pueden hacerse descender dentro del núcleo para frenar la reacción mediante barras de control fabricadas normalmente con cadmio o boro, que se insertan o retiran automáticamente en respuesta de fluctuaciones de energía. Como protección contra una eventualidad, los reactores están diseñados además con barras de control auxiliares que apagan al reactor. Si todos estos mecanismos fallan se podría fundir parte del reactor e inclusive vaporizar.

El peligro más grande radica en el escape de yodo gaseoso radioactivo ( $^{131}\text{I}$ ) cuyo período de desintegración es de ocho días pero que se absorbe con facilidad y almacena en la glándula tiroides. Los gases xenón, kriptón y los isótopos sólidos del estroncio ( $^{90}\text{Sr}$ ) y del cesio ( $^{137}\text{Cs}$ ) son menos peligrosos.

Otro problema aún por resolver es el transporte y disposición final de los residuos altamente radiactivos, después de su uso. La Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA) y otras organizaciones trabajan en nuevas estrategias de gestión para minimizar el impacto ambiental de los residuos y elementos combustibles gastados, los que, por ejemplo, constituyen un repositor o reservorio geológico secundario como lo es el de Yucca, Nevada.

### **La política nacional de los últimos años**

La modificación del Código Minero aplicada en el año 1994, reguló que toda empresa pueda prospectar-explorar y eventualmente explotar uranio, al dejar de considerar a esta sustancia como un mineral estratégico y tipificarla como mineral de primera categoría. El cambio legislativo, junto con la Ley Nacional de la Actividad Nuclear N° 24.804/97, sustentan hoy que más de una decena de empresas mineras, la mayor parte de capital internacional, estén abocadas a la búsqueda de uranio. Sin embargo, en provincias como Chubut y Mendoza, entre otras, rigen leyes restrictivas hacia la minería y establecen en algunos casos una zonificación de lugares aptos para la actividad minera.

La demanda mundial de energía, tal como el caso de China que proyecta la construcción de 50 centrales nucleares hasta el año 2020, junto con la combinación del alto precio y escasez del petróleo y gas, la contaminación que implica la utilización del carbón por la emisión de gases de efecto invernadero y el cumplimiento de los acuerdos internacionales firmados en Kyoto, llevan a una renovada búsqueda del uranio como fuente energética ante el riesgo de agotamiento de las otras fuentes de energía y el escaso desarrollo de formas de energía complementarias. El precio actual del  $\text{U}_3\text{O}_8$  es del orden de 90 dólares por libra, habiendo subido su cotización sostenidamente desde 10 dólares por libra durante la última década.

La ley nacional de la actividad nuclear fija que la CNEA tenga también a su cargo la prospección de minerales de uso nuclear. Este organismo declara que Argentina es un país con uranio y no un país uranífero. Ello significaría que su potencial es limitado y sólo permitirá atender la demanda nacional del futuro próximo, salvo que se incrementen las

tareas de exploración y explotación a su cargo. Señala al respecto que, a menos que el Estado realice cambios en la legislación vigente y se retome el carácter estratégico para esta sustancia, no habrá mecanismo legal vigente que restrinja su exportación a centros de consumo fuera de nuestro país.