

## **El desmantelamiento de armas nucleares: El problema de los excedentes de uranio altamente enriquecido y del plutonio.**

Autor: Guillermo Sánchez. Mundo Científico. Febrero 2002

La matanza de miles de personas antes las cámaras de televisión, el ya tristemente celebre 11 de septiembre, puso claramente de manifiesto hasta dónde están dispuesto a llegar los grupos terroristas si las circunstancias se lo permiten. Desde hace años se especula sobre el riesgo de que llegue a manos terroristas una bomba nuclear. Es sabido que ha habido intentos en este sentido. El general ruso Aleksandr Lebed se ha referido en varias ocasiones (por ej.: Al programa informativo de la CBS *Sixty Minutes*, en septiembre de 1997) a la desaparición de varias decenas de las llamadas 'bombas atómicas maleta' (bombas atómicas de reducido tamaño). Estas declaraciones fueron desmentidas por el ministro de energía atómica de Rusia. Aunque no se trate de bombas maleta es conocido que tanto la ex URSS como EE UU llegaron a construir bombas de reducido tamaño. Teóricamente con unos 15 kg de plutonio 239 (Pu-239) o con algo más de uranio 235 (U-235) puede originarse una reacción en cadena. La bomba Mk-54 SADM, del arsenal de EE UU, consistía en un cilindro de 40 por 60 cm y un peso total de 68 kg. La URSS fabricó otra aún menor (47 kg). Oficialmente estas minibombas eran proyectiles de artillería destinado a la defensa de las fronteras. Aunque, como Carl Sagan dijo, en plena guerra fría hubiese sido mucho más efectivo introducir bombas atómicas pequeñas en el territorio enemigo que lanzarle un misil, en cuyo caso estaba asegurada una respuesta inmediata. Afortunadamente, según la información difundida tanto por EE UU como por Rusia, existe un sistema de salvaguardias sobre sus arsenales nucleares basado en el almacenamiento por separado de componentes críticos de las bombas y en la necesidad de varias claves y personas que pasan por la intervención del presidente (o sus delegados) para activarlas. Por estas razones es improbable que caiga en manos terroristas una de estas bombas en condiciones operativas. Sin embargo, existe un riesgo potencial al que se le presta poca atención. Me refiero al problema originado con el material fisionable excedente del desmantelamiento de las armas nucleares.

Con la firma de los acuerdos START I (1991) y START II (1993) EE UU y Rusia se comprometían a reducir sus respectivos arsenales nucleares estratégicos de 10000 ojivas a unas 3500 por país para el 2003. A estas cabezas hay que añadir miles de bombas nucleares, de las denominadas tácticas (destinadas a operaciones de defensa en las proximidades o en el interior de cada país). La reducción puede ser aún más drástica si se acepta la propuesta Putin, y se concreta en el tratado START III.

Esta situación, deseable desde casi todos los puntos de vista, plantea un problema: ¿Qué hacer con las cabezas nucleares sobrantes?. Dar respuesta satisfactoria a esta pregunta es cada vez más urgente cuando se ha comprobado el interés de países en manos de dictadores y de grupos terroristas en aprovechar esta situación para hacerse con alguna de estas armas directamente o con el material fisionable sobrante. Deshacerse de este material de forma efectiva no es fácil. Una ojiva nuclear típica contiene uranio altamente enriquecido (UAE)\*(Nota al margen\* Uranio enriquecido más del 90% en el isótopo U-235, el uranio natural tiene un contenido del 0,7% y el utilizado por las centrales nucleares llega hasta un 5%), y plutonio de grado militar (\*\*Nota al margen: Plutonio con un alto contenido en el isótopo Pu-239). Estos materiales son muy difíciles de obtener. Si se

dispone de cantidad suficiente unas pocas personas cualificadas con una pequeña instalación industrial podrían fabricar algunas bombas atómicas. Una bomba burda – de la centésima parte de potencia que la de Hiroshima- pero suficiente para matar a miles de personas podría fabricarse con UAE, simplemente uniendo a gran velocidad dos masas separadamente subcríticas que al unirlas formen una masa crítica\* (\*Nota al margen: Masa mínima necesaria para originar una reacción en cadena). La fabricación de una bomba de plutonio es más compleja.

Se estima que en la actualidad sólo en Rusia hay 300 toneladas (t) de UAE como parte de 15000 cabezas nucleares aún operativas y 970 t en excedentes producidas por la reducción de las cabezas nucleares. Por su parte EE UU tiene 128 t UAE en 8000 cabezas nucleares y 621 t UAE como excedente. En total se producirá un excedente de más de 1500 t de UAE. A esto hay que añadir más de 200 t de plutonio militar sobrante, una vez se desmantelen las cabezas nucleares previstas. Mientras no se inutilice este material es susceptible de uso para montar bombas nucleares. Por tanto, podrían reconstruirse los arsenales, además de persistir un riesgo latente de tráfico ilícito, situación que se puede ver favorecida por el descontrol y bancarrota en los países de la ex URSS.

### **El uranio altamente enriquecido (UAE)**

La inutilización para fines militares de las 1500 t de UAE excedentes es técnicamente sencilla. Basta con diluirlo en uranio natural o de muy bajo enriquecimiento obteniendo del orden de 40 000 t uranio ligeramente enriquecido que puede utilizarse en centrales nucleares civiles para originar electricidad. Sólo con este material podría abastecerse todo el parque nuclear civil mundial –más de 400 reactores- durante más de 6 años. El proceso realmente ya ha empezado pero se está desarrollando a un ritmo mucho más lento del previsto. Tres grandes compañías occidentales (Cameco, Cogema y Nukem) firmaron en 1999 un contrato con la rusa Techsnabexport para hacerse con el 70% de este uranio y comercializarlo en el mercado civil antes del 2013, los plazos no se están cumpliendo y probablemente se prolongue más años. En lo que se refiere al uranio de EE UU hasta la fecha sólo se ha diluido 12 t UAE.

La opción de diluir el UAE, aunque es la más sencilla, probablemente no es la técnicamente más deseable. Mucho mejor sería construir reactores específicos para este fin que utilicen UAE. Esta técnica está desarrollada pues los reactores militares (submarinos, portaviones, rompehielos, etc.) habitualmente utilizan UAE. Una de las ventajas que tiene usar altos enriquecimientos para producir electricidad es que la cantidad de residuos radiactivos que se genera es muy pequeña. Esto es así pues los residuos radiactivos más peligrosos producidos en las centrales nucleares son los transuránicos (isótopos de plutonio, neptunio, etc.) que se originan al bombardear neutrones el U-238. Puesto que el UAE apenas contiene U-238 las cantidades de residuos de este tipo son pequeñas.

### **El plutonio**

Un problema mucho más importante es el originado por los excedentes de más de 200 t de plutonio militar. De hecho, sobre este material hasta la fecha no se ha tomado ninguna acción concreta. Las soluciones que se barajan son las siguientes:

a) *Empleo en reactores civiles.*- Técnicamente es posible mezclar este plutonio con uranio originando un combustible conocido como MOX (óxidos mixtos) para ser utilizado en centrales nucleares civiles. El empleo de MOX es una práctica habitual en algunos países: Reino Unido, Francia, Japón, Rusia, India y Alemania, aunque este país está intentando cancelar los contratos que tiene. El plutonio es recuperado (reprocesado) del combustible ya utilizado (combustible gastado o irradiado) y una vez mezclado con uranio ligeramente enriquecido es reutilizado para producir electricidad. Es por tanto una tecnología conocida, que podría aplicarse al plutonio militar. De hecho es la opción elegida tanto por Rusia como EE UU. En septiembre de 2000 EE UU y Rusia firmaron un acuerdo que establecía que cada nación se desharía de 34 t de plutonio militar. El procedimiento elegido era utilizar la mayor parte de este plutonio para fabricar MOX, a un ritmo de entre 2 y 4 t por año, destinándolo a reactores civiles, incluso se precisaba cuáles serían los reactores. Antes del acuerdo se contaba con que el combustible MOX se fabricaría en la planta alemana de Hanau que nunca recibió licencia para operar. En esta circunstancia Rusia prevé construir una nueva planta lo que retrasa esta vía bastantes años. Otro tanto ocurre con EE UU que construirá una planta específica para este fin en Savannah River. Se estima que al menos hasta el 2025 no se habrá inutilizado todo este plutonio, y ello sin contar con las nuevas reducciones de armamento que ojalá se produzcan. En contra de esta vía se dice que con ello realmente sólo se destruye (por fisión) una pequeña parte del plutonio. Aunque esto es cierto la composición isotópica del plutonio, una vez irradiado, es prácticamente inviable para su empleo en bombas nucleares. También se argumenta que en caso de accidente severo (término utilizado en tecnología nuclear para referirse a accidentes que impliquen la rotura del edificio de contención y la liberación de isótopos al ambiente) en una central nuclear que utilice MOX el riesgo radiológico de la población sería el 20% superior que si se utiliza sólo uranio. Los proyectos recientes en reactores de gas de alta temperatura prometen conseguir un grado de quemado mucho mayor del plutonio y hacer imposible un accidente de fusión del núcleo.

b) *Mezcla con combustible gastado.*- Consiste en mezclar el plutonio con el combustible irradiado procedente de los reactores civiles formando un matriz cerámica que haría muy difícil su recuperación. Este material se consideraría un residuo radiactivo de alta actividad, y como tal enterrado en un almacenamiento profundo. En el acuerdo, antes referido, EE UU contemplaba inutilizar 8,4 t por este método, para lo que había previsto la construcción de una planta piloto en el Laboratorio de Lawrence Livermore. Sin embargo el presidente Bush canceló los fondos destinados a este programa indefinidamente. En el caso de Rusia nunca ha mostrado interés en esta opción.

c) *Transmutación nuclear.*- La idea consiste en aplicar aceleradores de partículas que produzcan un alto flujo de neutrones de gran energía con el que se bombardea el plutonio originando productos de fisión de vida corta. Por este proceso no destruiría todo el plutonio pero sí un porcentaje muy elevado. Esta técnica, que idealmente sería la mejor (tanto para el plutonio civil como para el militar) está en una fase de desarrollo muy preliminar por lo que es difícil saber si llegará a ser económicamente viable. Además, se están destinando muy pocos recursos a investigar en esta línea, por lo demás muy prometedora.

EE UU y Rusia oficialmente no han aumentando sus existencias de UAE ni de plutonio militar desde finales de los 80. De hecho, ambos países acordaron cerrar sus instalaciones destinadas a este fin. Sin embargo, Rusia mantiene en operación tres reactores inicialmente destinados a la producción de plutonio militar. En la actualidad dichos reactores se utilizan para generar electricidad. En los acuerdos entre Rusia y EE UU se

contemplaba que estos reactores serían modificados antes de diciembre de 2000 para que no pudiesen emplearse para la obtención de plutonio militar. Los problemas económicos de Rusia han pospuesto este proceso hasta más allá del año 2005.

El G-8 (los 7 países más ricos del Mundo más Rusia) en varias reuniones han manifestado su interés en colaborar en los programas para deshacerse de este material pero hasta la fecha no se ha concretado en un apoyo financiero. Por el contrario, como ocurrió en la última reunión del G8, cualquier decisión se ve complicada por el empeño de Alemania por aportar fondos sólo si se destinan a la inmovilización del plutonio en matrices cerámicas, lo que va en contra de los deseos de Rusia de utilizarlo en sus reactores civiles. El tema no nos es ajeno a los estados de la Unión Europea. El dinero que se destine a deshacerse de este material contribuirá a reducir un grave riesgo. Algunas decisiones ni siquiera son un problema de dinero, como es favorecer la entrada en la UE de uranio procedente del desmantelamiento del arsenal ruso para su uso en centrales nucleares (físicamente es prácticamente idéntico al que ahora utilizamos). Como reiteradamente manifiesta el Secretario de Defensa de EE UU peligros que se consideraban hasta ahora insignificantes ya hay que tenerlos en cuenta. Deshacerse de este plutonio y UAE no es una cuestión baladí, a ello hay que añadir el problema existente por el abandono en el que al parecer se encuentra las instalaciones de la ex URSS donde se fabricó este material.

**Conclusiones.**- Los países que oficialmente reconocen disponer de armas nucleares son: EE UU, Rusia, China, Francia, Reino Unido, Pakistán y la India. Se sabe que también las tienen Israel y Sudáfrica. Los materiales fisionables son, con mucho, los componente más difíciles de conseguir para fabricar bombas atómicas. Su obtención está solamente al alcance de estados, e incluso en estos casos las instalaciones necesarias serían probablemente detectadas. Desde hace años, especialmente desde EE UU e Israel, se viene apuntando a Irak y Libia como potenciales candidatos a adquirir o construir estas armas y la posibilidad de que la desvíen a organizaciones terroristas. Es conocido el intento de Irak por construir un centro nuclear con fines militares que fue destruido por sorpresa por la aviación israelí en 1981 y los bombardeos que norteamericanos y británicos vienen realizando desde 1991 sobre instalaciones de Irak, algunas de las cuales tienen por fin evitar el desarrollo de armas nucleares y químicas. Incluso se especula con que Irak y Corea del Sur ya estén en condiciones de construir algunas bombas atómicas

La existencia de más de 1500 t de UAE y más de 200 t plutonio militar, procedentes del desmantelamiento de los arsenales rusos y norteamericanos, constituyen un riesgo al que hay que poner fin haciendolo inutilizable. En el caso del UAE la solución técnicamente es fácil pero requiere acciones políticas que la favorezcan, en el caso del plutonio las soluciones son más complicadas pero existen. Se da la afortunada circunstancia de que la forma más sencilla de inutilizar estos materiales es sirviendo a la paz mediante la generación de energía eléctrica. Se podrían alimentar todas las centrales nucleares actuales durante más de 6 años.

### **Biografía.:**

Journal of Federation of American Scientists (<http://www.fas.org/>)

Uranio: Mitos y realidades. Guillermo Sánchez. Mundo Científico nº 223 (Mayo 2001)

## Recuadro I

### El plutonio: un problema pendiente

Los isótopos del plutonio se generan en los reactores nucleares en varias reacciones que dan lugar a  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  y  $^{242}\text{Pu}$ . Para su uso en militar interesa que el plutonio tenga un alto contenido en  $^{239}\text{Pu}$ . Los otros isótopos, en especial el  $^{241}\text{Pu}$ , poseen diversas características (gran número de fisiones espontáneas, elevadas emisiones gamma que producen el calentamiento del material y dificultades de manejo, efecto de predetonación, etc.) que complicarían enormemente su utilización en bombas. El Pu-239 se origina al ser bombardeado el U-238 con neutrones, los otros isótopos del plutonio se producen en reacciones que en su mayor parte se inician al ser bombardeado el Pu-239 con neutrones. Por esto la proporción de Pu-239 es más abundante con combustible de uranio que lleva poco tiempo en el reactor, cuando aún no ha dado tiempo a que se generen cantidades importantes de los otros isótopos. En la tabla se muestra la composición isotópica del plutonio en función del grado de quemado.

#### Composición isotópica del plutonio resultante del quemado de uranio enriquecido al 4.25% 2 años después de ser sacado del reactor.

GW/tUd	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242
5	0.1%	92.0%	6.4%	1.5%	0.0%
15	0.4%	79.9%	12.5%	6.6%	0.6%
25	1.0%	71.1%	15.7%	10.5%	1.8%
33	1.5%	65.6%	17.3%	12.7%	2.9%
45	2.6%	59.4%	19.1%	14.3%	4.7%
60	4.0%	53.7%	20.1%	15.3%	6.9%

Para conseguir plutonio enriquecido en Pu-239 tanto EE UU como la ex URSS normalmente utilizaban reactores específicos para tal fin. El combustible de uranio era ligeramente irradiado durante algunas semanas y, una vez sacado del reactor, sometido a un proceso químico, relativamente simple, denominado PUREX; que separaba el uranio del plutonio (reprocesamiento). El plutonio se destinaba a la fabricación de bombas. El uranio sobrante es prácticamente similar al utilizado en los reactores civiles, de hecho se está comercializando para tal fin. En el momento actual hay un sobrante de más de 200 t plutonio de grado militar. Obviamente, ni EE UU ni Rusia destinan instalaciones a obtener más plutonio militar, aunque Rusia por razones económicas mantiene algún reactor de doble uso (civil y militar). Los reactores civiles teóricamente podrían destinarse a uso militar pero recurrir a esta vía sería mucho más costoso que construir instalaciones específicas destinadas a uso militar, además las instalaciones nucleares civiles están sometidos a una vigilancia internacional a través del OIEA (organismo dependiente de las Naciones Unidas). Para deshacerse del plutonio de grado militar la vía elegida es su utilización en reactores civiles como combustible MOX (mezclas de uranio y plutonio). Esta técnica es utilizada por algunos países con el plutonio recuperado de las centrales nucleares, como forma de aprovechar mejor el combustible y reducir los residuos radiactivos de plutonio. Aunque sólo elimina la tercera parte del plutonio la composición isotópica resultante es poco adecuada para su uso en fabricación de bombas. Están en estudio reactores de gas de alta temperatura, y de otros tipos, que permitirían destruir, por

fisión, un porcentaje mucho más alto de plutonio y el resto, no eliminado, tendría una composición isotópica indeseable desde el punto de vista militar.

## Recuadro II

### **El desmantelamiento de una bomba termonuclear**

Una bomba termonuclear típica consta de una bomba A situada en la base de un cilindro formado por litio-deuterio-tritio. Las paredes y la base del cilindro generalmente son de uranio de alto enriquecimiento (UAE) y plutonio. La bomba A al explotar produce una enorme cantidad de energía que fusionan (unen) los átomos de deuterio y tritio. Este proceso se genera gran cantidad de neutrones que fisionan las paredes de UAE, el efecto combinado fisión-fusión-fisión puede liberar miles de veces más energía que la bombas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki. La mayoría de las bombas de los arsenales rusos y americanos son de este tipo. El proceso de desmantelamiento de una ojiva nuclear se realiza en distintas fases:

Fase I.- Desmontaje de la ojiva del vector (misil, lanzador, etc.) en el que se encuentre, traslado a un almacén dejándola sin mantenimiento. El material fisionable y otros componentes de la ojiva se degradan si no se realiza un mantenimiento adecuado. Por ejemplo.: Los isótopos del uranio, del plutonio y de otros componentes radiactivos de la ojiva como pueden ser el deuterio y el tritio, se van desintegrando en otros isótopos que “contaminan” el material haciendo inoperativo (Para que una bomba nuclear sea operativa suele someterse a una revisión periódica que implica la sustitución de parte del material radiactivo, en especial el tritio). Técnicamente en un periodo corto de tiempo una cabeza nuclear en situación “sin mantenimiento” podría volverse a un estado de operatividad. Gran parte de las armas que se dan por desmanteladas se encuentran en esta situación.

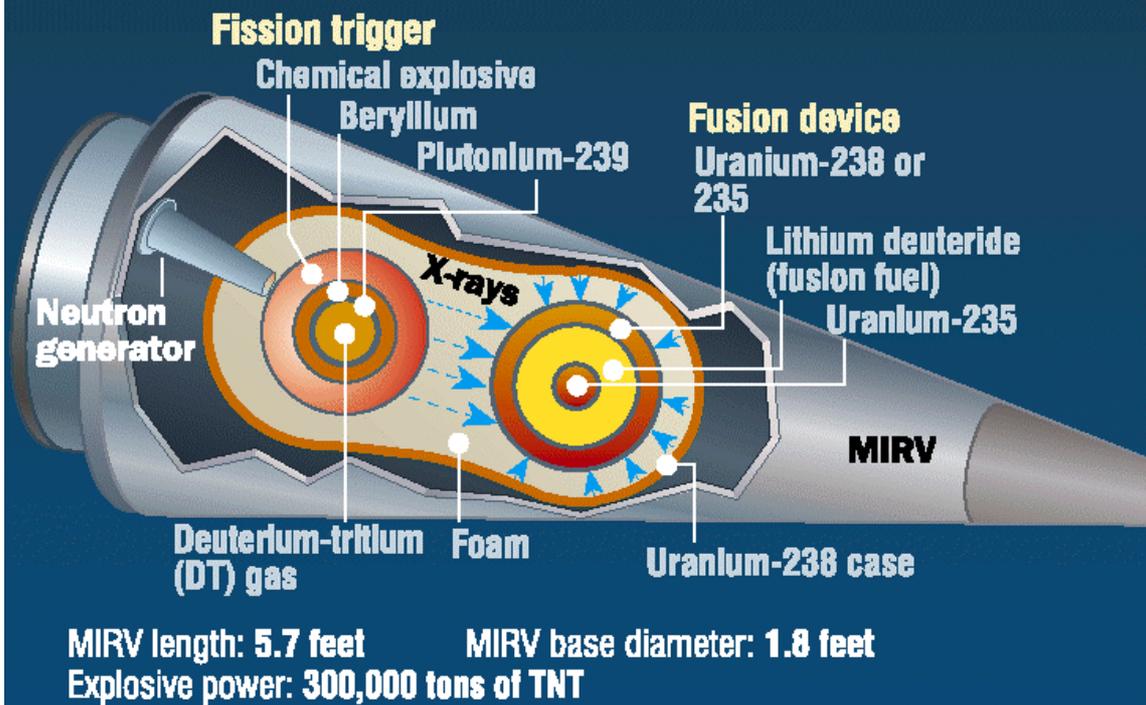
Fase II.- La ojiva se desmonta en sus componentes. Los componentes no nucleares son destruidos físicamente y el material fisionable (isótopos del uranio y plutonio) que normalmente está en forma de metal es oxidado. Esta situación es preferible a la fase I pero es igualmente una situación temporal pues en un proceso industrial no muy complicado en un tiempo relativamente breve podría recuperarse el material como metal, listo para fabricar una nueva cabeza nuclear.

Fase III.- El óxido de uranio, altamente enriquecido en U-235 (más del 90%), es diluido en uranio natural ( que tiene un contenido de U-235 del 0,7%) o uranio ligeramente enriquecido, obteniéndose uranio con un enriquecimiento inferior al 5% que es utilizado en las centrales nucleares civiles. Alternativamente el UAE puede quemarse sin diluir, o con una baja dilución, en un reactor que opere con este tipo de uranio.

Fase IV.- Correspondería a la eliminación del plutonio o su transformación en una forma que prácticamente imposibilite su aplicación militar.

## A modern thermonuclear

This W87 thermonuclear warhead is launched on an MX intercontinental missile. Packed into a multiple independently targeted re-entry vehicle (MIRV, shown below), it splits off from the missile to strike its target.



=====

Traducción Bomba termonuclear

El misil intercontinental MX transporta varias cabezas nucleares como esta. Al entrar en la atmósfera cada una se dirige su objetivo.

Fission trigger = Activador de fisión(primario)  
Chemical explosive = Explosivo químico  
Beryllium = Berilio  
Plutonium-239 = Plutonio-239  
Neutron generator = Generador de neutrones  
Deuterium-tritium (DT) gas = Gas deuterio-tritio (DT)  
Fusion device = Dispositivo de fusión (secundario)  
Uranium-238 or 235 = Uranio-238 o 235  
Lithium deuteride (fusion fuel) = Deuteruro de litio (combustible de fusión)  
Uranium-238 case = Revestimiento de U-238  
Foam = Absorbente

Longitud: 1,7 m  
Diametro de la base: 0,6 m  
Potencia: 300 000 t de TNT