

Uranio: mitos y realidades

Guillermo Sánchez

“Egea (la Tierra) surgió de Caos produciendo Urano, las montañas y el mar” Relato del origen del universo recogido en la Teogonía de Hesíodo (poeta griego del s. VIII a. J.C),

El uranio, en particular el empobrecido, ha sido noticia las últimas semanas en todos los medios informativos al relacionarlo con lo que se ha dado en llamar “síndrome de los Balcanes”. Sorprende la práctica carencia de información científica que sobre el uranio se ha dado y la cantidad de suposiciones, muchas de ellas erróneas, que sobre él se han vertido.

¿Qué es el uranio? ¿Cómo se formó?

El uranio es elemento químico más pesado de origen natural que se encuentra sobre la Tierra. Como elemento fue descubierto en 1789 por M. H. Klaproth quien le llamo así en honor al planeta Urano que acababa de ser descubierto en 1781 por Herschel. En la antigüedad era utilizado en algunas pinturas por sus propiedades colorantes. El uranio natural está formado por tres tipos de isótopos (ver recuadro 1): uranio 238 (^{238}U), uranio 235 (^{235}U) y uranio 234 (^{234}U). La relación $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$, con rarísimas excepciones, es constante en toda la Tierra. De cada gramo de uranio natural el 99,285 % de la masa es ^{238}U , 0,71 % ^{235}U , y 0,005 % ^{234}U , de este último puede haber variaciones según el sitio. Estos hechos tienen bastante importancia como veremos.

Para que exista en la naturaleza el uranio y los elementos mas pesados que el hierro se necesitó un proceso bastante especial: La explosión de una supernova¹. Hay evidencias de que hace unos 4600 millones de años tuvo lugar la explosión de una supernova en las proximidades de la nebulosa de la que se formaría nuestro Sistema Solar y otras estrellas. Esta enorme explosión inyectó en la nube protosolar infinidad de elementos y sus isótopos correspondientes. Muchos eran radiactivo pero el tiempo transcurrido ha

hecho que la mayoría de ellos se hayan desintegrado hasta transformarse en elementos estables. Sólo se conservan unos 15 isótopos radiactivos de este origen (primigénios), los de vida más larga, entre ellos el uranio 238 y el uranio 235. Este uranio con el tiempo se fue distribuyendo de forma homogénea en el Sistema Solar en formación, por eso la relación Uranio 238 /Uranio 235 se mantiene constante en toda la Tierra, y en el resto de los planetas del sistemas solar. La concentración de uranio previsiblemente es mayor en los planetas telúricos que en el resto.

El uranio 238, el uranio 235 y el torio 232 son los padres (primer elemento de la cadena) de las tres cadenas naturales de desintegración radiactiva más importantes. El U-238 decae a través de 14 etapas en plomo 206 (^{206}Pb) que es estable (ver figura 1). Su periodo de semidesintegración (tiempo para que la cantidad actual se reduzca a la mitad) es muy largo, 4 479 millones de año y por tanto su radiactividad es muy pequeña (miles de millones de veces menor que otros isótopos artificiales como el cobalto 60 utilizado en medicina). La cadena del U-235 desde el punto de vista radiactivo tiene mucha menos importancia pues sus elementos están presentes en cantidades mucho menores, mas adelante veremos que el U-235 tiene interés por otra razones. En la naturaleza los elementos de estas cadenas suelen

estar en equilibrio secular, esto significa que en cada cadena la actividad de sus isótopos es la misma.

Radioisótopos existentes en 1 t de uranio natural en equilibrio secular

Nucleido	Cantidad
Uranio 238	992,9 kg
Uranio 235	7,1 kg
Uranio 234	54 g
Protoactinio 231	334 mg
Torio 230	16 g
Actino 227	0,21 mg
Radio 226	340 mg
Plomo 210	3,77 mg
Polonio 210	7,4 microg

Si el uranio y sus descendientes permaneciesen en el mismo sitio se mantendrían casi indefinidamente las condiciones de equilibrio pero se producen desequilibrios por el desigual comportamiento químico de los elementos de esta cadena. Por ejemplo, el torio 234 suele formar parte de compuestos de solubilidad mayor que su padre el U-238 pudiendo ser desplazado por el agua de su lugar de formación. Como el U-234 es un descendiente del Th-234 la relación $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ no es la misma en todos los sitios. Esto no ocurre con la relación $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ al ser ambos los elementos iniciales de sus cadenas. Estos hechos son utilizados para estudios de datación, geoquímicos, oceanográficos, etc.

Los isótopos de estas cadenas, y en menor medida los otros isótopos primigenios (en especial rubidio 87 y potasio 40) han tenido una importancia fundamental en el pasado y la continúan teniendo, por dos razones:

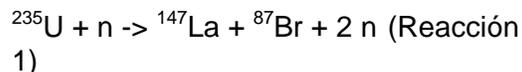
La desintegración radiactiva implica liberación de energía que se disipa en el medio circundante calentándolo contribuyendo a mantener el Planeta a una temperatura por encima de la que

tendría si solo recibiese el calor del Sol, sin su aporte estaríamos en un planeta helado. Se estima que en el primer km de la corteza terrestre la desintegración radioactiva libera sobre la superficie terrestre 34 kilojulios al año por metro cuadrado. Esta cantidad fue muy superior en el pasado. El aporte energético al núcleo terrestre es mucho mayor, contribuyendo a mantenerlo en estado plasmático y permitiendo que la Tierra disponga de un intenso campo magnético que nos protege de las erupciones solares. Este plasma es a su vez responsable del movimiento tectónico de placas.

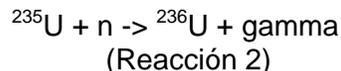
Las emisiones radiactivas han tenido un papel fundamental en el origen de la vida y en su posterior evolución al favorecer la existencia de mutaciones que es un mecanismo fundamental de la evolución. Este efecto fue mucho mas importante hace miles de millones de años cuando la radiactividad en el planeta era mucho mayor.

La fisión nuclear

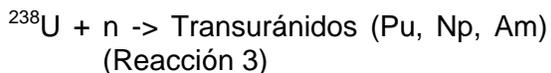
En 1937 Meitner, Hahn y Strassman informaron de la posible transmutación del uranio al ser bombardeado con neutrones. Poco después reinterpretaron el fenómeno asociándolo a una característica muy especial del uranio 235: la de fisionarse. El uranio 235 al ser bombardeado por un neutrón de cualquier energía existe una probabilidad muy alta de fragmentarse en dos átomos normalmente muy radiactivos (productos de fisión, PF) emitiendo 2 o 3 neutrones. Por ejemplo:



Con probabilidad menor se produce la reacción:



Por su parte el uranio 238 al capturar neutrones generalmente se transforma a través de varias reacciones en transuránidos, principalmente isótopos del plutonio (Pu), neptunio (Np) y americio (Am). Este proceso abreviadamente lo representamos por



La reacción 1 conlleva una emisión de energía muy elevada: aproximadamente 200 MeV (Megaelectrón-voltio), que es mil millones de veces más que la energía liberada por una reacción química convencional, por ejemplo la combustión de carbón. Además los 2 o 3 neutrones liberados por dicha reacción pueden provocar nuevas fisiones si encuentran átomos de ^{235}U . Si la concentración de átomos de ^{235}U es muy elevada el proceso se puede reproducir de forma exponencial liberando una energía devastadora. Para que esto ocurra de forma efectiva se requiere una concentración de átomos de ^{235}U muy elevada (superior al 95%), este es lo que ocurre en las armas nucleares. Con concentraciones bajas de ^{235}U (<5%) no pueden existir reacciones explosivas pero se puede conseguir reacciones estables donde la energía sea liberada de forma aproximadamente constante por unidad de tiempo. Este es el proceso utilizado por los reactores nucleares para producir energía, aunque para ello se necesita que su contenido en U-235 sea mayor que el uranio existente en la naturaleza (salvo en condiciones muy especiales que no se pueden dar de forma natural en la Tierra). Se atribuye a Fermi la primera reacción en cadena quien en 1942 fabricó, en los vestuarios del estadio de los Yanquis en Chicago, una pila nuclear. Sin embargo en la Tierra ya se había producido reacciones en cadena durante miles de años liberando probablemente mucha más energía que todas las centrales nucleares actuales juntas. En 1972 en un

análisis isotópico rutinario en un rico yacimiento de uranio en Oklo (Gabón) se observó que el contenido de U-235 era inferior al 0,71%, lo que no era coherente con todas las observaciones anteriores hechas en el uranio natural. Un análisis más detallado encontró elementos químicos descendientes del plutonio que demostraba que en aquel lugar habían tenido lugar reacciones de fisión. Esto fue posible pues en el pasado el grado de enriquecimiento del uranio natural era superior al actual (mayor mientras más atrás vamos en el pasado) debido a que el periodo de desintegración del U-235 aunque lento es 7 veces mayor que el del U-238. El yacimiento de Oklo tiene una antigüedad de 2000 millones de años, entonces el enriquecimiento era el 3 % y las reacciones de fisión eran posibles en las partes del yacimiento más ricas cuando eran atravesadas por aguas subterráneas. Este caso no es excepcional, con posterioridad se han observado estas anomalías isotópicas en otros yacimientos. Este tipo de lugares son un excelente laboratorio para estudiar el comportamiento de los cementerios radiactivos en plazos larguísimos.

Usos del uranio

El principal uso del uranio en la actualidad es obtener combustible para los reactores nucleares que producen el 17% de la electricidad mundial. Para ello se requiere la exploración y la posterior explotación minera de los yacimientos de uranio. El uranio está relativamente repartido, aunque escaso es mil veces más abundante que el oro. La superficie terrestre contiene en promedio 3 g U por tonelada y el agua de mar contiene 3 mg por tonelada. En los yacimientos uraníferos la concentración sobrepasa 1 kg por tonelada (t) del mineral aunque en la actualidad para que sean rentables su contenido debe exceder 10 kg/t. En Canadá, primer productor mundial, se encuentran los mejores yacimientos (En

Key Lake/MacArthur River hay explotaciones que alcanzan 210 kg U/t.) Otros grandes productores son: Australia, Níger, Namibia, Urbekistan, EE. UU. y Kazakhstan. La producción mundial en 1999 fue de 31072 t U (Fuente: The global Nuclear Fuel Market: Suply and Demand 1998-2020. The Uranium Institute Market report 2000). En la Unión Europea no hay yacimientos rentables. En España el único yacimiento en explotación estaba en Saelices El Chico (Salamanca), acaba de ser cerrado (Diciembre 2000) por su baja concentración (menos de 1 kgU/t). La capacidad de producción mundial excede claramente a la demanda, y desde hace años estamos asistiendo a una caída del precio del concentrado de uranio. Esta tendencia puede verse acrecentada por la puesta en el mercado, por países de la antigua Unión Soviética, de uranio de origen militarⁱⁱ.

Según hemos visto, el uranio natural para su empleo en reactores nucleares necesita ser enriquecido en U-235, excepto en el caso de reactores de grafito o deuterio de escasa implantación. El proceso que sigue el uranio para su uso en los reactores es conocido como el ciclo del combustible que podemos resumir como sigue: El uranio es obtenido de las minas es convertido en concentrado (U_3O_8), eliminado buena parte de los descendientes del U-238 y U-235, excepto el U-234. El U_3O_8 es transformado en UF_6 . Se usa esta forma química pues es gaseosa a 56 °C que es una condición necesaria para enriquecer lo que se hace sometiendo al gas UF_6 a ultracentrifugación o difusión gaseosa. Ambas técnicas aprovechan la ligera diferencia entre la masa atómica del U-235 y U-238 para separar el uranio de alimentación del proceso en dos fracciones: una enriquecida en U-235 y otra empobrecida en U-235. Este último es un subproducto conocido como uranio empobrecido. Su contenido en U-235

normalmente está entre el 0,2 y 0,3%. Aunque no se pretende, en la fracción enriquecida además aumentar el contenido de uranio 235 aumenta el de uranio 234 y a la inversa ocurre con la fracción empobrecida. El UF_6 enriquecido es transformado en polvo de UO_2 (muy estable químicamente y con un alto punto de fusión), a partir del cual se fabrican los elementos combustibles utilizados por los reactores nucleares. El UF_6 empobrecido resultante se almacena y parte de él se transforma en óxidos de uranio o uranio metal, una pequeña parte de él se destina a usos civiles y militares. El uranio enriquecido (como máximo al 5% en U-235), en forma de los elementos combustibles frescos, una vez introducido en el reactor genera energía durante años (4 a 6), al final de los cuales resulta un elemento gastado (también llamado combustible irradiado) que aun conserva la mayor parte del uranio, pero además contiene transuránidos y productos de fisión. Entre los transuránidos hay varios isótopos de plutonio: ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu y ^{242}Pu . El ^{239}Pu y el ^{241}Pu son fisionables, como el uranio 235, y por tanto susceptible de ser reutilizables. En cambio el ^{238}Pu , ^{240}Pu y ^{242}Pu no lo son, la presencia de estos isótopos hace que el combustible irradiado de origen civil carezca de un potencial uso militar (separarlo del ^{239}Pu y el ^{241}Pu es complicadísimo). Para evitar que se desvíe con fines militares el uranio civil existe un control mundial, a través del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA o IAEA), dependiente de la ONU,

Para uso militar (armamento nuclear, submarinos y barcos de proporción nuclear) el uranio se enriquece a niveles mas altos. En el caso de armamento nuclear el uranio se utiliza en forma de uranio metal enriquecido por encima del 95%, normalmente mezclado con plutonio 239 (^{239}Pu). Para obtener el ^{239}Pu se utilizan reactores rápidos en los

que los elementos combustibles frescos de uranio se irradian pocos días con el fin de que se genere Pu-239 y no el resto de los isótopos. Esto es así pues en los días iniciales de introducirse el combustible fresco la cantidad de Pu-239 que se produce es mayor que de los otros isótopos, indeseables desde el punto de vista militar.

La composición isotópica del combustible gastado depende del grado de quemado. A continuación se muestra un ejemplo típico.

Isótopos mas significativos presentes en 1 t de combustible gastado

(Enriquecimiento inicial 3,5% y un quemado de 33 000 MWd/tU. Cantidades 3 años después de haber sido sacado del reactor)

Nucleido	Cantidad
Uranio 238	942,8 kg
Uranio 235	9 kg
Uranio 236	4,3 kg
Uranio 234	0,2 kg
Uranio 232	0,07 g
Plutonio 239	5,2 kg
Plutonio 240	2,1 kg
Plutonio 241	1 kg
Neptunio 237	0,48 kg
Americio 241	0,21 kg
Cesio 137	1,1 kg
Estroncio 90	0,51 kg

Del combustible gastado tanto de origen civil como militar se puede recuperar el uranio a través de un proceso químico que elimina los transuránidos y los productos de fisión (inevitablemente permanecen trazas de estos productos). Este uranio para ser utilizado debe ser enriquecido de nuevo lo que se hace siguiendo el mismo que para el uranio no irradiado. Para un mismo enriquecimiento el uranio enriquecido de este origen posee una composición isotópica ligeramente diferente que el uranio de origen no irradiado. Lo mismo

ocurre con el uranio empobrecido que se genera en este proceso. La diferencia principal es la presencia de otros isótopos del uranio no existentes en el uranio natural, especialmente U-236 (ver reacción 2) y U-232 (se presenta en cantidades muy pequeñas pero sus descendientes Bi 214 y Tl 208 tienen emisiones γ importantes).

Los productos de fisión, salvo en cantidades muy pequeñas, carecen de utilidad. Afortunadamente al tener una actividad muy elevada en un plazo relativamente breve decaerán a valores suficientemente bajos para que no constituyan riesgo significativo. Los transuránidos constituyen probablemente el mayor problema de la energía nuclear. Hasta hace poco se contemplaba como única posibilidad su enterramiento definitivo en almacenamientos profundos. Recientemente la transmutación de la mayor parte de ellos en elementos de vida corta, generando a su vez energía, ha dejado de ser una posibilidad puramente teórica estando en fase de laboratorio.

El uranio enriquecido, en cantidades pequeñas, probablemente encuentre otra utilidad en un futuro no muy lejano. La NASA ha encontrado que el uso de propulsores químicos en el espacio interplanetario presenta serias limitaciones y recientemente ha empezado a probar propulsores iónicos. Para cantidades y periodos largos, con la tecnología actual, la única fuente viable de alimentación de estos propulsores es el uso de minireactores de fisión. El viaje a Marte se reduciría a la mitad. Hay que tener en cuenta que este tipo de reactores solo funcionaría una vez en órbita, y que en el lanzamiento el combustible no estaría irradiado y por tanto su radiactividad sería muy baja.

En cuanto al uranio empobrecido, del que hay millones de toneladas almacenadas, en su mayor parte es considerado un deshecho cuyo destino una vez convertido en óxido de uranio es ser enterrado de forma definitiva. Sin

embargo hay una parte comparativamente minúscula que se destina a diversos usos. Su aplicación militar ha saltado recientemente al gran público, aunque el ejército de EE. UU dispone de armas de este tipo desde hace más de 25 años. Los proyectiles de uranio empobrecido son utilizados como arma contra blindajes por su capacidad de penetrarlo liberando calor (Ver recuadro 2).

Se da la aparente paradoja de que el uranio empobrecido posee gran resistencia a la penetración por lo que algunos tanques lo utilizan como blindaje. Asimismo es un excelente blindaje frente a las radiaciones siendo utilizado con este fin en fuentes radiactivas empleadas en inspección de soldaduras e incluso en hospitales para proteger las fuentes de cobalto 60. También se emplea como contrapeso (entre 700 y 1000 kg) en los aviones DC 10, B 747 y L 1011 (En 1992 se estrelló un avión en Holanda, con 850 kg de U empobrecido). También se utiliza en odontología y como quilla en veleros de competición.

Riesgos radiológicos y tóxicos

La primera vez que se observó el fenómeno de la radiactividad fue en 1896 por Becquerel quien por casualidad mantuvo varios días en un cajón guardada una película formada por una sal de uranio. Su sorpresa fue mayúscula al encontrar la película impresa. La interpretación que hizo del fenómeno fue correcta y puso patas arriba la concepción que se tenía del átomo como indivisible.

Los isótopos más significativos del uranio tienen una bajísima radiactividad, millones de veces menor que el Co-60 y el I-125 utilizados en medicina. El riesgo radiológico de los isótopos del uranio tiene fundamentalmente su origen en las emisiones alfa, siendo la inhalación e ingestión los caminos a considerar. La irradiación externa es muy pequeña.

El efecto biológico (riesgo) de las radiaciones sobre las personas se mide en mSv. (miliSievert) Las dosis en mSv/mg inhalado para el uranio insoluble son:

Uranio natural con descendientes (Radio y otros):	0,70
Uranio natural eliminado descendientes:	0,22
Uranio de origen natural enriquecido al 3,5%	0,75
Uranio empobrecido (0,2%, U-235)	0,12

Las dosis son al menos 10 veces menores para el uranio soluble.

Puede resultar curioso que el uranio enriquecido al 3,5% (valor típico del combustible de las centrales nucleares) tenga un riesgo radiológico similar al uranio tal como se presenta en la naturaleza. Esto es así pues el uranio en la naturaleza se presenta asociado a sus descendientes que son radiactivos. En proceso seguido para obtener el uranio enriquecido se eliminan estos descendientes, lo mismo puede decirse para el uranio empobrecido. En el caso de que el uranio sea reciclado los valores anteriores son más altos. Lo normal es que el uranio reciclado se mezcle en una pequeña proporción con el uranio de origen natural, en este caso el riesgo radiológico del uranio apenas se ve aumentado. Para valorar los datos anteriores es conveniente saber que la radiación de origen natural (rayos cósmicos, radón, potasio-40, uranio natural, etc) que todos recibimos equivale en media a más de 2 mSv al año, pudiendo superar 10 mSv en algunas zonas. El límite para trabajadores profesionalmente expuestos es de 20 mSv/año adicionales a la dosis de origen natural. Se ha probado que dosis superiores a 250 mSv son potencialmente perjudiciales. Para dosis menores existe un riesgo probabilístico

cuya cuantificación es fuente de grandes controversias, incluso hay estudios que indican que pequeñas dosis pueden ser beneficiosas, efecto conocido como hórnesis (Ocurre algo similar a la ingestión de vino).

También hay que tener en cuenta que el uranio posee, especialmente en formas solubles, una elevada toxicidad química, similar al plomo. En esta forma, los peores efectos si se ingieren una gran cantidad sería cáncer de riñón, que aparecería varios años después de la incorporación, pero al igual que en el caso radiológico las cantidades ingeridas deben ser elevadas.

Lo anterior no debe llevarnos a la conclusión de que el uranio es inofensivo pues especialmente a causa de sus descendientes (radio 226 y radón 222) muchas personas han sufrido las consecuencias de sus efectos nocivos. Estas propiedades nocivas ya se vislumbraron a principios del siglo XVI una mina de plata (pero que también contenía uranio) en Ergerbirge (frontera de republica Checa y Alemania) donde un joven, Georg Bauer (1494-1555) que se hacía llamar por su nombre latino Agrícola, era el jefe médico se dió cuenta la existencia entre los obreros de una enfermedad mortal que llamo *Bergsucht* que hoy sabemos era cáncer de pulmón, asociado a las altas concentraciones de radón que se producían en las minas subterráneas. En su tratado *De re metallica* nos describe como para evitarlo hizo instalar un sistema de ventilación y animaba a las mujeres de los mineros a hacer filtros respiratorios para sus maridos. Una vez descubierta formalmente la radiactividad se han hecho varios estudios sobre los obreros de las minas de uranio donde se ha encontrado un índice de canceres de pulmón y huesos superior a los que se consideran normales. Estos riesgos se han visto substancialmente disminuidos con la minería a cielo abierto y a las mayores condiciones de ventilación de las minas subterráneas. Los efectos se

atribuyen mayormente al radón 222 y al radio 226 pues estudios en instalaciones de tratamiento de uranio (plantas de enriquecimiento conversión y elementos combustibles) no han observado incidencias en los trabajadores.

La metabolización del uranio, y de otros elementos, viene siendo estudiada desde hace años. A partir de datos experimentales recogidos en personas y en ensayos de laboratorio con animales han permitido construir modelos matemáticos para predecir como se distribuye este en las personas y como evoluciona con el tiempo permitiendo así evaluar el riesgo radiológico. Estos mismos modelos nos permiten estimar a partir de datos experimentales (bioanálisis) las cantidades incorporadas. Por ejemplo: A partir análisis de uranio en orina, con alguna información adicional, puede evaluarse la concentración inhalada por una determinada persona y valorar si esto constituye un riesgo. En el caso del uranio es especialmente adecuado el análisis de orina por fosforescencia por excitación láser, su nivel de detección es tan bajo que con ella se observa el uranio en prácticamente todas las personas. Las medidas en contador de radiactividad corporal permiten detectar la cantidad de uranio retenida en los pulmones en un momento determinado. En caso de aparición de concentraciones anormales en los análisis anteriores puede determinarse por espectrometría (alfa, gamma o de masas) la composición isotópica pertenece del uranio determinando si es u natural, enriquecido o empobrecido.

Conclusiones

El uranio ha sido un elemento fundamental para el desarrollo de la Tierra y la vida en ella. La radiactividad de sus isótopos es pequeña y nada demuestra que en las concentraciones que habitualmente se presenta

constituya un riesgo importante. No ocurre lo mismo con los productos que de él se derivan una vez irradiado el uranio en los reactores nucleares, en especial los transuránidos. Nuevas y fundadas expectativas permiten vislumbrar la transmutación nuclear como una alternativa viable al enterramiento definitivo, que tanta oposición suscita. Un grave riesgo es el excedente de uranio altamente enriquecido y plutonio producto de la guerra fría, su dilución y uso en reactores civiles es probablemente la mejor solución. La propiedad de fisionarse le confiere como una fuente prácticamente inagotable de energía. Aunque una parte importante de la energía eléctrica que consumimos es de origen nuclear, el uranio y la energía nuclear pasan un momento de franca impopularidad debida a su relación con el armamento nuclear agravado por el accidente de Chernobilⁱⁱⁱ. pero no cabe duda que la energía del núcleo atómico desempeñara un papel importante en el futuro, tal vez sea la que dentro de 20 o 30 años nos lleve a Marte.

Bibliografía

Radiation and Radioactivity: On Earth and beyond. I. Dragononic, Z. Dragononic y J.P. Adloff. CRC Press 1990.

Uranium Series Disequilibrium . M. Ivanovich. Clarendon Press 1981.

Los isótopos radiactivos y nuestro pasado. Guillermo Sánchez. Mundo Científico. Mayo 1994.

UNSCEAR 2000. Naciones Unidas.
<http://www.antenna.nl/wise/uranium/>

El autor:

Guillermo Sánchez, trabaja en ENUSA Industrias Avanzadas S.A. y es profesor asociado en la Universidad de Salamanca. <http://web.usal.es/guillermo/>

NOTAS

ⁱ Una supernova es una estrella supermáscica que explota liberando gran parte de su masa. Su participación es imprescindible para explicar la formación de elementos pesados. El universo primitivo solo contenía elementos ligeros, los elementos pesados se “cocinan” en el centro de estrellas supermáscicas. Estrellas de tamaño medio, como el Sol, en su combustión sólo son capaces de llegar a producir elementos de masa atómica intermedio y bajo (el de mayor masa es el hierro).

ⁱⁱ Hasta la caída de la URSS existía demanda de uranio altamente enriquecido para fabricación de armamento militar. Ahora la situación es la contraria: Hay un excedente de uranio altamente enriquecido y plutonio procedente del desmantelamiento de parte del arsenal nuclear, especialmente en los países de la antigua URSS. La existencia de cientos de t U altamente enriquecido y de un centenar de toneladas de plutonio 239 constituye un grave problema, sobretodo por la inseguridad en el control que sobre esos productos existen en dichos países. La solución más sencilla es diluir el uranio altamente enriquecido para su uso en reactores civiles convencionales, en cierta medida así se está haciendo.

ⁱⁱⁱ El accidente de Chernobil se ha convertido en una losa contra la energía nuclear civil, a pesar de ser un tipo de diseño de reactor muy diferente con los que se utilizan en el llamado Mundo Occidental. Sus consecuencias han sido graves, especialmente las económicas y sociales. Las cifras de muertos y afectados dados por las organizaciones antinucleares (tomadas por ciertas por muchos medios de comunicación) son varios ordenes de magnitud mayores que la evaluación de las consecuencias recogidas en el informe recientemente emitido por las Naciones Unidas (UNSCEAR 2000) que indica que solo esta comprobada la muerte de unas decenas de personas y el cáncer de tiroides (no muertes) encontrados en 1800 niños.