

## Exploración de Uranio en Venezuela

Jean Pasquali Z. <sup>1\*</sup> y Ramón Sifontes G. <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Central de Venezuela. Instituto de Ciencias de la Tierra. Caracas.

pasquali@cantv.net rsifonte@ciens.ucv.ve

### Resumen

De la revisión de la literatura internacional sobre yacimientos de uranio (U) se han derivado criterios que han permitido detectar los ambientes geológicos y geoquímicos relacionados con los yacimientos de mayor tamaño o áreas de considerable potencial. Estos criterios incluyen áreas asociadas a discordancias en rocas precámbricas y sobre rocas precámbricas, junto con ambientes reductores favorables. Mundialmente los yacimientos que cumplen con esos criterios contienen más del 90 por ciento de las reservas de U de bajo costo (Bowie, 1977). Adicionalmente se ha tomado en cuenta localidades uraníferas conocidas, o inferidas, de Venezuela, con un potencial más modesto, pero de acceso más directo.

La discordancia de la base del Grupo Roraima en el Escudo de Guayana, presenta una extensa área potencial para grandes yacimientos de U y es muy parecida al área de East Alligator Rivers de Australia en donde se encuentran los yacimientos de U de Jabiluka, Ranger 1, Ranger 3, Nabarlek y Koongarra, con reservas de unas 470.000 toneladas de U. Existe evidencia de que la discordancia debajo de Roraima ha sido mineralizada, a través de muestras geoquímicamente anómalas.

La discordancia de rocas más jóvenes suprayacentes al Escudo de Guayana, determina otra situación muy favorable para la formación de yacimientos de U en rocas cretácicas y terciarias, al sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, en lo que corresponde al límite sur de la Faja Petrolífera del Orinoco, la cual representa el ambiente reductor del U para su fijación. Esta situación, al parecer, se extiende hacia el noroeste del escudo, en la parte sureste de la cuenca Barinas-Apure.

Las areniscas, lodolitas y fosforitas del Miembro Quevedo de la Formación Navay, que afloran en las cercanías de San Joaquín de Navay del estado Táchira, son uraníferas (100 a 400 ppm de U) y pudieran producir U como subproducto de la explotación de fosfato. El U debería ser extraído de los fosfatos antes de usarlos como fertilizantes para evitar la contaminación de los suelos.

### Abstract

A review of the uranium ore deposits literature has allowed the derivation of criteria which are useful to detect geological and geochemical environments that are associated with large uranium (U) deposits or high potential areas. These criteria involve areas of unconformities in Precambrian rocks and favorable reducing environments in overlying younger rocks. Ore deposits found in these areas contain more than 90 per cent of low-cost World reserves (Bowie, 1977). Additionally, other known or inferred, uraniferous localities have been taken into account; these have a more modest potential but are well located.

The unconformity at the base of the Roraima group of the Guayana shield represents a large area with a potential for large U deposits. It has a close similarity to the East Alligator Rivers area of Australia where the ore deposits of Jabiluka, Ranger 1, Ranger 3, Nabarlek, and Koongarra are to be found, with reserves of around 470.000 tons of U. There is evidence through anomalous geochemical samples that the Roraima unconformity has been mineralized.

The Precambrian unconformity of the Guayana shield, where overlying rocks are much younger, determine another situation very favourable for the formation of U ore deposits in rocks of Cretaceous and Tertiary age of the Cuenca Oriental of Venezuela. This area corresponds to the southern limit of the Orinoco Oil Belt, which represents the reducing environment needed for the reduction and precipitation of U. This area to the NW of the shield includes the SE of the Barinas-Apure basin.

Sandstones, siltstones and phosphorites of the Quevedo member of the Navay formation, that crop out near the town of San Joaquín de Navay of the Táchira state, are uraniferous (100 to 400 ppm U). Uranium could be obtained as a by-product of mining and production of phosphate fertilizer. In this case, uranium should be extracted anyway to prevent soil contamination.

**Palabras clave:** uranio, uranium, Venezuela, exploration, yacimientos, ore deposits.

## Uranio en Venezuela

### Introducción

En los últimos años el aumento de la población, la disminución progresiva de las reservas de hidrocarburos, el desarrollo económico de países populosos, la inestabilidad política de algunas regiones y la percepción de un cambio climático asociado a las emisiones derivadas del aumento en la tasa de uso de los hidrocarburos, ha tenido como resultado un considerable aumento del costo de la energía.

A consecuencia de esta situación se está buscando soluciones en diversas direcciones, como energía solar, eólica, hidráulica, termal, carbonífera, gas libre o asociado al petróleo, gas asociado al carbón, biogénica (alcohol derivado de maíz, caña de azúcar, material leñoso o herbáceo, biodiesel, biogas, etc.), energía asociada a mareas y oleaje, fisión nuclear, fusión nuclear y disminución del consumo de energía a través de cambios en los estilos de vida.

Cada una de estas fuentes tiene una eficiencia económica que se mide por su costo de producción. El costo de producción de 1 kWh, que incluye el costo de operación de la planta o equipo, el combustible o fuente, el personal, los materiales y los servicios, de las formas principales de producción, o transformación, de energía se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Costos de producción de 1 kWh para algunas fuentes controlables y no controlables. Las fuentes no controlables\* dependen de condiciones climáticas naturales (Newton et al., 2006).

| Fuente           | \$USA/kWh |
|------------------|-----------|
| Nuclear          | 0,0168    |
| Carbón           | 0,0190    |
| Gas natural      | 0,0587    |
| Petróleo         | 0,0539    |
| Hidroeléctrica * | 0,0050    |
| Eólica *         | 0,0020    |
| Solar *          | 0,0025    |

A pesar de la aversión pública hacia el desarrollo masivo de la energía nuclear, mayormente debida a los accidentes de Three Mile Island en los Estados Unidos, el desastre de Chernobyl en Ucrania y recientemente en Japón, su bajo costo de producción masiva y el hecho de que no tiene emisiones que aporten al efecto invernadero, han dado lugar a un renacimiento del apoyo a la núcleo-electricidad. De especial interés es el

hecho de que el costo de la núcleo-electricidad depende poco del costo del combustible.

Se está desarrollando actualmente la tercera generación de reactores nucleares (Hore-Lacy, 2006). La primera generación ocurrió en los años 1950-1960. La segunda generación está tipificada por los reactores que usa la fuerza naval de los Estados Unidos, la cual es la base para la tercera generación. La cuarta generación está apenas comenzando y no tendrá productos antes del año 2020 (Hore-Lacy, 2006).

La tercera generación de reactores tiene en la actualidad diseños estándar, costos reducidos de capital, menor tiempo de construcción y obtención de permisos, más solidez en sus instalaciones, la incorporación de medidas “pasivas”<sup>2</sup> de seguridad y, en algunos casos, construcción por módulos.

Pareciera que la núcleo-electricidad va a tener un papel mundialmente importante en los próximos decenios. El combustible para los reactores previsibles es el uranio, aunque la India está desarrollando un reactor basado en el uso del torio como combustible, ya que no cuenta con importantes reservas de uranio; esto pudiera ser interesante para Venezuela, por los considerables recursos de Th localizados en el Cerro Impacto del estado Bolívar (Aarden, et al., 1973).

La figura 1 da una idea de la distribución de las plantas nucleares operativas, que son en total 441. Las que están en construcción son veintisiete (27) en total, distribuidas por países en la siguiente forma: Argentina (1), Bulgaria (2), China (3), China-Taiwan (2), Finlandia (1), India (8), Irán (1), Japón (1), Pakistán (1), Rumania (1), Rusia (4) y Ucrania (2), correspondiente a la producción de potencia por un total de 21421 MWe para mayo del 2006 (Newton et al., 2006).

---

<sup>2</sup> “pasivas” son medidas que no requieren la intervención de personal para evitar accidentes.

## Uranio en Venezuela

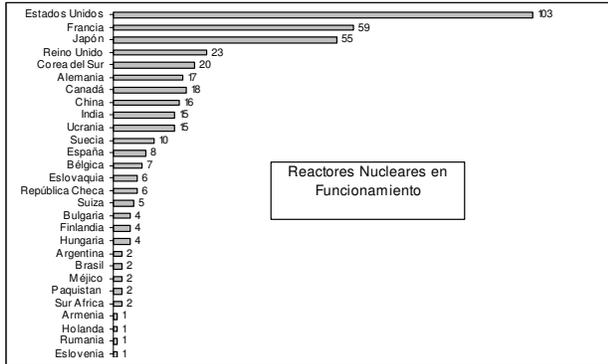


Figura 1. Reactores nucleares en funcionamiento a nivel mundial (Newton et al., 2006).

### Uranio como Objeto de Exploración

Ha habido tres eventos intensos en la exploración de U en el mundo. El de los años 1950, el cual tenía como propósito la producción y acumulación de armas nucleares; el de los años 1970, el cual tenía como aliciente la producción de electricidad; y el presente, que tiene como propósito aportar a la producción de energía, en un tiempo de gran crecimiento económico, de inestabilidad mundial y de problemas ambientales de alcance global.

La exploración de los minerales está íntimamente ligada a la demanda, al precio de venta y a la expectativa del mercado a mediano plazo. Para el U, la figura 2 relaciona la demanda de U con la producción; la figura 3 ilustra la variación de los precios de U en los últimos decenios; la figura 4 ilustra la distribución de la producción por países para el año de 2005.

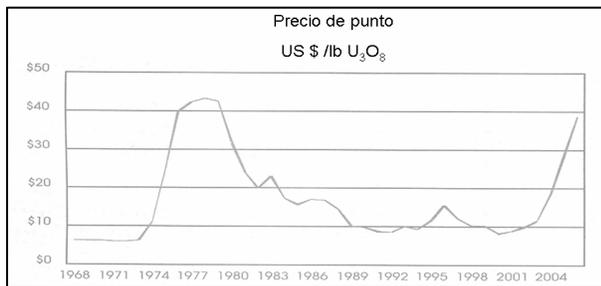


Figura 3. Revisión histórica del precio del uranio (Newton et al., 2006).

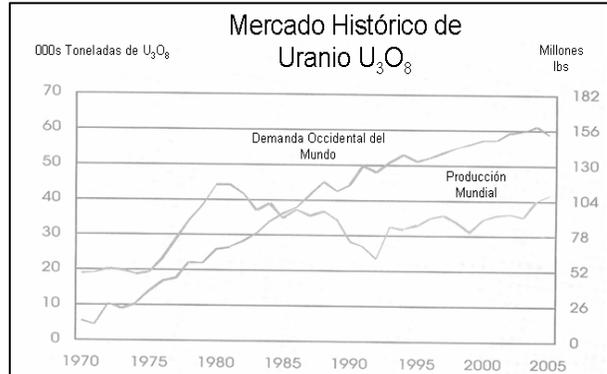


Figura 2. Mercado histórico del uranio: producción y demanda (Newton et al., 2006).

De la figura 2 se puede observar que, desde 1985 hasta ahora, la demanda de U ha sido mayor que la producción y que la diferencia entre ellas ha ido en aumento. El faltante de la producción para atender a la demanda de los últimos 20 años ha sido suplido con los inventarios excesivos, U reprocesado y U isotópicamente diluido proveniente de las 20.000 bombas atómicas que Rusia y los Estados Unidos han estado desmantelando por acuerdos mutuos (Newton et al., 2006).

De la figura 3 se puede observar que los precios del U han estado aumentando desde el 2002; de hecho, han pasado de \$USA 7,10 por libra de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> en el 2000 a \$USA 52,00 para septiembre de 2006 (Newton et al., 2006). Si en algunos yacimientos de U el costo de producción es inferior a 10 \$USA por libra de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, como lo indica la figura, es ciertamente atractivo venderlo a \$ 50, en especial en un ambiente económico que parece favorecer su utilización estable en el futuro mediato.

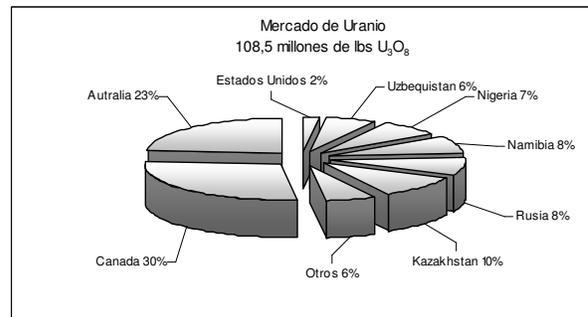


Figura 4. Producción de uranio por países para 2005 (Newton et al., 2006).

## Uranio en Venezuela

### Uranio en Venezuela

Cada país tiene el derecho y el deber de explorar, o estudiar, su territorio para conocer su capital natural, en términos de vegetación, aguas, suelos, rocas y yacimientos minerales y hacer uso de ese capital de forma eficiente y responsable.

En Venezuela se comenzaron trabajos sistemáticos preliminares de exploración de U en 1952 (Wyant, Sharp y Ponte Rodríguez), se intensificaron en los años 1970 con la creación de la Comisión Nacional de Asuntos Nucleares y con a la preparación de un plan nacional de exploración (Pasquali, 1977 y citas bibliográficas de este trabajo). Los avances en el desarrollo de ese plan fueron publicados (Pasquali, 1981), pero las actividades exploratorias disminuyeron antes de su culminación, como consecuencia de la disminución del interés en la energía nuclear.

La renovación de ese interés ha inducido a los autores a la reconsideración del tema, con el propósito de tratar de reconocer las áreas con un potencial uranífero importante, de tal manera, que puedan servir como fuentes económicas y energéticas a considerarse por el país, cuando se lo estime oportuno.

El análisis de los yacimientos de U conocidos, ha llevado a la determinación de criterios, o ideas rectoras, para reconocer las áreas de considerable potencial. Esos criterios traducidos a condiciones geológicas y geoquímicas son:

1. Rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas asociadas a discordancias sobre basamentos precámbricos o equivalentes (Bowie, 1977; Dahlkamp, 1977).
2. Ambientes reductores o presencia de iones que permitan la fijación o precipitación del  $UO_2^{+2}$  como  $U^{+4}$ .
3. Localidades uraníferas conocidas, o inferidas, en donde su explotación pudiera resultar en la producción de U como un sub-producto.

Cerca del 50 por ciento de las reservas mundiales de U se encuentran en rocas del Arqueano o del Paleoproterozoico (Dahlkamp, 1977) y más del 90 por ciento en asociación con rocas del Precámbrico o con rocas inmediatamente suprayacentes (Bowie, 1977).

El U, tanto en yacimientos precámbricos, como asociados a basamentos precámbricos, está asociado a materia orgánica, o sulfuros, o algún otro agente reductor ( $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$ , etc.) o precipitante ( $PO_4^{-3}$ ,  $VO_4^{-3}$ , etc.), que determinan su fijación. Las rocas graníticas del Precámbrico sirven de fuente, la meteorización lleva el  $U^{+4}$  de las rocas a una forma oxidada ( $UO_2^{+2}$ ) a las aguas superficiales, pero mayormente a las subterráneas, las cuales lo transportan (Hobday and Galloway, 1999) y los reductores, o los iones precipitantes, sirven para fijar el U y preservar el yacimiento.

Las superficies donde afloran rocas precámbricas de suficiente extensión en Venezuela, para los propósitos de este trabajo, son el escudo guayanés, parte de la región de los Andes y parte de la cordillera de La Costa. Dentro del Escudo de Guayana, la Provincia de Imataca, de edad arqueana, tiene un fondo radiactivo regional alto, de tres veces más que las provincias geológicas contiguas (Audemard, 1977), lo que la hace una excelente y extensa fuente de U a ser removilizado hacia el norte, es decir, hacia el sur de la Cuenca Oriental de Venezuela.

Hacia el noreste del escudo las rocas del Supegrupo Cedeño, granitos y volcánicas félsicas, serían también una excelente fuente de U que, al mobilizarse, lo haría, o lo hubiese hecho, hacia la cuenca del Guárico y de Barinas–Apure (Iturralde-Venent y McPhee, 1999; Sarmiento-Rojas et al., 2006).

En el caso en que los yacimientos de U se encuentren asociados a discordancias, se puede reconocer dos tipos de situaciones. La primera, en donde las rocas precámbricas han tenido una historia compleja de movimiento de placas, tectonismo, metamorfismo, intrusiones, extrusiones de rocas volcánicas y acción de soluciones hidrotermales y que luego han sido levantadas y erosionadas por un largo período de tiempo. Un tiempo considerable de erosión y depositación en cuencas inter-cratónicas, ha dado como resultado rocas sedimentarias que han sufrido un tectonismo leve y sus estratos son mayormente sub-horizontales. Un tiempo considerable de erosión ha permitido la movilización de grandes cantidades de U, sea por meteorización-oxidación, sea por circulación de soluciones hidrotermales. Esta situación es el caso que presenta el conjunto de enormes yacimientos de U del distrito East Alligator Rivers de Australia (Beaufort et al., 2005) y en Elliot Lake de Canadá (Robertson,

## Uranio en Venezuela

1974). Las rocas del basamento en Australia van del Arqueano hasta el Paleoproterozoico y han dado lugar al Subgrupo Kombolgie, de conglomerados y areniscas que se encuentran discordantemente sobre ese basamento. Las menas de U se encuentran mayormente dentro del basamento, adyacentes a la discordancia, extendiéndose unos centenares de metros debajo de la discordancia. El U es reducido por la presencia de  $\text{Fe}^{+2}$  de las rocas ígneas o metamórficas (Polito et al., 2004; Gregory et al., 2005), o por materia orgánica, como en Witwatersrand (Breger, 1974) y en otras localidades (Křfbek et al., 1999; Alexandre and Kiser, 2006).

Esta primera situación se presenta de manera muy semejante a la de Australia en el Escudo de Guayana, donde el basamento está formado por la Provincia de Imataca y la Provincia de Pastora. Su prolongada erosión ha dado lugar al Grupo Roraima que, conceptualmente, es el equivalente del Subgrupo Kombolgie de Australia.

Los posibles yacimientos grandes de U en Venezuela deberían ser buscados preferentemente en la discordancia representada por la base del Grupo Roraima. Estos yacimientos podrían estar cubiertos por Roraima, o estar cercanos a la superficie, o aflorar, o haber sido erosionados. En cada caso las técnicas adecuadas para su localización son diferentes. La enorme superficie de esta discordancia puede ser reducida considerablemente, en cuanto a su interés para la prospección de U, tomando en cuenta los lugares donde han podido pasar las soluciones uraníferas y localizando los agentes reductores del U. Los autores han comenzado esa tarea.

Los resultados de Sifontes (1982) y Yanes et al. (1985), quienes analizaron un conjunto de muestras de aguas a nivel nacional, han permitido detectar tres áreas anómalas en U en las aguas de ríos relativamente grandes (500 a 600 km<sup>2</sup> de área de drenaje) del sureste del estado Bolívar, es decir, donde está presente un factor de dilución alto, en un ambiente de muy altas precipitaciones. Todas las muestras anómalas provienen de cursos de agua que drenan la discordancia de la base de Roraima o zonas muy cercanas a ella. Estos resultados pueden ser altamente significativos, en especial, cuando las anomalías en aguas fueron confirmadas en sedimentos finos de los mismos drenajes.

El estudio de Palmer y Edmond (1993), de la concentración de U en aguas de los ríos más importantes de la Tierra, establece, a través de un método analítico muy sensible, que la concentración de fondo de U del río Orinoco es de 0,024 ppb (0,024 partes en peso de U en 10<sup>9</sup> partes de agua), mientras que el límite inferior de determinación del método utilizado por Sifontes (1982) y Yanes et al. (1985) es de 0,05 ppb de U. Utilizando el valor de fondo de Palmer y Edmond (1993), las anomalías encontradas por Sifontes (1982), para ríos de 500 a 600 km<sup>2</sup> de área de drenaje, van de 3 a 7 veces el fondo.

En el segundo tipo de situación, en la que los yacimientos de U se encuentran asociados a discordancias de rocas más jóvenes, del Cretácico al Reciente, sobre un basamento que puede ser precámbrico o más joven, se forman yacimientos en las rocas sedimentarias permeables que están por encima de la discordancia. El U es lixiviado desde el basamento, generalmente de composición granítica, o de los equivalentes volcánicos félsicos de los mismos sedimentos y es transportado en forma de ión uranilo ( $\text{UO}_2$ )<sup>+2</sup> hasta su precipitación, o fijación, con materia orgánica u otros reductores, o agentes precipitantes, tal como se ha mencionado. Los yacimientos se encuentran en areniscas y lodolitas y toman formas distintas según el flujo de las aguas con U y la disposición geométrica y movimiento de los reductores o agentes precipitantes (Adler, 1974).

Un ejemplo importante de estos tipos de yacimientos se presenta en la provincia uranífera de Colorado-Wyoming de Estados Unidos (Bowie, 1977), en donde los yacimientos parecen haberse formado gracias a los levantamientos tectónicos que facilitaron el movimiento de las aguas subterráneas, que llevaron el U proveniente de erosión-oxidación a ser fijado como vanadato o fosfato de uranilo, o reducido por materia orgánica de las rocas sedimentarias.

Esta segunda situación se presenta, de manera similar, en Venezuela, al norte y el noroeste del Escudo de Guayana, cuando las aguas subterráneas que recogen el U de la meteorización del escudo fluyen hacia el norte en las areniscas y lodolitas de las formaciones del Reciente al Cretácico, que constituyen el límite sur de la Cuenca Oriental de Venezuela. La presencia de gases, crudos extra-pesados, betunes y lignitos de la Faja Petrolífera del Orinoco son una barrera efectiva para el U en solución, el cual precipita en la interfase

## Uranio en Venezuela

oxidación-reducción de esas aguas subterráneas. Este proceso, seguramente, fue más efectivo antes de que el río Orinoco tomase su curso hacia el este (Hoorn and Vonhof, 2006) y las aguas de ríos pequeños y grandes que drenaban el escudo aportaban U a los acuíferos que se tornaban más profundos hacia el norte.

Una situación similar se presenta en los alrededores de El Baúl, estado Cojedes, cuyas rocas han sido reconocidas como anómalas en su concentración de U (Sifontes, 1981 y 1985; Yanes et al., 1985). Las formaciones que recibieron el U, producto de la meteorización de las rocas de El Baúl, son, en sus cambios de ambiente oxidante a reductor, los lugares prospectivos para los yacimientos de U.

Entre las numerosas anomalías uraníferas localizadas en los diversos estudios, se menciona la que está asociada a las capas de areniscas y limolitas fosfáticas del Miembro Quevedo de la Formación Navay, de edad cretácica, en el estado Táchira. La anomalía conocida tiene una extensión lateral de 12 km, con varias capas de hasta 5 metros de espesor, con concentraciones de 100 a 400 ppm de U y, localmente, más altas (Pasquali, 1981). Es posible que el U aquí haya sido concentrado con el aporte de U proveniente de otras formaciones y que haya sido fijado gracias a la presencia de los fosfatos del Miembro Quevedo. De cualquier manera, la anomalía es de gran tamaño y merece ser estudiada. En especial, si los fosfatos fuesen explotados, la concentración de U es lo suficientemente alta como para hacer económica su extracción y, asimismo, necesaria por razones ambientales, para que los fertilizantes derivados no contaminen los suelos en donde sean utilizados (Stewart, et al., 2007).

Otra de las situaciones ya conocidas que pudiese resultar de interés es la carbonatita de El Cerro Impacto (Aarden et al., 1973). Esta carbonatita presenta concentraciones altas de torio, cinc, niobio y Tierras Raras en la laterita que es producto de su meteorización, la cual alcanza un mínimo de 286 metros de espesor. Se conoce que de la carbonatita de Phalaborwa de Sur Africa se extrae U como sub-producto de la producción de Tierras Raras (von Backström, 1974). El U ha sido lixiviado de la laterita de El Cerro Impacto, pero pudiese estar en concentraciones de interés en la parte no lateritizada del cuerpo, a profundidad.

## Visión General y Conclusiones

Al utilizar los criterios geológicos y geoquímicos que distinguen a las áreas en donde se ha encontrado los yacimientos de uranio más grandes del mundo a la situación venezolana, se ha logrado identificar áreas extensas y promisorias (figura 5). Ellas son: 1. La superficie que representa la gran discordancia en la base del Grupo Roraima, la cual es mucho más extensa que los afloramientos de Roraima y en donde se ha encontrado anomalías de uranio, lo que pudiera ser indicio de su mineralización efectiva; 2. Las rocas sedimentarias del sur de la Cuenca Oriental de Venezuela que corresponden, en términos generales, a la parte sur de la Faja Petrolífera del Orinoco. Esta situación puede extenderse a la parte sureste de la cuenca Barinas-Apure; 3. Las rocas sedimentarias que rodean las rocas ígneas y metamórficas de la región de El Baúl, en donde se ha verificado la presencia de rocas y sedimentos con altas concentraciones de uranio; 4. Tanto las areniscas y las lodolitas de Navay, estado Táchira, como la carbonatita de El Cerro Impacto, aunque de aparente menor importancia cuantitativa que las áreas mencionadas anteriormente, debido al conocimiento que se tiene de ellas, pudieran merecer estudios evaluativos.

## Recomendación

Dada la situación energética internacional y el papel que Venezuela desempeña dentro de ella en el sector de los hidrocarburos, es recomendable analizar la conveniencia de emprender una exploración nacional para uranio, a fin de determinar si el país pudiese contar con materia prima, también en el sector nuclear.

Para facilitar la puesta en práctica de la exploración nacional recomendada, el país cuenta con el personal científico, profesional y técnico para hacerlo.

## Agradecimientos

Es un deber y un placer para los autores agradecerle al Instituto de Ciencias de la Tierra el apoyo institucional para la realización de este trabajo y por mantener, dentro de su política, el principio de darle continuidad a sus líneas y áreas de trabajo a través del tiempo. Así mismo deseamos agradecerle al Lic. Sergey Luque el apoyo en la preparación del documento en su forma digital

## Uranio en Venezuela

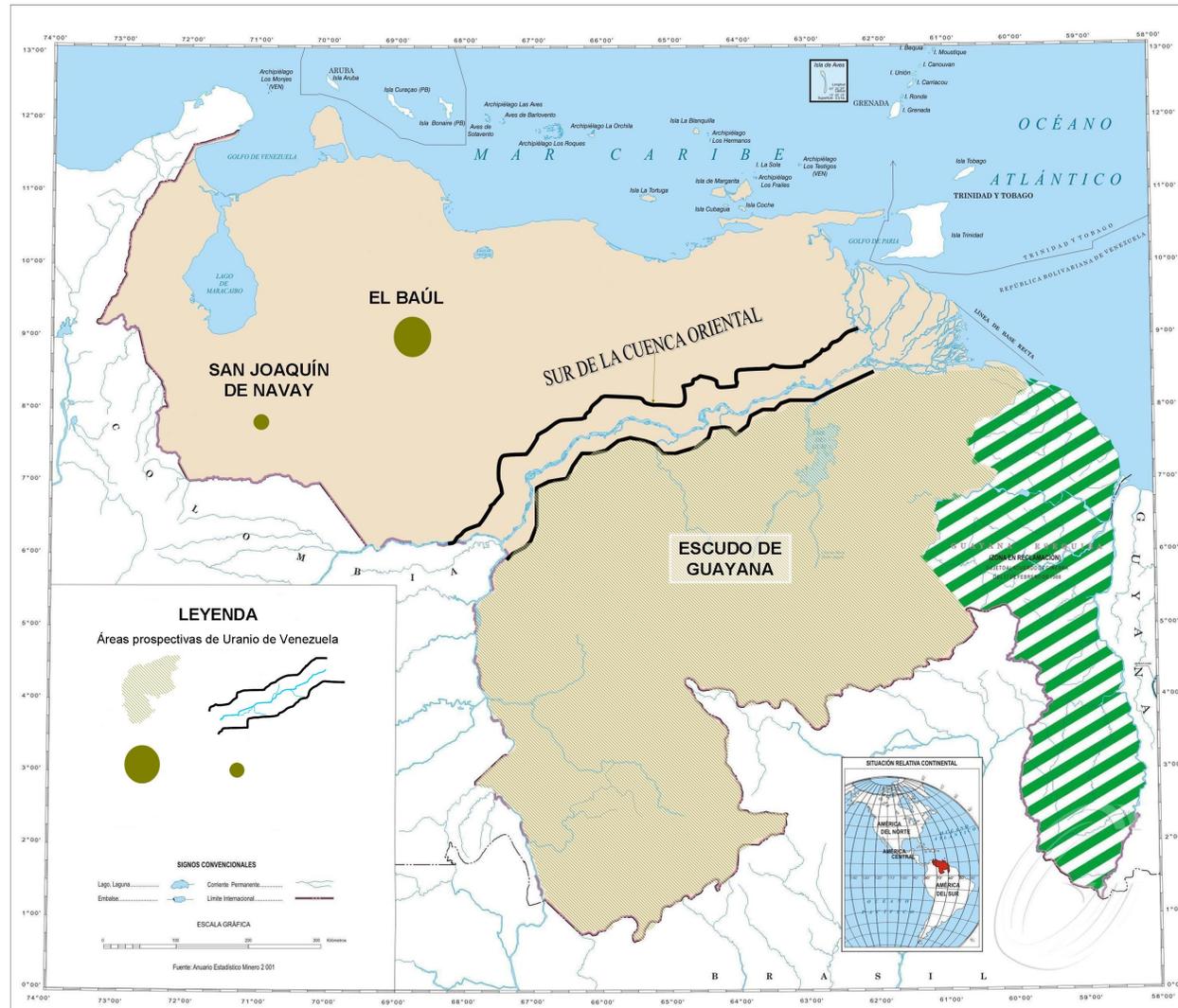


Figura 5. Áreas que representan la localización de Uranio en Venezuela (modificado, igvsb).

## Uranio en Venezuela

### Referencias

Aarden, H.M.; Iturralde de Arocena, J.M.; Moticska, Meter; Navarro G., Jorge; Pasquali Z., Jean; y Sifontes G., R.S., 1973, El Complejo Geológico del área del Impacto, distrito Cedeño, estado Bolívar, Venezuela: Caracas, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología, Informe Inédito, 53 p. y 4 láminas

Adler, H.H., 1974, Concepts of uranium-ore formation in reducing environments: Viena, IAEA, Proceedings of a Symposium, Athens 6-10 May 1974, p. 141-168

Alexandre, P.; Kyser, T.K.; et al., 2006, Geochemistry of uraniferous bitumen in the southwest Athabaska basin, Saskatchewan, Canada: *Economic Geology*, v. 101, n. 8, p. 1605-1612

Audemard, Felipe, 1977, Perspectivas geológicas favorables para mineralizaciones de uranio en la región norte de la Guayana venezolana: Caracas, V Congreso Geológico Venezolano, 19 al 23 de noviembre de 1977., Tomo 3, p. 989-1011

Beaufort, D.; Patrier, P.; et al., 2005, Clay alteration associated with Proterozoic unconformity-type uranium deposits in the East Alligator Rivers uranium field, Northern Territory, Australia: *Economic Geology*, v. 100, n. 3, p. 515-536

Bowie, S.H.W., 1977, Where to prospect for uranium, in IAEA, Recognition and Evaluation of Uraniferous Areas: Vienna, Proceedings of a Technical Committee Meeting, 17-21 November 1975, p. 151-164

Breger, I.A., 1974, The role of organic matter in the accumulation of uranium: The organic geochemistry of the coal-uranium association, in IAEA, Formation of Uranium Ore Deposits: Vienna, Proceedings of a Symposium, Athens 6-10 May 1974, p. 99-124

Cai, Chunfang; Dong, Hailiang; et al., 2007, Mineralogical and geochemical evidence for coupled bacterial uranium mineralization and hydrocarbon oxidation in the Shashagetai deposit, NW China: *Chemical geology*, v. 236, n. 1-2, 167-179

Dahlkamp, F.J., 1977, Geochronological metallogenic correlation of uranium mineralization, in IAEA, Recognition and Evaluation of Uraniferous Areas:

Vienna, Proceedings of a Technical Committee Meeting, 17-21 November 1975, p. 131-148

Escalona, Nicolás, 1977, Formaciones propicias para la exploración de uranio en la región de Los Llanos y en la región oriental de Venezuela: Caracas, V Congreso Geológico Venezolano, 19 al 23 de noviembre de 1977, Tomo 3, p. 1013-1021

Fisher, R.P., 1974, Exploration guides to new uranium districts and belts: *Economic Geology*, v. 69, n. vv, p. 362-376

Gregory, M.J.; Wilde, A.R.; and Jones, P.A., 2005, Uranium deposits of the Mount Isa region and their relationship to deformation, metamorphism, and copper deposition: *Economic Geology*, v. 100, n.3, p. 537-546

Hay, John; y Aymard, Richard, 1977, El Cretáceo en el subsuelo de Anzoátegui y parte de Monagas, cuenca de Venezuela oriental: Caracas, V Congreso Geológico Venezolano, 19 al 23 de noviembre de 1977, Tomo 4, p. 1557-1574

Hobday, D.K.; and Galloway, W. E., 1999, Ground water processes and sedimentary uranium deposits: *Hydrogeology Journal*, v. v. 7, n. 1, p. 127-138

Hoorn, Carina; and Vonhof, Hubert, 2006, Neogene Amazonia: Introduction to the special issue: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 21, n. 1-2, p. 1-4

Hore-Lacy, Ian, 2006, Current nuclear power technologies: *The AusIMM Bulletin*, n. 5, p. 47-51

Horváth, Á.; Bohus, L.O.; Urbani, F., et al., 2000, Radon concentrations in hot spring waters in northern Venezuela: *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 47, n. 2, p. 127-133

IAEA, 1970, Uranium exploration geology: Vienna, Proceedings of a Panel, Vienna 13-17 April 1970, 384 p.

IAEA, 1973, Uranium exploration methods: Vienna, Proceedings of a Panel, 10-14 April 1972, 319 p.

IAEA, 1974, Formation of uranium ore deposits: Vienna, Proceedings of a Symposium, Athens, 6-10 May 1974, 748 p.

## Uranio en Venezuela

- IAEA, 1976, Exploration for uranium deposits: Vienna, Proceedings of a Symposium on Exploration of Uranium Ore Deposits, LUGAR Y FECHA, 807 p.
- IAEA, 1977, Recognition and evaluation of uraniumiferous areas: Vienna, Proceedings of a Technical Committee Meeting, 17-21 November 1975, 295 p.
- IAEA, 1980, Uranium evaluation and mining techniques: Vienna, Proceedings of a Symposium, Buenos Aires 1-3 October 1979, 551 p.
- Iturralde-Vinent, M.A.; and Mcphee, R.D.E., 1999, Paleogeography of the Caribbean region: Implications for Cenozoic biogeography: Bulletin of the American Museum of Natural History, v. 238, p. 1-95
- Jiang, Yao-Hui; Ling, Hong-Fei; et al., 2006, Trace element and Sr-Nd isotope geochemistry of fluorite from the Xiangshan uranium deposit, southeast China: Economic Geology, v. 1001, n. 8, p. 1613-1622
- Kostov, I., 1977, Crystallochemical differentiation and localization of uranium ore deposits in the Earth's crust, in IAEA, Recognition and Evaluation of Uraniferous Areas: Vienna, Proceedings of a Technical Committee Meeting, 17-21 November 1975, p. 15-33
- Křibek, Bohdan; Žák, Karel; et al., 1999, Bitumens in the Late Variscan hydrothermal vein-type uranium deposit of Příbram, Czech Republic: Sources, radiation-induced alteration, and relation to mineralization: Economic Geology, v. 94, n. 9, p. 1093-1114
- Lo Mónaco, Salvador; y Pasquali Zanin, Jean, 1985, Estudio de la dispersión geoquímica secundaria de los elementos U, Cu, Zr, Sr, y Rb, en el área de Currupia-Oronata, distrito Piar, estado Bolívar, Venezuela: Caracas, Sociedad Venezolana de Geólogos, VI Congreso Geológico Venezolano, Tomo 3, p. 1787-1801
- Nakashima, Satoru; Disnar, Jean-Robert; and Perruchot, Alain, 1999, Precipitation kinetics of uranium by sedimentary organic matter under diagenetic and hydrothermal conditions: Economic Geology, v. 94, n. 7, p. 993-1006
- Newton, F.T.; Collings, S.P.; and Little, B.C., 2006, Nuclear power update: SEG Newsletter, n. 67, p. 1 and p. 8-15
- Palmer, M. R.; and Edmond, J.M., 1993, Uranium in river water: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 57, n. 10, p. 4947-4955
- Pasquali Z., Jean, 1974, Aspectos geológicos del uranio y su aplicación a Venezuela: Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo, Boletín Informativo, v. 17, n. 10, 11 y 12, p.231-243
- Pasquali Zanin, Jean, 1977, Plan nacional de exploración de uranio en Venezuela: Caracas, V Congreso Geológico Venezolano, 19 al 23 de noviembre de 1977, Tomo 3, p. 989-1011
- Pasquali, J., 1981, Exploración de uranio en Venezuela: Situación a fines de 1978, en Yacimientos de Uranio en América latina: geología y Exploración: Viena, OIEA., p. 191-204
- Pérez, Sonia; y Sifontes, Ramón, 1985, Prospección geoquímica de uranio en el macizo de El Baúl, estado Cojedes, Venezuela: Caracas, Sociedad Venezolana de Geólogos, VI Congreso Geológico Venezolano, Memoria, Tomo 3, p. 1965-1978
- Polito, P.A.; Kyser, T.K.; et al., 2004, Significance of alteration assemblages for the origin and evolution of the Proterozoic Nabarlek unconformity-related uranium deposit, Northern Territory, Australia: Economic Geology, v. 99, n. 1, p. 113-139
- Robertson, D.S., 1974, Basal Proterozoic units as fossil time markers and their use in uranium prospecting, in IAEA, Formation of Uranium Ore Deposits: Vienna, Proceedings of a Symposium, Athens 6-10 May 1974, p. 495-512
- Sarmiento-Rojas, L.F.; Van Wess, J.D.; and Cloetingh, S., 2006, Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models: Journal of South American Earth Sciences, v. 21, n. , p. 383-411
- Sifontes G., R.S., 1975, Mineralización de torio, niobio y otros elementos en el Cerro Impacto, distrito Cedeño, estado Bolívar: Maracaibo, I Jornadas Venezolanas de Geología, Minería y Petróleo, Memorias, 8 p.

## Uranio en Venezuela

- Sifontes, R.S.; et al., 1982, Informe final del proyecto de investigación geoquímica de uranio según el contrato No. 033/81 suscrito entre CADAFE y la Universidad Central de Venezuela: Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Geoquímica, 61 p. y 3 mapas
- Sifontes, R.S.; et al., 1985, Informe final del proyecto de prospección geoquímica de uranio según el contrato No. 444/82 suscrito entre CADAFE y la Universidad Central de Venezuela: Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Geoquímica, 93 p. y 4 mapas
- Stewart, B.D.; Neiss, Jim; and Fendorf, Scout, 2007, Quantifying constraints imposed by calcium and iron on bacterial reduction of uranium (VI): *Journal of Environmental Quality*, v. 36, n. 2, p. 363-372
- Taboada, Teresa; Martínez Cotiza, Antonio; et al., 2006, Uranium and thorium in weathering and pedogenic profiles developed on granitic rocks from SW Spain: *Science of the Total Environment*, v. 356, n. 1-3, p. 192-206
- von Backström, J.W., 1974, Other uranium deposits, *in* IAEA, *Formation of Uranium Ore Deposits: Vienna, Proceedings of a Symposium, Athens 6-10 May 1974*, p. 605-624
- Wyant, D.G.; Sharp, W.N.; and Ponte Rodríguez, Carlos, 1952, Radioactive source materials in los Estados Unidos de Venezuela: Caracas, Ministerio de Energía y Minas, Informe Preliminar, 181 p.
- Yanes, Carlos; Sifontes, Ramón; et al., 1985, Fondo geoquímica de aguas superficiales a nivel nacional y en sedimentos de corriente en los estados Mérida y Trujillo, Venezuela: Caracas, Sociedad Venezolana de Geólogos, VI Congreso Geológico Venezolano, Memoria, Tomo 4, p. 2295-2313