



AIMMGM
XXIX Convención Internacional de Minería
Acapulco, Guerrero, México
Octubre 26-29, 2011

ACTA DE SESIONES



Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y
Geólogos de México, A.C.

ISBN 978-607-95292-2-2

TIPOS Y PRINCIPALES YACIMIENTOS DE URANIO EN EL MUNDO

Janet Villareal-Fuentes¹, Gilles Levresse^{1,*}, Rodolfo Corona-Esquivel^{2,3}, Jordi Tritlla⁴, L.E Ortiz-Hernández³

¹Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Querétaro, México.

²Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México; Mexico, D.F.

³División de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN.

⁴Repsol Exploración, Paseo de la Castellana 280, 28046 Madrid, España.

*E-mail: glevresse@geociencias.unam.mx

RESUMEN

Los yacimientos de uranio se encuentran en diferentes ambientes geológicos y existen numerosas clasificaciones para tratar de catalogarlos; la más usada es por el tipo de roca encajonante y la morfología del mismo; así, tenemos yacimientos de uranio ligados a areniscas, relacionados a discordancias, a metasomatismo, en vetas, ligados a rocas volcánicas (calderas y brecha pipe), relacionados a rocas magmáticas, en fosforitas, en lutitas negras y superficiales. Las concentraciones más grandes de uranio se encuentran ligadas a discordancias (Canadá Athabasca Basin y Australia Alligator River), y a areniscas (área sur de Texas de tipo *roll front*).

ABSTRACT

The uranium deposits are found in different geological environments and there are many classifications to try to catalog them; the most used is the type of host rock and the morphology of the same, so we have uranium deposits associated with sandstone, unconformity, related to metasomatism, in veins, associated with volcanic rocks, related to magmatic rocks in phosphorite and black shales. The largest concentrations of uranium are related to unconformity (Canada Athabasca River Basin and Alligator River Basin) and sandstones (area south of Texas roll-type front).

INTRODUCCIÓN

El uranio podría ser una de las principales fuentes de energía contempladas para cubrir la creciente demanda de electricidad en el mundo y es uno de los métodos más limpios para generarla, por lo que su gran ventaja es de producir grandes cantidades de energía sin emitir CO₂ a la atmósfera. Actualmente, se encuentran operando 436 plantas de energía nuclear en el mundo que generan 372 GWe (gigawatt). Anualmente consumen cerca de 76,200 toneladas de uranio que producen *ca.* 20% de electricidad. Debido a los hechos ocurridos en Japón, su futuro es incierto, las centrales nucleares actuales son seguras pero se deben destinar grandes cantidades de dinero para garantizar la seguridad, ya que un accidente nuclear conlleva a un gran desastre.

Existen varias clasificaciones de los yacimientos de uranio según los países estudiados (REF). La más general, aunque la menos ideal, es la de la International Atomic Energy Agency (IAEA, 2009). Todas están basadas sobre el ambiente geológico y la génesis de la mineralización.

Es posible encontrar yacimientos de U en casi todos los ambientes geológicos: en condiciones metamórficas (arriba de los 800° C, de 5 a 7 kbar de presión), magmáticos, metasomáticos, hidrotermales, diagénesis en cuencas y ambientes superficiales (Dahlkamp, 1993), y se distribuyen desde el Nearqueano hasta el Cuaternario.

TIPOS DE YACIMIENTOS

1. YACIMIENTOS DE TIPO METASOMÁTICO

Se encuentran principalmente en zonas de falla profunda deformada (*shear zone*), que actúan como vías para los fluidos hidrotermales, los cuales provocan la alteración por metasomatismo de Na-Ca (albitización) o hematitización, formando las condiciones favorables para el desarrollo del yacimiento (Oesterlen *et al.*, 1986; Connors *et al.*, 1995) Junto con el emplazamiento de U-Th-P y REE, el Na-Ca-K se introduce dentro y en las paredes de la roca encajonante (Figura 1). La asociación mineral consiste de albita, riebeckita, arvedsonita, aegirina, apatita, zircón y titanatos de uranio (Kalyaev, 1980; Belevtsev, 1980; Tugarinov, 1980). Representan el 9% de las reservas globales de U. Ejemplos: Lagoa Real, Espinhares en Brasil (Lobato *et al.*, 1990), Tete en Mozambique, Zheltye Vody en Ucrania, Kitongo, Cameroon y Valhalla en Australia (Vels *et al.*, 1988).

2. YACIMIENTOS DE TIPO MAGMÁTICO

Depósitos de alta temperatura en donde el U se concentra en las rocas intrusivas, incluyendo alaskitas, granitos, pegmatitas, carbonatitas, cuarzo-monzonitas y sienita peralcalina; Estos yacimientos representan el 5% de las reservas mundiales (Figura 2). Muchas pegmatitas y aplitas contienen uranio como uraninita y óxidos uraníferos de Ta-Nb, pero principal-

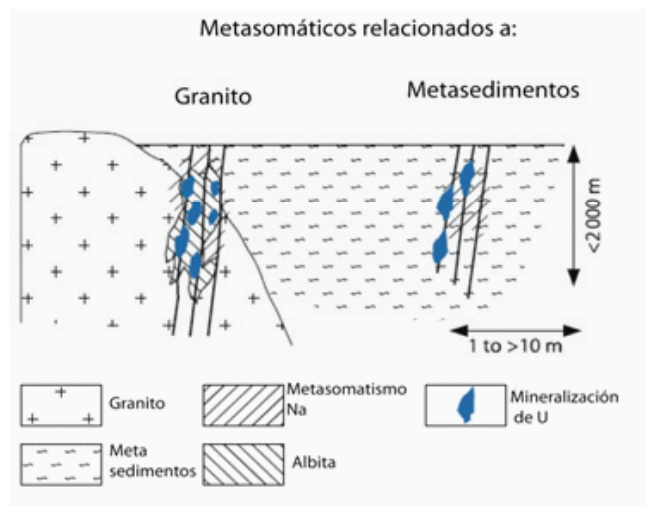


Figura 1. Depósitos metasomáticos (tomado de Dahlkamp 2009).

mente a nivel subeconómico. Entre los depósitos de uranio en pegmatitas, están los de Bancroft y Campbell Island en Canadá (Dill, 2009), Ilimaussaq en Groenlandia (Steenfelt *et al.*, 1982), Distrito de Antsirabe-Kitsamby en Madagascar (Bourret, 1988), entre otros.

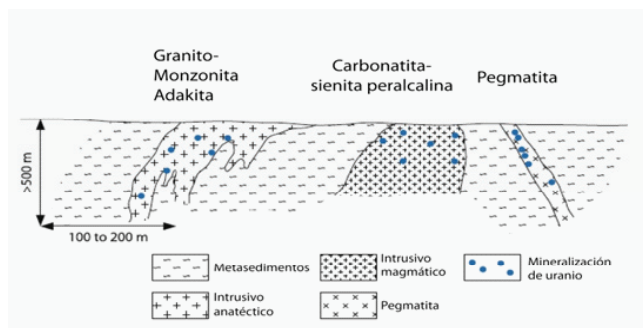


Figura 2. Esquema de los depósitos relacionados con rocas magmáticas y sus relaciones con la roca (tomado de Dahlkamp, 2009).

3. YACIMIENTOS ASOCIADOS A ROCAS VOLCÁNICAS

Se asocian a rocas volcánicas félsicas riolitas-dacitas, principalmente en zonas continentales extensionales. Se reconoce dos tipos diferentes, de caldera y de brecha pipe.

3-1 Tipo caldera

Los depósitos consisten de vetas, *stockwork*, en estructuras de anillo de fracturas, fracturas radiales; los estratiformes o tubulares se forman en cuencas volcánicas en las cuales hay fracturas en la interestratificación y fracturas de enfriamiento en las unidades superior e inferior (Figura 3). La mineralización “estratoligada” consiste de diseminación y la impregnación de flujos permeables de tobas, piroclastos y clastos sedimentarios. Se forman desde magmas félsicos en-

riquecidos en U que también son enriquecidos por los fluidos hidrotermales. El depósito más grande de este tipo es el de Transbaikalian en la región de Streltsovka, Rusia, con riolitas datadas en 142 ± 7 Ma asociado a una caldera (Chabiron *et al.*, 2003), la petchblenda viene acompañada con cofinita, pirita, galena, molibdenita y brannerita. Edades: desde el Proterozoico hasta el Terciario. Ejemplos: la caldera de Streltsovsk en Rusia, la caldera McDermitt en EUA; ligado al Basin and Range, Peña Blanca en México, Xiangshan y el cinturón volcánico de Gan Hang en China, además de Novazza, Val Vedello en Italia, Ben Lomond y Maureen en Australia, Dornot complex en Mongolia y Kitts en Canadá (Evans, 1980; Cárdenas-Flores, 1985; Noble *et al.*, 1988; Goodell, 1981; Goodell, 1992; Leslie *et al.*, 1993; Fuchs *et al.*, 1995; Háber, 1996; Cunningham *et al.*, 1998).

3-2 Tipo brecha pipe (o IOCG)

Los depósitos de este grupo se presentan en brechas ricas en hematita y contienen uranio en asociación con cobre, oro, plata y tierras raras. El principal representante de este tipo de depósitos es el de Olympic Dam en Australia. Se le ha considerado como un conjunto de óxidos de hierro sin relación directa con los depósitos de cobre-oro de edades comprendidas entre 1,570 a 1,000 Ma., que incluyen a Hill Ernest Henry (1 480 Ma), Starra (1 500 Ma), Osborne (1 540 Ma), en Australia; Candelaria (1,100 Ma), Salobo (21,570 a 1,880 Ma?) y Sossego en América del Sur; Michelin y Sue Dianne en Canadá (IAEA, 2009).

El complejo de brecha de Olympic Dam incluye una gradación completa de brechas de granito cementadas principalmente con hematita; presenta alteración de sericita, clorita, hematita y otras cantidades variables de barita, fluorita, sulfuros y minerales de uranio. El núcleo central del complejo presenta varias estructuras de diatremea, el cual está limitado al este y al oeste por zonas ricas en hematita y brechas graníticas alteradas. Estas zonas son aproximadamente de 1 km de anchura y aproximadamente 5 km en dirección NW-SE. (IAEA, 2009).

El yacimiento de Olympic Dam, de cobre-uranio y oro es el más grande conocido a nivel mundial. Los recursos inicialmente fueron estimados en más de 1,552 Mt U de grado medio, 0.34 kg/tU. La exploración con sondeos de diamante ha descubierto grandes extensiones del yacimiento al sureste, lo que aumentará el tamaño de los recursos. En junio de 2006, el total de recursos en el yacimiento de Olympic Dam se estimó en 4,430 Mt con promedio de 1.1% Cu, 0.4 kg/tU, U_3O_8 , 0.5 g/t Au. El yacimiento tiene además una cantidad significativa de elementos de tierras raras (lantano y cerio) y tiene un contenido de hierro aproximadamente de 26% de Fe (Figura 4).

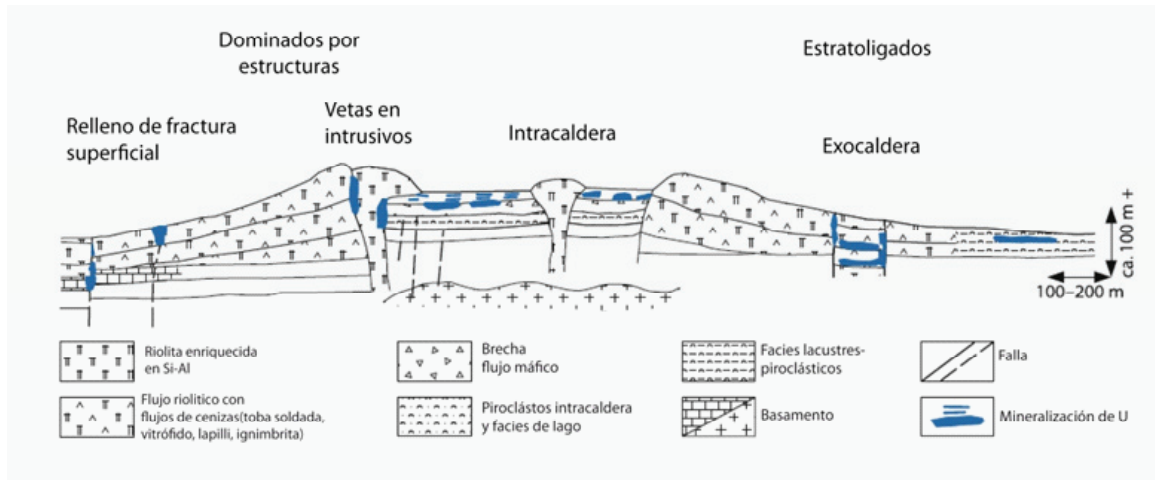


Figura 3. En rocas volcánicas (tomado de Dahlkamp, 2009).



Figura 4. Vista panorámica viendo al poniente del yacimiento de Olympic Dam. Fotografía tomada por Rodolfo Corona-Esquivel en abril de 2011.

4. DEPÓSITOS EN VETAS

Este tipo de depósitos está dividido en polimetálicos U-Se-Bi-Pb-Zn-Cu y monominerales U-Ti-Mo-C. Los depósitos tipo veta de uranio se ligan a intrusivos félsicos (Figura 5), rocas de basamento y sedimentos de plataforma. De acuerdo con sus rasgos estructurales, se pueden subdividir en estructuras mineralizadas, zonas de cizalla o zonas de *stockwork*, y de acuerdo con su relación con el granito pueden ser clasificados en intragraníticos como los de Limousin y Vendée en Francia (Cathelineau *et al.*, 1981) o localizarse en las inmediaciones alrededor del granito con límites metamórficos, como es el caso de Bohemian Massif en Alemania (Matolin *et al.*, 1981; Mochnacka *et al.*, 1995) en la República Checa (Dill, 2009) o en el Congo (Vochten *et al.*, 1990). La fuente de U es una fase acuosa magmática rica en volátiles. La precipitación del uranio se lleva a cabo por proceso de mezcla

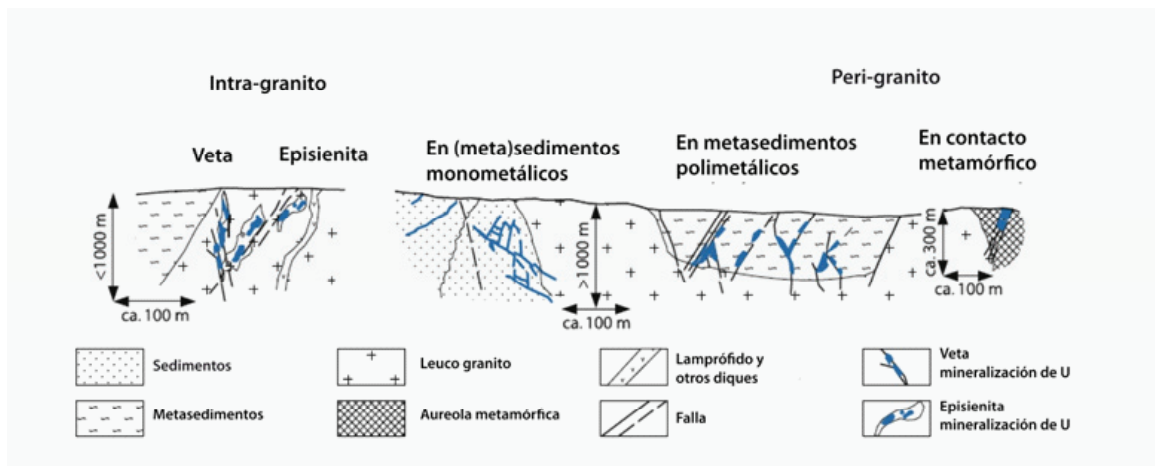


Figura 5. Yacimientos de uranio relacionados a vetas (Dahlkamp, 2009).

entre las aguas magmáticas y meteóricas (el U^{6+} se convierte en U^{4+} por el incremento del pH debido a la interacción con la roca rica en Ca y por los cambios de temperatura que causa un rápido decrecimiento en la solubilidad del UO por debajo de los 200° C). Rango de edad: desde el Proterozoico hasta el Paleógeno .

5. DISCORDANTES

Están relacionados con discordancias mayores del Arqueano-Paleoproterozoico de rocas metasedimentarias que se encuentran sobreyacidas por areniscas del Paleo-Mesoproterozoico en cuencas intracratónicas (Figura 6). Los depósitos se encuentran dentro del basamento o en las areniscas a unos pocos metros de la discordancia o están relacionados con fallas y zonas de brecha. Los depósitos de este tipo constituyen el 12% de la reserva global. La mineralización dominante suele ser uraninita, pitchblenda, cofinita, branerita o minerales orgánicos de uranio. Los mayores depósitos en Canadá y en la cuenca del Gabon, Rusia y oeste de Australia son de este tipo (Hoeve *et al.*, 1978 ; Beaufort *et al.*, 2005; Hiatt *et al.*, 2010). Edad: entre los 1000 y 2000 Ma, los depósitos más antiguos son los de Franceville Basin en Gabón (Salas *et al.*, 2000; Cuney y Kyser, 2008).

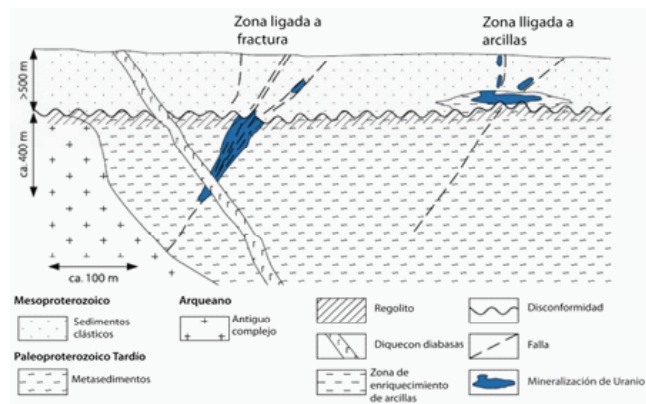


Figura 6. Esquema simplificado que muestra la relación de los yacimientos ligados a discordancias (Dahlkamp, 2009).

6. YACIMIENTOS DE TIPO CONGLOMERADOS CUARZO-PEBBLE

Estos depósitos se restringen a cuencas intracratónicas del Paleoproterozoico. La roca encajonante consiste en un conglomerado cuarzo-pebble oligmítico de estratificación cruzada con matriz rica en piritita interestratificada con lechos de cuarcita y argilita como una unidad basal en un sistema de corrientes trenzadas de delta. El principal tipo de yacimiento de uraninita es de tipo paleoplacer, asociado a oro, REE y a sulfuros. El transporte fluvial y la acumulación de uranio se condicionan al carácter reductor de la atmósfera terrestre. La re-depositación y la cristalización mineral se da prin-

cialmente por procesos diagenéticos (Figura 7). En estos yacimientos, los minerales más comunes son uraninita, branerita, monazita, torio-uraninita, cuarzo oro, piritita, zircón, cromita, Ru-Os-Ir-Pt-Fe y esperrilita (Dill, 2009; Cuney, 2008). Este tipo de yacimientos contiene cerca de 170,000 t de reservas de uranio (Witwatersrilitaand, Sudáfrica y Elliot Lake, Canadá). Ejemplos: Witwatersrand, Sudáfrica y Elliot Lake, Canadá son de los más importantes; Sierra do Jacobina en Brasil, Tarkwa en Ghana y Guyana Shield en Colombia (Dill, 2009). La edad, como se mencionó anteriormente, va desde el Arqueano hasta el Paleoproterozoico (3,100-2,200 Ma) algunos se extienden hasta el Mesoproterozoico, como el de Tarkwa (1,900 Ma.)

7. LIGADOS A ARENISCAS

Se determina por su morfología tres tipos de depósitos en areniscas: *Roll front*, tabular y estructural. Los tres sub-tipos presentan rasgos comparables: son emplazados en areniscas arcosas de grano grueso depositadas en medios continentales fluviales o en un margen marino sedimentario (Sanford, 1994); por lo general, hay lutita impermeable que se encuentra interestratificada en la secuencia sedimentaria encajonando por arriba y por abajo a la zona mineralizada de la arenisca. El uranio es transportado por salmuera de cuenca de baja temperatura, y es precipitado principalmente como UO_2 o $USiO_4$ por reducción del U^{6+} por modificación del pH de los fluidos que interactúan con material carbónico, sulfuros, hidrocarburos y rocas volcánicas máficas. Estos depósitos constituyen el 28% de las reservas de uranio.

7-1 Los roll front

Se caracterizan por tener una forma arqueada, elongados, de canales fluviales fósiles de cuerpos de uranio que cortan la arenisca encajonante altamente permeable, rodeada por rocas menos permeables (Figura 8). Según estudios, los sedimentos se derivaron de áreas graníticas, donde por meteorización de los granitos el uranio presente en concentraciones traza en los granitos fue oxidado formando el uranio hexavalente, altamente soluble, el cual migró y cuando llegó a las condiciones reductoras de sedimento rico en materia orgánica se precipitó en forma de uranio tetravalente no soluble. Cuando las aguas oxidadas penetran en el ambiente reductor del sedimento, se genera una zona irregular en forma de lengua de sedimento oxidado; en un perfil, el límite entre el sedimento oxidado y el sedimento reducido (llamado límite redox) tiene contornos cilíndricos, el frente del *roll front* corta los estratos de la roca huésped. Un aporte continuo de agua rica en oxígeno provoca la solución y la redepósito de uranio. En la zona mineralizada del *roll front* es abundante el U, Mo, Se, V, Co, Cu y As. El vanadio puede

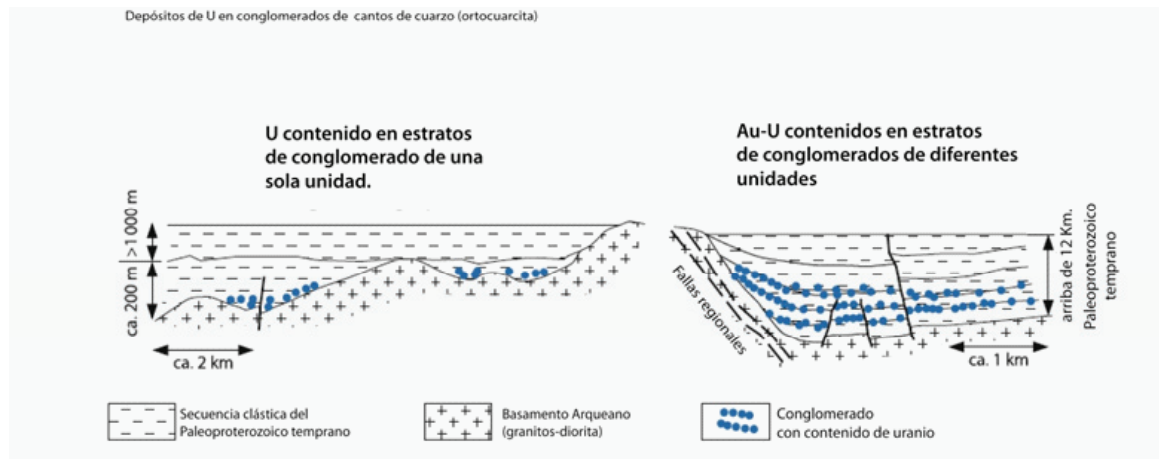


Figura 7. Aspecto general de los yacimientos para conglomerados cuarzo-pebble (Dahlkamp, 2009).

estar acompañado por montroseita, carnotita, tyuyamunita y francevilita, y el molibdeno está presente como jordisita, el Se se encuentra en la lattice de la ferroselita. Como ejemplos tenemos los de Wyoming y Texas en EUA (Finch, 1996), Moinkum, Inkai y Mynkuduk en Kazajistán, Bukinay, Sugraly y Uchkuduk en Uzbekistán (Dill, 2009).

7-2 Tabulares

El tipo tabular de depósitos de uranio está presentes en areniscas fluviales-lacustres, son subparalelos a la estratificación y paralelos a la dirección del paleodrenaje y, por lo general, son subyacidos por evaporitas y sobreyacidos por lutitas (Sanford, 1994). Extendiéndose desde Utah, Colorado, Arizona y Nuevo Mexico en la zona uranífera del Colorado Plateau, el uranio viene acompañado de vanadio, con aproximadamente 10% en óxidos de vanadio. Los minerales característicos son la carnotita, montroseita, pascoita y corvusita. Los depósitos de este tipo tienen una edad que varía desde el Triásico hasta el Jurásico en la Formación Morrison (Dill, 2009).

7-3 Los tectónicos/litológicos

Están relacionados con areniscas y zonas de falla permeables. Un ejemplo de este tipo de depósito es el de lago Ambrosia en Nuevo Mexico, EUA, o Mountana (el más conocido de éstos depósitos es Oklo) en Gabón (Salas *et al.*, 2000) el cual opera como un reactor nuclear natural, y Lodève en Francia (Mathis *et al.*, 1990). Los depósitos de Gabón se encuentran en la sección superior de la arenisca paleoproterozoica de Mabinja (Dymkov *et al.*, 1997; Mossman *et al.*, 2005). El uranio se encuentra ligado a las estructuras tectónicas y siempre acompañado por hidrocarburo (querógeno y bitumen) asociado a sulfuros; estas estructuras sirvieron como trampas para estos depósitos, la mineralización de uranio ocurre cuando un fluido oxidado de uranio se mezcla con un fluido reducido rico en hidrocarburo; en las zonas de los depósitos existe hidrofracturamiento que sirve como canal para los fluidos mineralizantes. Las principales fases de la mineralización de uranio han sido datadas de 1,700 a 2,100 Ma (Gautier-Lafaye *et al.*, 1989). La edad de muchos de estos depósitos es más joven que los 440 Ma, poco después de que los organismos comenzaron a invadir los continentes (Figura 8).

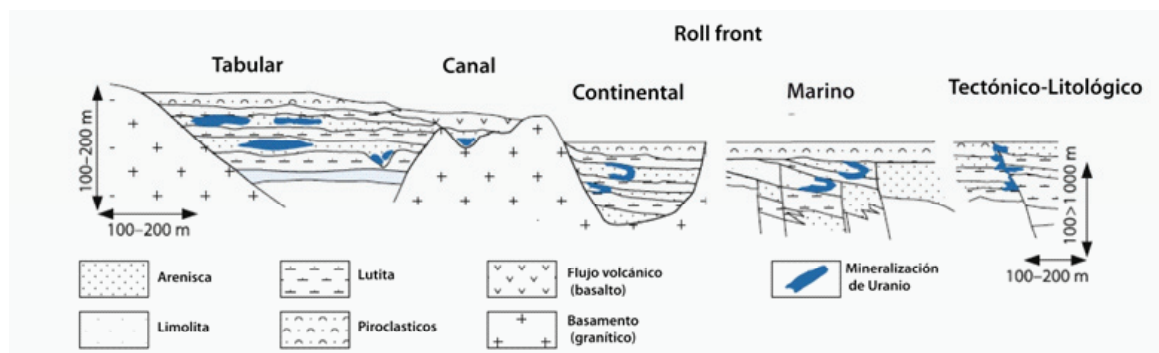


Figura 8. Esquema que muestra de forma generalizada los tres tipos principales de depósitos de uranio: tabulares, roll front y tectónico-litológico. (Dahlkamp 2009).

8. DEPÓSITOS EN FOSFORITA

Definidos principalmente para la meseta de Florida y su planicie costera, este tipo de depósitos se caracteriza por una alta concentración de uranio. El uranio y el fosfato se precipitan en lagunas desde el agua de mar, sufriendo después diferentes procesos, se enriquecen y se reconcentran (Warren, 1996). El uranio se encuentra en estado tetravalente y hexavalente en relaciones variables, en el estado de diagénesis temprano en la formación de las fosforitas marinas en un medio ambiente reductor, el U^{6+} se precipita principalmente como uraninita absorbida por el material de fosfato (Baturin, 2001). La edad de mineralización para estos depósitos es del Mioceno y para la reconcentración del mineral del Plioceno-Pleistoceno-Holoceno. Los minerales son francolita (carbonato de fluorapatita), crandalita, milisita, wavellita y vivanita en la zona de alteración. Tenemos ejemplos de este tipo de depósito en Florida, se extiende un poco dentro de Georgia y de Baja California en México.

9. DEPÓSITOS RELACIONADOS CON LUTITA NEGRA

Son depósitos sinsedimentarios, estratiformes, que contienen mineralización de uranio uniformemente diseminado y adsorbido en las partículas arcillosas y orgánicas en lutitas de ambiente marino bajo condiciones libres de oxígeno, altamente rica en materia orgánica. En estas condiciones, la materia orgánica causa la reducción e inmovilización del uranio disuelto en el agua de mar. La lutita contiene piritita y horizontes delgados e interstratificados de carbón, fósforo y/o limos. Otros minerales como el Cu, Cr, Mo, Mn, REE, V y P se encuentran en pequeñas cantidades. La materia orgánica es sapropílica-bituminosa o humus, carbonosa derivada del plancton y plantas terrestres. Tienen un espesor uniforme de alrededor de 10 m de longitud y extensión amplia.

10. SUPERFICIALES

Se concentran en sedimentos o en suelos (IAEA, 1984). Estos depósitos tienen cementante secundario abundante y los calcretes son los depósitos superficiales más grandes (Figura 9). El mineral principal es la carnotita, un vanado de potasio-uranio, y constituyen el 2% de las reservas globales de U. Estos depósitos se forman a bajas temperaturas relacionados con aguas subterráneas en medio ambientes áridos que producen calcretes, bajo condiciones húmedas y frías en turbiditas y en cavernas en calizas. Ejemplos: Yeleere en Australia, Langer Heinrich en Namibia. Edad: del Terciario al Reciente (Cuney, 2008).

CONCLUSIÓN

Los depósitos de uranio se encuentran en una gran variedad de ambientes geológicos. Los yacimientos primarios están relacionados con escudos precámbricos. La mayoría de los yacimientos secundarios (sedimentarios) lixivian el uranio en condiciones oxidadas de acuerdo con la movilidad del uranio en forma hexavalente (UO_2^{2+}) y lo re-depositan en ambientes reductores, bajo forma de U^{4+} el cual tiende a ser insoluble.

A nivel nacional, dicha clasificación permite identificar blancos potenciales de exploración. Aunque los afloramientos de rocas precámbricas son limitados (Oaxaca y Sonora, principalmente) existe un basamento precámbrico en la mitad del país.

Por otra parte, el magmatismo del Eoceno, Oligoceno y Mioceno, que es abundante en gran parte del territorio nacional, representa vectores de transportes de uranio muy favorables hacia la superficie (e.g., Peña Blanca), por lo cual México presenta un gran potencial por la exploración de yacimientos de uranio.

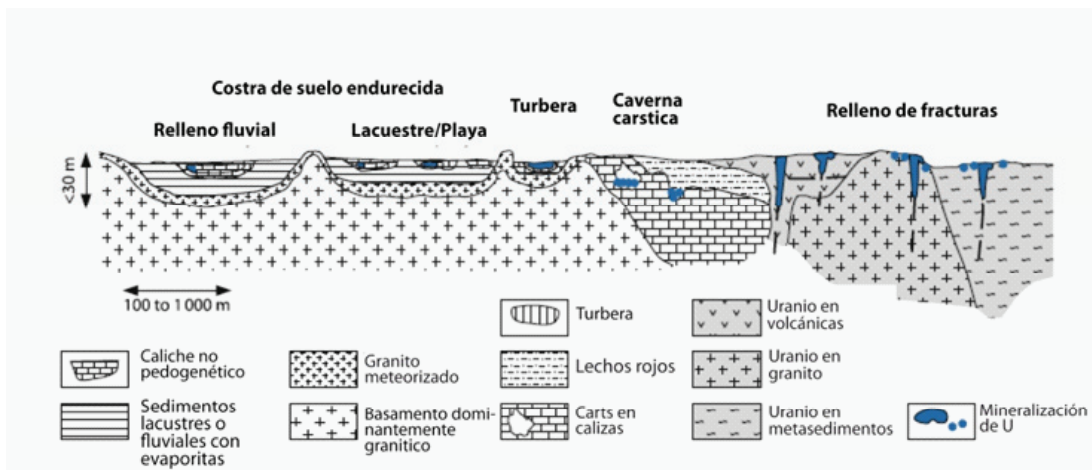


Figura 9. Depósitos superficiales de uranio (Dahlkamp, 2009).

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos el apoyo parcial de los proyectos PA-PIIT-UNAM, IN100707, IN109410-3 y CONACYT 81584. Corona-Esquivel, agradece a las autoridades del Instituto de Geología, UNAM, el apoyo recibido en diversos proyectos de carácter interno. Ortiz-Hernández y Corona-Esquivel agradecen a las autoridades de Ciencias de la Tierra, ESIA, IPN, el apoyo recibido para la realización de este proyecto. Magdalena Alcayde realizó la corrección de estilo del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Baturin, G.N., y Kochenov, A.V., 2001, Uranium in phosphorite: Lithology and Mineral Resources, v. 36, p. 303-321.
- Beaufort, D.; Patrier, E.; Laverret, E.; Bruneton, P.; y Mondy, J., 2005, Clay alteration associated with Proterozoic unconformity-type uranium deposits in the East Alligator rivers uranium field, Northern Territory, Australia: *Economic Geology*, v. 100, p. 515-536.
- Belevtsev, Y.N., 1980, Endogenic uranium deposits of Precambrian shields: environment of formation, Albitized Uranium Deposits: Bendix Field Engineering Corporation, U.S. Dept. of Energy, Gran Junction, Colorado, p. 55-80.
- Bourret, W., 1988, Uranium-bearing pegmatites of the Antsirabe-Kitsamby district Madagascar: *Ore Geology Reviews*, 3, p. 177-191.
- Cathelineau, M., y Leroy, J., 1981, Reactions between uranium veins and their host rocks in Vendee and Limousin (France): *Mineralogical Magazine*, v. 44, p. 417-423.
- Connors, K.A., y Page, R.W., 1995, Relationships between magmatism, metamorphism and deformation in the western Mount Isa inlier, Australia: *Precambrian Research*, v. 71, p. 131-153.
- Cuney, M., y Kysner, K., 2009, Recent and not-so-recent- developments in uranium deposits and implications for exploration: *Economic Geology*, v. 104, p. 600-601.
- Cunningham, C.G.; Rasmussen, J.D.; Steven, T.A.; Rye, R.O.; Rowley, P.D.; Romberger, S.B.; y Selverstone, J., 1998, Hydrothermal uranium deposits containing molybdenum and fluorite in the Marysvale volcanic field, west-central Utah: *Mineral Deposita*, v. 33, p. 477-494.
- Cárdenas-Flores, David, 1985, Volcanic stratigraphy and U-Mo mineralization of the Sierra de Peña Blanca district, Chihuahua, Mexico, in *Uranium deposits in volcanic rocks: El Paso, Texas, Proceedings of a Technical Committee Meeting, International Atomic Energy, Vienna*, p. 125-136.
- Dahlkamp, F.J., 1978, Uranium ore deposit: *Mineral Deposita*, v. 13, p. 83-104.
- Dahlkamp, F.J., 1993, Uranium ore deposit: Springer, ed., 161 p.
- Dahlkamp, F.J., 2009, Uranium deposits of the World: Springer, 1a ed., 493 p.
- Dill H.G., 2009, The "chessboard" classification scheme of mineral deposits--Mineralogy and geology from aluminum to zirconium: *Earth Science Review*, 100, p. 1-420.
- Dymkov, Y.; Holiger, P.; Groshkov, A.; y Artyukhina, A., Characterization of a La-Ce-Sr-Ca aluminous hydroxy phosphate in nuclear zone 13 in the Oklo uranium deposit (Gabon): *Mineral Deposita*, 32, p. 617-620.
- Evans, D., 1980, Geology and petrochemistry of the Kitts and Michelin uranium deposits and related prospects, Central Mineral Belt, Labrador: Kingston, Ontario, Queen's University, disertación doctoral, 311 p.
- Finch, W.I., 1996, Uranium provinces of North America--Their definition, distribution and models: *Geological Survey Bulletin*, 2141, p. 24.
- Fuchs, Y., y Maury, R., 1995, Borosilicate alteration associated with U-Mo-Zn and Ag-Au-Zn deposits in volcanic rocks: *Mineral Deposita*, 30, p. 449-459.
- Gautier-Lafaye, F., y Wever, F., 1989, The Francevillian (Lower Proterozoic) Uranium ore deposits of Gabon: *Economic Geology*, v. 84, p. 2267-2285.
- Goodell, P.C., 1981, Geology of the Peña Blanca uranium deposits, Chihuahua, Mexico, in Goodell, P.C., y Waters, A.C., eds., *Uranium in volcanic and volcanoclastic rocks: American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology*, 13, p. 275-291.
- Goodell, P.C., 1992, The Chihuahua City uranium province, Chihuahua México, in Goodell, P.C.; Garcia, G.; y Reyes, I., eds., *Energy Resources of the Chihuahua Desert Region: El Paso. Geological Society*, p. 221-223.
- Gormitz, V., y Kerr, P.F., 1970, Uranium mineralization and alteration Orphan Mine, Gran Canyon Arizona: *Economic Geology*, v. 65, p. 751-768.
- Haynes, S.J., 1982, Characterization of assimilation-type uraniferous pegmatites, Bancroft Region: *Miscellaneous Paper-Ontario Geological Survey*, 103, p. 78-84.
- Haber, M., 1996, Vein Cu-mineralization in the Permian formation near the Novoveská Huta area, in Grecula, P., y Németh, Z., eds., *Variscan metallogeny of the Alpine orogenic belt: Mineralia Slovaca Monograph*, p. 283-292.
- Hiatt, E.E.; Palmer, S.E.; Kurt, K.T.; y O'Connor, T.K., 2010, Characterization of a La-Ce-Sr-Ca aluminous hydroxy phosphate in nuclear zone 13 in the Oklo uranium deposit (Gabon): *Basin Research*, 22, p. 302-323.
- Hoeve, J., y Sibbald, T., 1978, On the genesis of Rabbit Lake and other unconformity-type uranium deposits in northern Saskatchewan, Canada: *Economic Geology Bulletin*, v. 73, p. 1450-1473.
- International Atomic Energy Agency (IAEA, 2009), *World Distribution of Uranium Deposits (UDEPO) with Uranium Deposits Classification*.
- Kalyaev, G.I., 1980, Mode of albitite distribution in zones of the Ukrainian Shield, in Abou-Zied, S., y Kems, G., eds., *Albitized uranium deposit: Six articles translated from Russian literature. United States Department of Energy, Grand Junction Office, Colorado. GJBX-193 (80)*, U.S. Department of Energy, p. 303-312.
- Lally, J., y Bajwah, Z., 2006, Report 20: Uranium Deposits of the NT: Northern Territory Geological Survey, ISBN 0724571078.
- Leroy, J.L., y George-Aniel, B., 1992, Volcanism and uranium mineralization--The concept of source rock and concentration mechanism: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 50, p. 247-272.
- Leslie, B.W.; Percy, E.C.; y Prikryl, J.D., 1993, Oxidative alteration of uraninite under hydrologically unsaturated conditions at Peña Blanca, Chihuahua, Mexico--Contaminant transport and source term constraints for the proposed repository at Yucca Mountain, Nevada, in Interrante, C.G., y Pabalan, R.T., eds., *Scientific Basis for Nuclear Waste Management XVI, Materials Research Society, Pittsburgh, Pennsylvania, Symposium*, p. 505-512.
- Lobato, L.M., y Fyfe, W.S., 1990, Metamorphism, metasomatism, and mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil: *Economic Geology*, v. 85, p. 968-989.
- Mathis, V.; Robert, J.P.; y Saint, M.J., 1990, Geology and metallogeny of the uranium deposits in the Lodeve Permian Basin, southern Massif Central, France [Geologie et metallogenie des gisements d'uranium du bassin permien de Lodeve (sud du Massif central francais)]. *Chronique de la Recherche Minière*, 499, p. 3-40.
- Misra, K.C., 1999, *Understanding Mineral Deposits: Nueva York, Springer-Verlag*, 358 p.
- Mochnecka, K.; Banks, M.; Kramer, W.; y Posmourny, K., 1995, Metallogensis pre-Permian geology of central and eastern Europe: *Springer*, p. 360-372.

- Mossman, D.J.; Gauthier-Lafaye, F.; y Jackson, S.E., 2005, Black shales, organic matter, ore genesis and hydrocarbon generation in the Paleoproterozoic Franceville Series, Gabon: *Precambrian Research*, v. 137, p. 253-272.
- Noble, D.C.; McCormack, J.K.; Mckee, E.H.; Silberman, M.; y Land, Wallace A.B., 1988, Time of the mineralization in the evolution of the McDermitt Caldera Complex, Nevada-Oregon, and the relation of Middle Miocene mineralization in the northern Great Basin to coeval regional basaltic igneous activity: *Economic Geology*, v. 83, p. 859-863.
- Oesterlen, M., y Vetter, U., 1986, Petrographic characteristics and genesis of albitized uraniferous granite in northern Cameroon, Africa, Veintype uranium deposits: IAEA-TC-36, p. 113-142.
- Poty, B., y Pagel, M., 1988, Fluid inclusions related to uranium deposit--A review: *Journal of the Geological Society*, 145, p. 157-162.
- Pretorius, D.A., 1981, Gold and uranium in quartz-pebble conglomerates. *Economic Geology, Seventy-fifth Anniversary*, p. 117-138.
- Salas, J., y Bitzer K.A., 2000, Origin and genesis of the Oklo uranium ore deposits (Gabon)--Results from a basin scale fluid flow modeling: *Journal of Geochemical Exploration*, p. 165-171.
- Sanford, R.F., 1994, Hydrogeology of Jurassic and Triassic wetlands in the Colorado Plateau and the origin of tabular sandstone uranium deposits: *US Geological Survey Professional Paper*, p. 34-40.
- Sarkar, S.C., 1982, Uranium (-nickel-cobalt-molybdenum) mineralization along the Singhbhum copper belt, India, and the problem of ore genesis: *Mineralium Deposita*, 17, p. 257-278.
- Steenfelt, A.; Neilsen, B.; y Secher, K., 1982, Uranium and selected trace elements in granites from the Caledonides of East Greenland: *Miner Magazine*, 46, p. 201-210.
- Tugarinov, A.I., 1980, Complex metasomatic uranium deposits, in About-Zied, S., y Kems, G., eds., Albitized uranium deposits, six articles translated from Russian literature: United States Department of Energy, Gran Junction Office, Colorado, p. 35-54.
- Vels, B., y Fritsche, R., 1988, Sodium metasomatism in the Kitongo uranium occurrence near Poli, Cameroon: *Uranium*, 4, p. 365-383.
- Vochten, R.A., 1990, Streaming potential studies on pitchblende from Shinkolobwe, Zaire: *Journal of Nuclear Materials*, 172, p. 241-245.
- Warren, F.I., 1996, Uranium Provinces of North America, their definition, distribution and models: *U.S. Geological Survey Bulletin* 2141, p.18.