

## Geología del uranio en Kazajistán: aspectos geopolíticos

*Xavier Serra i Castella \**

**Tema:** En los últimos años se han producido grandes inversiones nacionales y extranjeras en la minería uranífera en Kazajistán, especialmente en lo que atañe a la exploración y el tratamiento industrial del uranio. Tal cosa ha tenido como frutos un importante empuje y una creciente proyección del país en el mercado mundial de la energía nuclear. Pero también nos ha permitido profundizar en el conocimiento y comprensión de su geología.

**Resumen:** Desde hace seis décadas se están explotando yacimientos de uranio en Kazajistán, desarrollándose al mismo tiempo la exploración de nuevos yacimientos. Se han encontrado unos 50 hasta la fecha, que en general presentan grandes similitudes con otros grandes depósitos de EEUU, Australia y Nigeria. Su explotación es conocida y viable; y las reservas de mineral son ingentes. Este análisis aborda, en primer lugar, la situación geopolítica del país y, en particular, la relación existente en la actualidad entre Kazajistán y las grandes potencias mundiales, con algunas de las cuales comparte frontera. En la segunda parte se analiza con detalle la geología del uranio del país, con el objeto de presentar una somera introducción a los aspectos básicos concernientes a la formación de los grandes depósitos de uranio que posee Kazajistán. Por último, se exponen las perspectivas que tiene Kazajistán para consolidar y reforzar su posición en el mercado mundial de la energía nuclear.

### Análisis:

#### *Situación económica y energética de Kazajistán*

Kazajistán, con una superficie de 2,5 millones de km<sup>2</sup>, es el país de mayor extensión de Asia Central y el noveno más grande del mundo. Su crecimiento anual medio ha sido, hasta la crisis reciente, del 6% y las grandes reservas en recursos energéticos y minerales hacen de su economía una de las que generan, a medio plazo, más expectativas de desarrollo económico en Asia. Actualmente cuenta con una población algo superior a los 15 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento muy baja, pues se estima que en el año 2025 la población apenas superará los 16 millones de habitantes.

El país mantiene fuertes vínculos con Rusia. Junto con ésta, Kazajistán formaba parte de la URSS antes de la caída del muro de Berlín. También comparten un largo recorrido fronterizo, de aproximadamente 6.800km. Alrededor del 20% de la población es de etnia

---

\* *Geólogo, profesor asociado en el Departamento de Petrología, Prospección Geológica y Geofísica de la UB*

rusa. Obviamente, la mayor influencia proviene del hecho de que durante décadas formó parte de la URSS. Tras el desmoronamiento del bloque soviético, Kazajistán fue la última de las repúblicas en desgajarse, pues consiguió su independencia el 16 de diciembre de 1991.

Actualmente se están llevando a cabo grandes avances en lo que se refiere a la exploración, explotación y tratamiento de uranio, en colaboración con otros países. La estabilidad política del país y sus buenas relaciones con las grandes potencias económicas y los países vecinos le han permitido recibir importantes inversiones de capital externo y formalizar empresas conjuntas para grandes proyectos de I+D en el ámbito de los recursos energéticos. Son de destacar los proyectos relacionados con la investigación y exploración de los yacimientos de uranio.

Durante la época soviética apenas se tuvo información en Occidente sobre la geología de este país y no ha sido hasta fechas recientes cuando se empiezan a conocer las posibilidades para abastecer al mercado mundial de recursos energéticos y minerales.

En la esfera política, Kazajistán intenta permanecer independiente, manteniendo buenas relaciones con numerosas potencias extranjeras, incluidas China y EEUU, pero coordinando al mismo tiempo sus esfuerzos con Moscú. De este modo, puede seguir siendo un aliado regional importante para Rusia, con la que comparte fuertes intereses comerciales. En 2004 Rusia apostó por el sector del petróleo y el gas (en especial con inversiones de Lukoil y Gazprom), así como en otros sectores como la automoción, maquinaria agrícola, aluminio, etc. Sin embargo, la relación de cooperación entre ambos países en materia energética, en la que Rusia ha actuado permitiendo el transporte de los hidrocarburos kazajos a través de su territorio, se debilita en grado considerable desde que Kazajistán empieza a prescindir de la infraestructura de oleoductos y gasoductos tendida a través del territorio ruso. Kazajistán ha apostado por la construcción de grandes buques petroleros, con capacidad de hasta 60.000 toneladas, así como de una terminal portuaria en Yeraliev, a orillas del Mar Caspio, de manera que podrá transportar su crudo a Europa a través de Azerbaiyán y Georgia, mediante el oleoducto BTC (Bakú-Tbilisi-Ceyhan) y el puerto georgiano de Poti.

Otro factor que podría contribuir a la reorientación geopolítica de Kazajistán hacia Occidente y al debilitamiento de los vínculos con Rusia es el posible tránsito, a través del territorio kazajo, de material militar y civil destinado a los contingentes de EEUU y la OTAN en Afganistán. La nueva ruta implica la necesidad de establecer un puente aéreo sobre el Caspio u organizar el servicio de buques de transporte militares entre los puertos azerbaiyanos y kazajos, con la creación de una fuerza especial de seguridad para proteger tal navegación y las terminales portuarias. Esta situación permitiría a EEUU afianzarse en la cuenca del Caspio, lo cual afectaría de forma inevitable a las posiciones regionales de Rusia e Irán.

China también ha fortalecido sus relaciones comerciales con los países de la región centroasiática. Con Kazajistán ha promovido la construcción de un tramo de 1.300km del oleoducto transcontinental que conectará la costa del Caspio con la refinería de Dushanzi en Xinjiang (China occidental). China es además uno de los principales proveedores de bienes de consumo y de mano de obra a los países de la región.

### *Geología del uranio en Kazajistán*

El 30% de la producción mundial de uranio se localiza en rocas detríticas del tipo areniscas. En esas rocas, a su vez, se encuentran la mayor parte de las reservas y también de los recursos. El beneficio del uranio se obtiene, en su mayor parte mediante lixiviación *in situ* (ISL), tal como sucede en EEUU, Nigeria y Australia. Esta técnica implica la inyección de ácido sulfúrico (u otros disolventes) directamente sobre el depósito mineral a través de un pozo y la salida del mineral a través de pozos de extracción.

Para que se formen estos depósitos en areniscas hay que partir de materiales ricos en uranio, por ejemplo rocas magmáticas como el granito o las rocas volcánicas. Estos materiales se oxidan cuando se encuentran en superficie o próximos a ella. Esto permite que el uranio también se oxide presentándose en forma de U+6, que es muy móvil. En contacto con las aguas que atraviesan estas rocas el uranio se hace soluble y fluye disuelto hacia cotas más bajas. En este caso, esas aguas llegan hasta un acuífero formado por areniscas. Se denomina acuífero a aquellas rocas lo suficientemente permeables como para que permitan la entrada, el flujo y el almacenaje de agua. En condiciones normales el uranio se conservaría disuelto hasta que las aguas encontrasen una salida; sin embargo, las condiciones geoquímicas de las areniscas presentan un ambiente reductor, lo que propicia que el uranio precipite en forma de U+4. El ambiente reductor implica la no existencia de oxígeno libre y se halla asociado a la naturaleza y abundancia de materia orgánica (presencia de elementos leñosos y carbonosos) dado que este oxígeno se ha consumido durante su descomposición.

Las areniscas ricas en materia orgánica contienen restos fosilizados de vegetales o capas de materia orgánica autógena o generada *in situ*, que es la que reduce el uranio mediante bacterias que actúan como catalizador en la producción de sulfuro de hidrógeno biogénico (H<sub>2</sub>S). Cuando las areniscas son relativamente pobres en materia orgánica el ambiente reductor dado por el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) tiene su origen en la interacción entre aguas subterráneas con elevada presión de oxígeno y la piritita (sulfuro de hierro, FeS<sub>2</sub>) presente en las areniscas. Asimismo, se da la presencia de fluidos y gases ricos en H<sub>2</sub>S, hidrocarburos o ambos que ascienden desde cotas estratigráficamente inferiores a través de una tupida red de fallas (fracturas del terreno con o sin dislocaciones) que favorecen la migración de gases. Es decir, la migración asciende desde los niveles inferiores ricos en hidrocarburos.

En nuestro caso, las cuencas uraníferas de Chu-Sarysu y Syrdarya (pre-Plioceno), localizadas en la zona centro-sur de Kazajistán, presentan unas areniscas relativamente pobres en materia orgánica, de manera que la presencia de las concentraciones de uranio se debe al papel fundamental desempeñado por los hidrocarburos. Chu-Sarysu y Syrdarya componían una gran cuenca artesiana que se dividió en dos tras el levantamiento de la cordillera Karatau, durante el Plioceno (hace 5 millones de años). Las cuencas están rellenas de gruesas capas de areniscas que actúan como acuífero al estar encajadas entre esquistos impermeables. La mineralización, que a menudo es del tipo *Rollfront* (véase la Fig. 1), se produce en arenas que datan del Cretácico superior al Paleoceno-Eoceno (70-55 millones de años).

La cuenca Chu-Sarysu tiene mayor mineralización que la cuenca Syrdarya y contiene mayores depósitos de uranio. Éstos se alojan en areniscas, arcillas y gravas del Cretácico tardío al Paleoceno (65 millones de años), depositadas en un ambiente

continental. En la cuenca de Syrdarya la roca huésped es una secuencia de arcillas y areniscas grises formadas en condiciones marinas litorales y continentales.

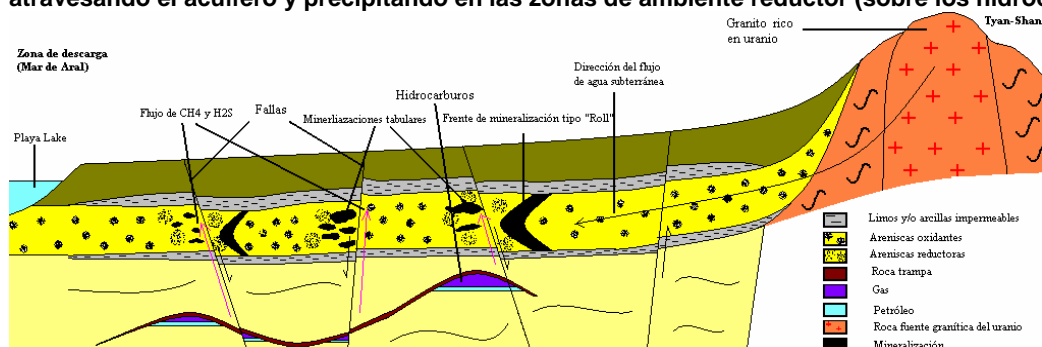
Los *Rollfronts* (o frentes tipo *Roll*) muestran una zonación geoquímica y mineral típica de los frentes de oxidación-reducción (zona de interfase) asociados a cualquier depósito de areniscas uraníferas. La zona de oxidación esta dominada por hidróxidos de hierro mientras que en la zona reductora dominan los sulfuros de hierro (pirita y marcasita). La zona rica en uranio también lo es en otros minerales como zinc, cobre, plata, cobalto, molibdeno, níquel y vanadio. En el contacto con la zona de reducción se encuentra un notable enriquecimiento en selenio.

El mineral se extiende por zonas de 20 a 30km a lo largo del frente de oxidación-reducción, formando cintas de 50 a 800m de ancho (llegando puntualmente a los 1,7km). En sección transversal las zonas forman los *Rollfronts*, cuerpos tabulares y lenticulares asimétricos. Su espesor varía de 5m a más de 25m. La mineralización de uranio se presenta como Cofinita y Pechblenda dispersa en la matriz de arcilla y como relleno de cavidades dentro de las areniscas. La profundidad a la que se halla el uranio oscila entre los 100 y los 800m.

El uranio presente en estos depósitos podría proceder de metasedimentos (roca sedimentaria sometida a condiciones de metamorfismo, es decir, elevadas presiones y/o temperaturas) y granitos Ordovícico-Silúricos (500-430 millones de años) aflorantes en la región de Tyan-Shan a lo largo de la ladera suroeste de la cuenca. Además, proporcionaba el material detrítico (arenas) para la secuencia sedimentaria que contiene la mineralización (areniscas). Otra posible fuente podrían ser los fluidos hidrotermales enriquecidos del uranio que captaban en esta región.

La desvitrificación de tobas volcánicas (roca ligera, porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños durante la erupción) intercaladas en las arenas Paleocenas/Eocenas seguramente ha sido un aporte extra de uranio para estos depósitos.

**Figura 1. Esquema geológico en el que se muestra el flujo de agua con U+6 desde el punto de captura atravesando el acuífero y precipitando en las zonas de ambiente reductor (sobre los hidrocarburos)**



Fuente: Joaquín Trigo y Xavier Serra, 2009.

La paleogeografía durante el Terciario y el Cuaternario y los movimientos tectónicos en los que se levantó la cordillera Karatau propiciaron un flujo considerable de aguas subterráneas que atravesaban los acuíferos desde el sureste hacia el noroeste, hacia la zona de descarga del mar de Aral, según se ha deducido por la morfología y la dirección que siguen las estructuras de tipo *Roll* que señalan la dirección del flujo (véase la Fig. 1).

Aunque la materia orgánica en las areniscas grises de los depósitos es escasa (generalmente inferior a 0,03%–0,05%), se considera que es suficiente (junto a una menor contribución de los sulfuros de hierro) para producir grandes depósitos de uranio en estas areniscas. Se atribuye la falta de correlación directa entre el contenido de uranio y la concentración de materia orgánica a la carbonización de esta materia que provoca el escape de activos reductores orgánicos como productos bituminosos y ácidos.

Además, estratigráficamente por debajo de los depósitos de uranio se hallan ingentes reservas de hidrocarburos cuyos gases han actuado como agentes reductores. Por tanto, las areniscas tienen poca materia orgánica facilitando una mayor entrada de aguas con uranio disuelto y el influjo de gases/fluidos (hidrocarburos y H<sub>2</sub>S) provocan una trampa geoquímica (ambiente reductor) en las areniscas propiciando la concentración de uranio en estas zonas. Los movimientos tectónicos facilitaron asimismo el flujo de estos gases y la entrada de aguas subterráneas en los acuíferos.

#### *Uranio y energía nuclear en Kazajistán: previsiones de futuro*

La energía nuclear se presenta como la energía del futuro. Algunos de los datos que avalan este hecho son, por ejemplo, los siguientes: (1) el combustible nuclear es uno de los que mayor energía contiene, lo cual reduce su espacio de almacenamiento; (2) la proliferación de reactores rápidos que permiten el uso del uranio-238 y del torio-232, además del uranio-235 (los reactores rápidos reproductores producen a su vez más combustible nuclear durante su operación del tipo *ave Fénix*); y (3) los reactores nucleares pueden generar hidrógeno (combustible que empieza a sustituir a los hidrocarburos) de forma industrial mediante hidrólisis y sin generar contaminantes. El alto coste energético de esta operación se compensa por las reservas casi ilimitadas de combustible nuclear.

Actualmente, Kazajistán posee el 15% de las reservas mundiales de uranio y está potenciando la expansión de este sector minero, previendo una producción para 2010 de 15.000 toneladas, cifra que para 2018 aumentaría hasta las 30.000 toneladas.

Sin embargo, Kazajistán debe asegurar el aprovisionamiento del ácido sulfúrico que necesita para separar el uranio de la roca. En los yacimientos australianos se necesitan generalmente unos 3kg de ácido sulfúrico para conseguir 1kg de uranio. En Kazajistán para conseguir la misma cantidad de uranio se necesitan entre 70 y 80kg debido al alto contenido en carbonato de la mena. El incendio acaecido en la fábrica que suministraba el ácido a mediados de 2007 y el retraso en la apertura de una nueva fábrica han provocado una severa escasez que ha tenido como consecuencia una drástica reducción de la producción de uranio kazajo durante el bienio 2007-2008. Esa dependencia se intentará solventar mediante la construcción de dos nuevas plantas de producción de ácido que se prevé que estén acabadas en 2009–2011, cerca de las minas Kharasan en el norte del país. Para solventar ésta situación se han previsto suministros excepcionales desde Rusia y Uzbekistán.

Kazatomprom, la compañía nuclear nacional, controla tanto la exploración como la explotación de yacimientos, así como la importación y exportación de materiales nucleares. La empresa anunció recientemente no sólo que duplicaría la actual producción de uranio para 2015, sino también su intención de ser responsable en ese año del 12% del mercado de combustible nuclear, del 6% del de enriquecimiento y del 30% de la fabricación de combustible. Actualmente, la empresa cuenta con una planta donde produce pastillas de combustible nuclear. Por otra parte ha firmado varios acuerdos bilaterales de cooperación con Rusia y Japón, entre otros países, para el suministro de uranio a cambio de tecnología para el enriquecimiento, la exploración de nuevos yacimientos y la construcción de nuevos reactores nucleares.

**Conclusiones:** Como se ha expuesto, las condiciones geológicas de los yacimientos uraníferos de Kazajistán favorecen grandes concentraciones de éste y otros minerales aunque exigen un tipo de explotación cada vez más complejo. El aumento en la producción de uranio en los principales países productores va ligado cada vez más a la aplicación de las técnicas de explotación mediante lixiviación *in situ* (ISL), que generan una fuerte dependencia con respecto a la industria productora de ácido sulfúrico utilizado en el proceso.

Por otra parte, la estabilidad interna y las buenas relaciones que mantiene Kazajistán con sus vecinos y las grandes potencias económicas le permiten, por ahora, desempeñar un papel estratégico en la industria nuclear a escala internacional, al beneficiarse del comercio y la cooperación con países como Rusia, Japón, China y EEUU. En esta línea de cooperación y desarrollo tecnológico el país ha hecho una fuerte apuesta de futuro para competir al más alto nivel en la explotación y exportación de recursos energéticos y en particular del uranio.

*Xavier Serra i Castella*

*Geólogo, profesor asociado en el Departamento de Petrología, Prospección Geológica y Geofísica de la UB*