

El mito del MOX

Los peligros y riesgos del uso de MOX (Mixed Oxide Fuel)

Escrito por: Loeke Pam, Joop Boer y Dirk Bannink

Editado por: Dirk Bannink

Agradecimientos: Robert Jan van den Berg, Hermine Linnebank, Peer de Rijk, Yurika Ayukawa and Physicians for Social Responsibility.

Agradecimientos especiales para: Stichting Vredesprojecten Nederland y The Margaret Laurence Fund for the Promotion of Peace and the Environment - Canada por proporcionar fondos para la producción de este documento.

Traducido para Crisis Energética por Ricardo Jiménez y Pedro Prieto.

Revisión y edición digital por Daniel Gómez.

Versión original en inglés en <http://www.antenna.nl/wise/469-470/index.html>

Índice de contenidos:

1. Introducción.
2. Historia de la política y producción del plutonio.
 - 2.1. Introducción.
 - 2.2. Los grados del plutonio: todos ellos son de grado armamentístico.
 - 2.3. Producción de plutonio.
 - 2.3.1. Producción civil de plutonio.
 - 2.3.2. Producción militar de plutonio.
3. Política y planes del MOX.
 - 3.1. Reactores regeneradores rápidos.
 - 3.2. Producción de combustible MOX.
 - 3.3. Utilización del MOX.
4. Situación por países.
 - 4.1. Bélgica.
 - 4.2. Canadá.
 - 4.3. Unión Europea.
 - 4.4. Francia.
 - 4.5. Alemania.
 - 4.6. India.
 - 4.7. Japón.
 - 4.8. Holanda.
 - 4.9. Rusia.
 - 4.10. Suiza.
 - 4.11. Reino Unido.
 - 4.12. EE.UU.
5. Los mitos del MOX: sólo mentiras
 - 5.1. ¿Una reducción de las cantidades de plutonio?
 - 5.2. ¿Ahorra uranio?
 - 5.2.1. Recolecciones de cola menores.
 - 5.2.2. Un mayor quemado.
 - 5.3. ¿Ahorra el MOX coste de almacenamiento?
 - 5.4. Los costes del combustible MOX.
6. Proliferación y problemas de seguridad en el uso del MOX.
 - 6.1. Proliferación.
 - 6.1.1. No hay inspección en los Estados con armas nucleares.
 - 6.1.2. Material sin contabilizar.
 - 6.1.3. Más material nuclear; menos control.
 - 6.2. Seguridad.
 - 6.2.1. La degradación del Pu y del Americio-241.
 - 6.2.2. Galio.
 - 6.2.3. Peligros para los trabajadores.
 - 6.2.4. Accidentes en las plantas de fabricación de MOX.
 - 6.2.5. El comportamiento del combustible MOX en el reactor.
 - 6.2.6. Escenario de un accidente cuando se utiliza MOX.
 - 6.2.7. Los problemas de transporte del plutonio.
7. Resumen.

1. Introducción

Después del famoso discurso del presidente estadounidense Eisenhower a las Naciones Unidas en diciembre de 1953, titulado “Átomos para la paz” el poder y el conocimiento nuclear dejaron de ser únicamente un territorio militar. La energía nuclear quedó disponible para usos civiles. Las expectativas eran enormes: la electricidad nuclear sería tan barata y abundante que no merecería la pena el uso de contadores. El objetivo fundamental no sería una cadena nuclear con desechos, sino un ciclo cerrado de combustible de energía permanente. Durante la primera década de utilización de la energía nuclear, en los 60, se pensó que el uranio llegaría pronto a escasear. La creencia era que en unos 20 ó 30 años habría que utilizar el plutonio, en lugar del uranio. Los reactores regeneradores rápidos con reprocesamiento aparecían como la base del futuro de la energía nuclear. Este futuro se alcanzaría en tres etapas:

1. La primera generación de plantas nucleares, principalmente los reactores de agua ligera (Light Water Reactors ó LWR's, en inglés y en sus siglas inglesas en adelante) producirían plutonio.
2. Los primeros reactores regeneradores rápidos (Fast Breeder Reactors ó FBR's, en inglés y en sus siglas en inglés, en adelante), serían alimentados con el plutonio reprocesado del combustible gastado de los LWR's.
3. Después de un periodo de transición en que tanto los LWR's como los FBR's funcionarían conjuntamente, los FBR's serían los únicos reactores. “Producirían” más plutonio del que consumirían. El plutonio producido por primera vez en el combustible gastado de los FBR, se separaría en plantas especiales de reprocesamiento, de donde se fabricaría el combustible de plutonio y con él se alimentaría nuevos FBR's. Esto significaría una fuente de energía infinita.

El funcionamiento de los FBR's “quedó a la espera en las empresas” y el plutonio que se generaba para reprocesamiento se fue acumulando. Los contratos de reprocesamiento que ya existían, iban solo a aumentar las cantidades de plutonio en el futuro.

Pero no se ha alcanzado el logro de la energía infinita; la esperanza de un programa exitoso de FBR's se ha venido abajo. Incluso se ha planificado reconstruir algunos de los FBR's de productores a quemadores de plutonio. La utilización comercial de los FBR's se va desplazando hacia el futuro, entre el 2030 y el 2050, si acaso. Pero sin la perspectiva de los regeneradores rápidos y por tanto, sin una fuente de energía infinita, la energía nuclear ha incumplido otra de sus promesas.

Como resultado de la falta de perspectiva de los reactores regeneradores rápidos (junto con la cantidad de plutonio proveniente del desmantelamiento de las armas nucleares) la necesidad del reprocesamiento resulta cada vez más estéril. La infraestructura económica del plutonio, tiene que mantenerse viva, hasta que los FBR's puedan construirse de nuevo. Debido a la falta de la justificación original para el reprocesamiento, se ha tenido que buscar otro destino a las decenas de miles de kilos de plutonio: la utilización del MOX en los reactores de agua ligera.

La abreviatura MOX significa Mixed OXide; es una mezcla de uranio empobrecido y de plutonio reprocesado. De hecho, todo combustible nuclear que contenga plutonio es un combustible MOX; sólo varía el porcentaje de plutonio en el combustible: en los FBR's llega a ser de hasta el 35% y en los LWR's alcanza hasta el 48%. El MOX no es un proceso novedoso. La fabricación de combustible MOX comenzó en los 60. Algunos países (por ejemplo, Bélgica y Francia) abrieron sus propias plantas de fabricación de este combustible.

La industria nuclear utiliza varios argumentos a favor del MOX:

1. Favorece la no proliferación, al reducir la cantidad de plutonio separado y al hacer más difícil el escamoteo del plutonio.
2. Ahorra uranio, al reutilizar el plutonio y el uranio empobrecido.
3. Elimina el coste de almacenamiento de grandes cantidades de plutonio y ahorra hasta un 10% del coste directo del ciclo del combustible.

Sin embargo, esos argumentos son fáciles de desmontar. Podemos decir que la utilización del combustible MOX

- Tiene muchos riesgos de proliferación.
- No es una solución para el problema del almacenamiento de los residuos radiactivos de alto nivel.
- No supone un ahorro sustancial del uranio.
- Conlleva muchos riesgos extra de seguridad y
- Es más caro que la utilización del uranio como combustible.

Confiamos en que este documento especial contribuya a aumentar el conocimiento y mejore la posibilidad de enfrentar a los argumentos a favor de uso del MOX. Confiamos en que la gente aprenda esto: lo primero y más importante, que el MOX es una coartada para seguir reprocesando; que el MOX refleja la esperanza de la industria nuclear de tiempos mejores. Es importante parar el MOX; es importante parar el reprocesamiento. ¡Es de la mayor importancia para la energía nuclear!

2. Historia de la política y producción del plutonio

2.1 Introducción

En agosto de 1942 Glenn Seaborg aisló por primera vez una muestra microscópica de plutonio, como parte del proyecto Manhattan. Las primeras cantidades en miligramos no fueron creadas en un reactor, sino mediante la irradiación de una solución de nitrato de uranio (uranyl nitrate) con el ciclotrón de la Universidad de California, en Berkeley, en los EE.UU.¹. En diciembre de 1944 se acabó la construcción de las plantas de separación química de Hanford y el 2 de febrero de 1945, se recibió el primer plutonio en Los Alamos.² El plutonio es una sustancia altamente carcinógena y radiactiva, que no existe en la naturaleza y sólo se produce artificialmente en los reactores nucleares. Se obtiene por irradiación con neutrones del uranio 238, tanto en reactores militares como civiles. El plutonio tiene quince isótopos con números atómicos de masa que van del 232 al 246. Sólo dos de los isótopos del plutonio tienen aplicaciones militares y comerciales:

- El plutonio 238 se utiliza para hacer generadores termoeléctricos compactos (por ejemplo, para satélites)
- El plutonio 239 se utiliza para hacer armas nucleares y para la electricidad nuclear.

Los isótopos de plutonio 240, 241 y 242 no tienen aplicaciones comerciales y son solamente contaminantes³. El plutonio que se forma se confina en barras de combustible gastado. Cuanto más tiempo permanece el combustible en el reactor, más se forman isótopos contaminantes de plutonio. En los reactores militares, el combustible se reemplaza después de algunas semanas, para obtener tanto plutonio 239 como sea posible. En los reactores comerciales esto se hace después de tres o cuatro años

2.2 Los grados del plutonio: todos ellos son de grado armamentístico

La cantidad mínima de material nuclear necesario para producir una reacción en cadena se denomina masa crítica. La masa crítica teórica más pequeña de Pu₂₃₉ es de unos pocos cientos de gramos⁴. La cantidad de plutonio que se utiliza en las armas de fisión está en el orden de de 3-5 Kg. El Departamento de Energía (DOE)⁵ de los EE.UU. plutonio se ha clasificado en grados.

Tabla 2.2 Grados del plutonio

Grados del plutonio	Contenido de Pu-240
Grado Super	2-3% (>97% fisible Pu)
Grado Armamentístico	< 7%
Grado de Combustible	7-19%
Grad de Reactor	19% o más

Esta clasificación es, sin embargo, equivocada. El grado de combustible y de reactor pueden ser menos indicados, pero todavía se puede hacer con ellos un arma nuclear. Ha habido al menos dos armas nucleares conocidas que se han probado con plutonio civil. En 1953, el Reino Unido explotó una bomba de 12 kilotones, denominada Totem I, en uno de sus lugares de prueba en Australia⁶. En 1962, los EE.UU. llevaron a cabo una prueba subterránea con plutonio de grado de reactor en el polígono de pruebas de Nevada⁷.

2.3 Producción de plutonio

En el reprocesamiento, el plutonio se separa del combustible nuclear gastado. El reprocesamiento tiene orígenes puramente militares. El desarrollo de esta tecnología data, en los EE.UU. de 1944, en el Proyecto Manhattan, cuyo único propósito fue el desarrollo y producción de la bomba nuclear. El plutonio se produjo en reactores específicos militares, de bajo nivel de combustión. El combustible en los reactores de potencia se irradia durante periodos más largos para conseguir un quemado más completo, dado que la irradiación del combustible genera el calor para la

producción de electricidad. El objetivo militar es la producción de plutonio y por tanto el quemado se mantiene en un bajo nivel para obtener el Pu₂₃₉ lo más puro posible. Es importante mantener la presencia de isótopos más altos, particularmente el plutonio 240, en niveles mínimos⁸. Las plantas de reprocesamiento trabajan con el combustible gastado mediante procedimientos mecánicos y químicos para separar el plutonio, fundamentalmente del uranio y de otros productos de fisión. El reprocesado es una técnica extremadamente contaminante, debido fundamentalmente a las liberaciones radiactivas masivas en el aire y en el agua.

2.3.1 Producción civil de plutonio

El reprocesamiento civil se aplicó a escala experimental desde 1966-1974 en la planta de reprocesamiento Eurochemic, en Dessel, Bélgica y desde 1972-1990 por el WAK en Karlsruhe, Alemania. Desde finales de los 60 en adelante, comenzó el reprocesamiento del combustibles gastado de las plantas nucleares comerciales: en Francia, la planta UP1 de Marcoule (1958-1977) y la Haya UP2 (1966-1976); en el Reino Unido Windscale B-204, desde 1969-1973; y en los EE.UU. West Valley (1966-1972)⁹. Las dos mayores compañías de reprocesamiento y plutonio de mundo son British Nuclear Fuel, Ltd. (BNFL) y la francesa Compagnie Générale des Matières Nucléaires (Cogéma). Basándose en la capacidad de producción nominal de 1.600 TM/año para La Haya¹⁰ y 900 TM/año para Sellafield¹¹, la producción máxima de plutonio en los próximos 20 años será de unos 500.000 kg. De Pu, en el supuesto de un promedio de un 1% de Pu en el combustible gastado.

Tabla 2.3 Producción civil estimada de plutonio¹²

País	Planta	Cap. Prod. Comb. Gasta.(ton/a)	Prod. Max. Pu. (kg/año)	Comie.
India	Tarapur	100	1.000	1982
	Kalpakkam	100	1.000	1996
Japón	Tokai-Mura	90	900	1977
Francia	UP-2 800	850	8.500	1994
	UP-3	800	8.000	1990
Rusia	RT-1, Mayak ¹³	400	2.500	1977
Reino Unido	THORP	700	7.000	1997
	B-205 MAGNOX	1.500	4.500	1964
Producción anual total de Plutonio			33.400	

En la actualidad, aproximadamente la mitad de la producción anual de plutonio en el combustible civil nuclear se separa en las plantas de reprocesamiento. Cada año se producen unos 60.000 kg de plutonio en los reactores nucleares, de los que se separan aproximadamente la mitad (unos 33.400 kg) de plutonio.

La producción acumulada de plutonio civil estimada en los reactores nucleares civiles, hasta finales de 1995 es de aproximadamente 1 millón de kilos de plutonio, de los que unos 800.000 kg. Están dentro del combustibles gastado. Se han reprocesado unos 190.000 kg. de plutonio De este plutonio hay almacenados unos 141.000 kg y 49.000 kg. se han reciclado como combustible MOX en las LWR's y en las FBR's.¹⁴

La cantidad de plutonio civil separado aumentará enormemente. En los próximos 20 años, la producción acumulada de las plantas de reprocesamiento civil será de 600.000 kg. de plutonio. Esto es el doble de la producción militar de plutonio desde la Segunda Guerra Mundial hasta la fecha.

2.3.2 Producción militar de plutonio

Los cinco países que oficialmente poseen armas nucleares, los EE.UU. Rusia, Gran Bretaña, China y Francia, han producido unos 300.000 Kg de plutonio en los últimos 50 años. En los EE.UU. todos los 14 reactores nucleares militares cerraron en 1988. Para entonces, los reactores habían producido unos 100.000 kg de plutonio de grado militar y 11.000 kg. de plutonio de grado de reactor. En la URSS se estima que se habían producido y separado unos 177.000 kg de plutonio militar en 13 reactores militares hacia finales de 1993. Sólo siguen operativos tres reactores nucleares¹⁶. Desde 1985, se han desmantelado unas 10.000 armas nucleares. El resultado es que las cantidades de

plutonio de grado militar están aumentando. Tanto los EE.UU. como Rusia declararon un excedente almacenado de unos 50.000 kg cada uno. El Reino Unido, Francia y China juntos produjeron y separaron unos 12.000 kg de plutonio de grado militar.¹⁷

Fuentes:

1. IPPNW/IEER, 'Plutonium Deadly gold of the Nuclear Age', Cambridge, 1992, p.3
2. US Department of Energy, 'The Manhattan Project; Making The Atomic Bomb', Oak Ridge, September 1994, p.64
3. IEER fact sheet, 'Physical, Nuclear and Chemical Properties of Plutonium', Washington, October 1994, p.1
4. IEER fact sheet, 'Physical, Nuclear and Chemical Properties of Plutonium', Washington, October 1994, p.2
5. Cochran, T.B., W.M.Arkin, R.S.Norris, M.M.Hoenig, 'Nuclear Weapons Databook, Vol. II U.S. Nuclear Warhead Facility Profiles', Cambridge, Ballinger Publishing Company, 1987, p.136
6. Hawkes, N., a.o, 'The Worst Accident in the World', London Observer, 1986, p.58,59
7. DOE Facts, 'Additional Information Concerning Underground Nuclear Weapon Test of Reactor-grade Plutonium', Washington, June 1994
8. IEER fact sheet, 'Physical, Nuclear and Chemical Properties of Plutonium', Washington, October 1994, p.3
9. Albright, D., F.Berkhout, W.Walker, 'World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium 1992', Oxford University Press, 1993, p.90
10. Nuclear Fuel, 1 January 1996; La Hague site reaches nominal production; MELOX gears up, p.12
11. Nuclear Fuel, 17 June 1996: 'Hundreds of Japanese flock to THORP as plant gears up for full operation', p.19-20
12. Energy & Security, No.2 1997; 'Reprocessing: Where and How', p.8-9
13. Nuclear Fuel, 1 January 1996, 'RT-1 operation faces cost crisis, uncertain future demand schedule', p.10
14. Energy and Security, No.2 1997; 'World Civilian plutonium inventories', p.14
15. Albright, D., F.Berkhout, W.Walker; 'World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium 1992', Oxford University Press, 1993, p.34
16. Böhmer, N., T.Nilsen; 'Reprocessing Plants in Siberia', Bellona Working Paper, 19 September 1995, Oslo, p.2
17. Albright, D., F.Berkhout, W.Walker; 'World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium 1992', Oxford University Press, 1993, p.41-46

3. Política y planes del MOX

3.1 Reactores regeneradores rápidos

El primer reactor que generó (una modesta cantidad de) electricidad, fue un Reactor Regenerador Rápido (en inglés y en adelante, Fast Breeder Reactor o FBR), en Idaho, EE.UU. Entró en funcionamiento en 1951¹. A pesar de una experiencia de más de cuatro décadas con los FBR's, esta opción ha probado ser un completo fallo. Sólo los optimistas de la industria nuclear ven como una opción comercialmente viable a los FBR's a muy largo plazo. Japón planea construir FBR's de nuevo alrededor de 2030.² Hasta ahora, se han cerrado unos 13 reactores FBR en todo el mundo. Sólo quedan 10 FBR's, cinco de los cuales están funcionando de forma más o menos regular. Los otros cinco están en reparación (Monju, Phenix) o en reconstrucción (Superphenix) o en parada caliente (hot standby), tales como el FFTF. Tres FBRs son pequeñas plantas piloto: el FBTR de India, el japonés Joyo y el EBR-2, en los EE.UU.

Los FBR's fueron los primeros que utilizaron el combustible MOX, excepto los FBRs' rusos, que utilizan uranio altamente enriquecido. El porcentaje de plutonio en el combustible MOX de los FBR's, es, sin embargo, mucho más elevado: aproximadamente un 35%, frente a un 48% de plutonio en el combustible del MOX de los LWR's y el toda la carga es combustible MOX, mientras que en los LWR's sólo un tercio de la carga contiene combustible MOX

Tabla 3.1 Reactores regeneradores rápidos (FBR's) actuales ³

País	Nombre	Capacidad (MW)	Comienzo
Francia	Phenix	250	1974
	Super-Phenix	1242	1988
India	FBTR/Kalpakkam	14	1985
Japón	Joyo	100°	1976
	Monju*	300	1995
Kazastán	BN-350	150	1973
Rusia	BOR-60	15	1969
	Bjelojarsk 3	600	1981
EE.UU.	EBR-2	62.5 °	1963
	FFTF**	400 °	1982

* Todavía cerrado, después de un fuego en el sodio el 8 de diciembre de 1995

** Colocado en parada caliente en 1992 ⁴

3.2 Producción de combustible MOX

Hacia finales de 1997 había cuatro plantas de fabricación de combustible comercial en el mundo, para la fabricación de MOX para los LWR's. Esos cuatro son:

- La planta de Sellafield (SMP), en Inglaterra, con una capacidad de producción de 120 toneladas de MOX, comenzará (comenzó) su funcionamiento a finales de 1997;⁵
- El Complexe de Fabrication des Combustibles Cadarache (CFCa) en Francia, con una capacidad anual de 15 toneladas. La planta CFCa, propiedad de Comega, se pensó inicialmente para producir combustible para los FBR's Rhapsodie, Phenix y Superphenix, pero ha sido reconstruida para la fabricación de LWR MOX.⁷
- Etablissement Melox en Marcoule (Francia), con una capacidad anual de 120 toneladas; está planificado aumentar a una capacidad de 160-200 toneladas después del 2001.⁸
- La Belgonucléaire Usine de Fabrication d'Eléments Plutonium (P0) en Dessel, Bélgica, con 35 toneladas por año, comenzó en 1973.⁹

Así que incluyendo a la británica MDF, la capacidad total mundial para producir MOX para los LWR's en 1998, sería aproximadamente de unas 313 toneladas anuales. Está prevista la ampliación de las plantas de Cadarache, Melox y Dessel. La cantidad estimada para la producción mundial de MOX en el 2000 será de unas 350 toneladas anuales. Suponiendo un contenido de plutonio del 6% en el combustible MOX, la cantidad de plutonio reutilizado en el año 2000 será de unos 21.000 kg. Esta capacidad es demasiado poca, considerando que en las plantas de reprocesamiento se separa una cantidad anual de unos 33.400 kg de plutonio. Y mucho menor si se decide utilizar para combustible MOX el plutonio de las armas estadounidenses y rusas.

Tabla 3.2 Plantas de producción de combustible MOX para las plantas de LWR a gran escala s actuales y planificadas

País	Planta	Prod.Cap. (ton/año)	Prod. 1996	Comienzo
Bélgica	Dessel	35	35	1973
Reino Unido	MDF	8	8	1993
	SMP	120	-	1998
Francia	CfCa	30	24	1989
	Melox	120	58	1995
Total		313	125	

3.3 Utilización del MOX

Las LWR's están diseñadas para utilizar el uranio enriquecido como combustible. Para utilizar el combustible MOX, los reactores tienen que adaptarse y adquirir nuevas licencias de operación. Un 30% del combustible de uranio del reactor se cambia, como promedio por el MOX. Es importante mantener, al máximo posible, el funcionamiento del reactor como si no tuviese combustible MOX.

Existen en todo el mundo, unos 23 LWR's que utilizan combustible MOX: en Bélgica, Francia, Alemania, India y Suiza. La mayoría de ellos son reactores de agua presurizada (Pressurized Water Reactors, en adelante, por sus siglas en inglés, PWR's). En la actualidad, sólo cuatro Reactores de agua a presión, (Boiling Water Reactors, en adelante y por sus siglas en inglés, BWR's) (Gundremmingen y Tarapur) están utilizando MOX. Las expectativas y planes para utilizar el MOX en los BWR's son muy limitados.¹²

Tabla 3.3 Reactores con combustible MOX (a 31-12-96) *

País	Nombre del Reactor	% Pu en MOX	MOX utiliz. Desde
Bélgica	Tihange-2	7.5	3/1995
	Doel-3	7.5	5/1995
Francia	St. Laurent B1	5.3	1987
	St. Laurent B2	5.3	1988
	Gravelines-3	5.3	1989
	Gravelines-4	5.3	1989
	Dampierre-1	5.3	1990
	Dampierre-2	5.3	1993
	Blayais-2	5.3	1994
	Tricastin-4	5.3	1996
	Tricastin-?		1996
	Alemania	Grafenrheinfeld	
	Doel-3		1995

	Grohnde		1986
	Neckar 1		1985
	Phillipsburg 2		1984
	Unterweser		1985
	Gundremmingen B		1995
	Gundremmingen C		1995
India	Tarapur 1	5	1994
	Tarapur 2		1995
Suiza	Beznau-1		1978
	Beznau-2		1984

*Fuentes: Ver los informes de país en el capítulo 4.

Fuentes:

1. Ruiters, W.de, B.vd Sijde; 'De Nuclear Erfenis', Boom, 1985, p.113
2. Nucleonics Week, 27 February 1997: 'Japan utilities plan to burn MOX in up to 18 LWRs by 2010', p.3
3. Albright, D., F.Berkhout, W.Walker; 'World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium 1992', Oxford University Press, 1993, p.120
4. Nuclear Fuel, 27 January 1997: 'FFTF saved from scrap heap but long-term use still clouded', p.14
5. Nuclear Fuel, 8 April 1996; 'BNFL wants to be leading player in disposal of weapons plutonium', p.12
6. Nuclear Fuel, 18 November 1996, 'Cogema begins fabricating MOX fuel at Cadarache for German reactors', p.12
7. Revue Generale Nucleaire, January/February 1995: 'Le combustible MOX et l'usine de fabrication Melox'
8. Nuclear Fuel, 18 November 1996: 'Cogema outlines firm plans to raise MOX production capacity', p.1
9. Nuclear Fuel, 18 November 1996: 'Belgonucleaire fabricating MOX fuel for second Swiss reactor', p.13
10. Nuclear Fuel, 10 March 1997: 'ComEd set back by its position on European MOX fabrication', p.10
11. Nuclear Fuel, 10 March 97: 'MELOX plant shy of 1996 production goal', p.11
12. NEA Newsletter, Spring 1996: 'Plutonium recycling', p.10

4. Situación por países

4.1 Bélgica

En 1994, Bélgica decidió parar el reprocesamiento de su propio combustible gastado y dejó de hacer más contratos de reprocesamiento. Deseaba utilizar hasta 4,6 toneladas de plutonio separado como combustible MOX en sus propios reactores de contratos anteriores.¹ Los siete reactores comerciales belgas tenían contratos de reprocesamiento con Cogéma en la Haya, Francia. Los contratos de reprocesamiento totalizan 600 toneladas de combustible gastado (con unos 6.000 kg de plutonio) hasta el año 2000². En 1963, el reactor de investigación BR-3 comenzó a utilizar MOX a escala experimental: una primicia mundial³. En 1995, se había insertado por primera vez MOX en dos de los siete LWR's: Tihange-2 y Doel-3.

Fabricación de MOX

La planta de Belgonuléaire en Dessel, llamada P0, que tiene una capacidad de 35 toneladas anuales, ha estado en funcionamiento desde 1973, produciendo combustible MOX para los FBR's. La planta de Dessel ha producido comercialmente el MOX para los LWR's de Bélgica, Francia, Alemania y Suiza. Desde octubre de 1996 se han fabricado más de 300 toneladas de combustible MOX. Belgonuléaire espera aumentar la producción de P0 a 40 toneladas de MOX por año.⁴

Belgonuléaire quería aumentar las instalaciones añadiendo dos nuevas líneas de producción, denominadas P1, con una capacidad anual de 60 toneladas. Debido a unos procedimientos irregulares para la obtención de licencias, ha sido llevada a juicio y la planta no se ha llegado a construir.

En julio de 1996, Belgonuléaire propuso ayudar a los EE.UU. a deshacerse del plutonio sobrante de sus armas nucleares, convirtiéndolo en combustible MOX. La compañía cree que será posible abrir una planta de producción de MOX en los EE.UU., que se utilizaría exclusivamente para producir MOX a partir de el plutonio militar. Su diseño de la planta MOX P1 se podría adaptar para su utilización en los EE.UU. BN y sus competidores Cogéma y BNFL están dispuestas a ensamblar unidades de prueba de combustible MOX para el Departamento de Energía de los EE.UU. (DOE) en sus plantas europeas de MOX. El DOE no desea, sin embargo, embarcar hacia Europa sus 50.000 kg de plutonio excedentario para la producción de MOX.⁵

4.2 Canadá

La política oficial nuclear siempre ha sido la de no reprocesar el combustible gastado de las plantas nucleares de tipo CANDU. Los costes de fabricación del MOX de los reactores CANDU no resulta muy favorable. Los costes para la fabricación del combustible utilizando el plutonio serían de "entre dos y cinco veces" los costes de la utilización de uranio como combustible. El DOE de los EE.UU., que ordenó el estudio, decidió mantener los datos económicos secreto⁶. No obstante, la empresa Ontario Hydro planea quemar el MOX con plutonio de las armas nucleares estadounidenses y rusas, en sus reactores nucleares. El gobierno canadiense ha "acordado en principio" apoyar la utilización del MOX en los CANDU's, aunque "el reto va a ser cómo se financia, ya que el gobierno no va a subsidiar a Ontario Hydro". Canadá aumentará su cooperación con MOX con Rusia e intentará construir una planta CANDU con MOX en Rusia.⁷

Los EE.UU., en cooperación con Ontario Hydro, desean probar el combustible MOX proveniente del plutonio militar de los EE.UU. en el reactor NRU Laboratorio Chalk River, para ver como se comporta el combustible (ver al capítulo 4.12: EE.UU.)

4.3 Unión Europea

La Dirección General de Energía de la Unión Europea (UE) está financiando algunos estudios relacionados con la liberación de materiales fisibles. LA UE, financia en la actualidad 133 de los 202 proyectos del Centro Internacional de Ciencia y Tecnología (en inglés, International Science and Technology Center –ISTC-), de los que aproximadamente un 10% se relacionan con los combustibles y los desechos nucleares. La UE, Japón, Rusia y los EE.UU. crearon el ITSC en marzo de 1994, para proporcionar nuevos empleos a los científicos nucleares rusos. Un

estudio de 580.000 US\$, el Proyecto N.369, llevado a cabo en el marco del ITSC, se ha hecho sobre “la viabilidad técnica y económica del uso del plutonio de las antiguas armas nucleares y de plutonio civil como combustible, tanto para los FBR’s como para los LWR’s”. El estudio de proyecto N.369 involucra a todos los países europeos que disponen de tecnología de reciclado del plutonio: Belgonucléaire, BNFL, Cogéma y Siemens. EL proyecto considera tres opciones para el uso de las armas que se desmantelen:

- Quemar el MOX en los FBR’s en un solo lugar (denominado la “opción rusa”);
- Quemar el MOX en una combinación de LWR’s existentes o futuros en Rusia (los VVER’s), así como en los FBR’s (la “opción europea”); y
- Quemar MOX en VVER’s, modificados para contener núcleos de 100% MOX (la “opción americana”).

Otro proyecto ISTC, en N.290, está financiado a tres años por Japón y la UE, para estudiar la transformación del plutonio de las armas nucleares desmanteladas en óxido de plutonio y en MOX. Las entidades involucradas son: Siemens, BNDL, el Instituto Europeo de Elementos Transuránicos de Karlsruhe, en Alemania y la Compañía Power Reactor & Nuclear Fuel Development de Japón (PNC)⁸

4.4 Francia

Uso del combustible MOX

EdF (Electricité de France) opera 58 reactores de Agua Presurizada: 20 reactores de 1.300 MW, 34 reactores de 900 MW y cuatro de 1.450 MW. EdF cargó por primera vez el MOX en cantidad experimental, en el PWR Chooz-A, en 1974. El reactor franco-belga se cerró en 1991⁹. Desde 1987, nueve de los reactores de 900 MW se han cargado parcialmente con combustible MOX: St. Laurent des Eaux B1 (1987), St. Laurent B2 (1988), Gravelines 3 y 4 (1989), Dampierre 1 (1990) y Dampierre 2 (1993), Blayais 2 (1994) y Tricastin 4 (June 1996)¹⁰, y otro en Tricastin, en noviembre de 1996¹¹. Desde enero de 1997 otro reactor más se ha cargado con combustible MOX¹²

Sólo se pueden cargar con combustible MOX aquellos reactores que cumplan con los siguientes requisitos:

- El decreto de autorización para la creación de una planta nuclear tiene que mencionar de forma explícita el uso del combustible MOX.
- La recepción, almacenaje y recarga de una instalación de MOX, así como la operación del reactor, requieren de la autorización de los Ministros de Medio Ambiente e Industria, después de oído el Ministro de Asuntos Sociales.¹³

Hay dieciséis reactores con esta categoría: Blayais 1 y 2, Dampierre 1 y 4, Gravelines 1 y 4, St. Laurent des Eaux B1 y B2, y Tricastin 1 a 4. Casi todo el combustible gastado en los reactores franceses está siendo reprocesado. La cantidad anual de plutonio separado es, en estos momentos, de unos 8.000 kg. Se necesitan unos 28 LWR’s de 900 MW para quemar esta cantidad de plutonio como MOX. Ahora sólo 10 LWR’s están quemando MOX. EdF contrató el reprocesamiento de 1.000 toneladas de combustible gastado hasta el 2000¹⁴. Por tanto EdF necesita desesperadamente que se concedan más licencias para el quemado del MOX.

En 1998, los 16 reactores con licencia tienen planificado quemar el combustible MOX. Utilizarán unas 100 toneladas de MOX al año. Con un contenido de plutonio del 5,3%; esto es, de unos 5.300 kg de plutonio por año. De esta forma, EdF nunca logrará cargar todo el plutonio separado en el combustible MOX, para los LWR’s con licencia, puesto que en el futuro se separarán unos 8.500 kg de plutonio anualmente. EdF tiene que cargar 162 toneladas de MOX en los 28 PWR’s de la serie de 900 MW¹⁵. Este es exactamente el número de reactores que EdF desea obtengan la licencia para utilizar MOX a final del siglo. Esto necesita, sin embargo, una mayor capacidad de producción de MOX. Cogéma y Framatome han lanzado un programa de inversiones a tres años en la planta Melox de combustible en Cadarache.¹⁶

La escasa capacidad de producción del combustible MOX, no es el único problema al que Edf se enfrenta. Otra seria limitación para el uso de combustible MOX en la totalidad de las 28 plantas de 900 MW, o incluso en los 20 PWR’s de 1.300 MW, es el hecho de que todavía no se permite el seguimiento de la carga para los reactores con combustible MOX¹⁷. El seguimiento de la carga significa que se permite operar a los reactores a la potencia máxima. Debido a que EdF tiene una gran sobrecapacidad de generación eléctrica, muchos reactores nucleares tienen que funcionar a la máxima potencia, cuando la demanda de electricidad es baja (por la noche, en los fines de semana y en el verano). Los reactores tienen la capacidad de funcionar entre el 20 y el 100% de la potencia máxima. En tanto

no se permita el seguimiento de carga con el combustible MOX y si la mayoría de los PWR's se cargan con el combustible MOX, las plantas tendrán que cerrar por completo, en vez de operar a niveles inferiores. Esto tendría unas desventajas económicas serias, puesto sería muy difícil, si no imposible, seguir la cambiante demanda hora a hora. EL quemado del combustible MOX está ahora limitado a 36 MWD/kg. EdF quiere aumentarlo a 52 MWD/kg¹⁸. Hay pocas posibilidades de que esto se permita en este siglo, especialmente después de que una prueba con el combustible MOX en el reactor de prueba de Cabri terminase con la ruptura del combustible¹⁹.

Reactores regeneradores rápidos

Francia tiene dos regeneradores rápidos: Phenix y Superphenix. El país es el mejor ejemplo del fallo de la tecnología de los FBR's. Estos reactores están cerrados la mayor parte del tiempo, en reparación o funcionando a menos de la mitad de su potencia. El Superphenix no intentará regenerar nunca más, aunque será reconstruido como un reactor de investigación para el quemado de plutonio y su transmutación a otros actínidos.²⁰ Sin embargo el Tribunal Supremo administrativo francés, el Consejo de Estado, anuló en 1994 la licencia de operación a finales de febrero de 1997. El decreto de licencia asignó un "nuevo propósito" de investigación y demostración a la operación del reactor, que estaba fuera de cometido con la aplicación del propietario Nersa 1992 para un nuevo arranque y el dossier se sometió a debate público²¹. Phenix a su vez, se utiliza también para la investigación del quemado del plutonio y para la incineración de actínidos. Para esos dos programas de investigación CEA está dispuesta a continuar las operaciones los próximos diez años.²²

Fabricación del MOX

La fabricación del combustible MOX en la planta de Cadarache ha funcionado desde 1963, principalmente para producir combustible para los FBR's, pero se ha dedicado a la fabricación de combustible MOX para los LWR's desde 1990²³. La planta de Melox en Marcoule, comenzó a funcionar hacia finales de 1994 y tiene una capacidad de producción de 120 tHM/año. La producción de MOX en la planta de Melox sigue estando por debajo de las expectativas. La producción de 1996 fue de 58 toneladas, en vez de las esperadas 85 toneladas²⁴. Melox es propiedad de Cogéma y Framatome.

La compañía francesa eléctrica EdF tiene la política de reprocesar (casi) todo el combustible gastado de sus LWR's. Unas 350 toneladas de combustible gastado, para el que no se han firmado contratos de reprocesamiento, serán almacenadas cada año en las piscinas de refrigeración en los lugares en que se encuentran los reactores. Anteriormente, también se ha reprocesado el combustible gastado de los GGR's. Como el último GGR, el Bugey 1 cerró en 1994, la planta de reprocesamiento de Marcoule, dedicada a reprocesar el combustible gastado de los GGR, cerró en 1997.²⁵

En 1995 Cogéma reprocesó unas 750 toneladas de combustible gastado de EdF en la planta UP2-800 de La Haya. EdF ha pedido a Cogéma que reprocese en el futuro 850 toneladas anuales (la capacidad total de la planta UP2-800). Entonces, la cantidad de plutonio separado será de unos 8.500 kg de plutonio por año. Es muy dudoso que la capacidad de producción completa se alcance cada año.²⁶

Valor cero para el plutonio

EdF utiliza algunos trucos para calcular los costes del combustible MOX y el combustible de uranio enriquecido. Hasta 1995 EdF asignó un valor al contenido de plutonio del combustible MOX, equivalente al uranio enriquecido en el combustible de óxido de uranio. En 1995, EdF cambió a un valor cero para el plutonio en el MOX. De esta forma, la diferencia de precio entre el combustible MOX y el uranio para ce mucho menor de lo que realmente es.

A comienzos de 1995, EdF ha estado cargando todos los costes de reprocesamiento del combustible de óxido de uranio (UO₂)²⁷. De esta forma, el combustible UO₂ se encarece de forma artificial, mientras que al mismo tiempo el combustible MOX parece mucho más barato de lo que realmente es. La comunidad nuclear francesa está haciendo un gran esfuerzo por resolver los problemas actuales con el combustible MOX y para desarrollar mejores y más baratos combustibles MOX. Una cuarta parte de los 400 millones de francos franceses (unos 80 millones de dólares) que anualmente se gastan anualmente en I+D de combustibles nucleares, van a parar al desarrollo del MOX²⁸.

4.5 Alemania

Hasta 1994, la política oficial gubernamental obligaba a las empresas generadoras a reprocesar todo su combustible gastado. Esta obligación se ha cambiado. Se permite el almacenamiento directo por una nueva ley atómica de

mayo de 1994. Desde este cambio, se han cancelado algunos contratos de reprocesamiento. La cancelación de esos contratos de las empresas alemanas HEW y RWE, que totalizan unas 545 toneladas de combustible gastado, disminuirán la cantidad de plutonio separado y por tanto, la cantidad de MOX hecho con el plutonio.²⁹

La resistencia pública al almacenaje temporal y final directo del combustible gastado en Alemania, es sin embargo, tan fuerte que varias compañías comenzaron a negociar contratos con el Reino Unido y Francia para el almacenamiento temporal de combustible alemán gastado en sus plantas de reprocesamiento, con la opción de reprocesar el combustible gastado con posterioridad.³⁰ Con posterioridad la existencia de esos contratos fue negada por Cogéma.³¹

La feroz oposición al transporte Castor de desechos de alto nivel (de radiactividad), que volvían a Gorleben, en Alemania, desde La Haya, en Francia, tendrá probablemente consecuencias sobre las empresas alemanas en lo relativo a la gestión de combustible. En marzo de 1997, esas acciones costaron entre 70 y 100 millones de dólares al gobierno estatal de Baja Sajonia, sólo para la fuerza de 30.000 policías en esa semana³². No se han facilitado los cálculos de los daños a la propiedad debido a sabotajes y ataques con bombas, pero podrían ser de ese orden de magnitud.

Un representante de la empresa dijo que si los transportes futuros del combustible gastado a Gorleben o a otras instalaciones para almacenamiento temporal de desechos de alto nivel, no fuesen posibles, “tenemos que construir o más capacidad de almacenaje en las instalaciones de los reactores nucleares o firmar contratos adicionales de reprocesamiento y almacenaje con BNFL o Cogéma”, después de varios embarques a Gorleben. Siete reactores se enfrentan probablemente a cierres, debido a la falta de almacenamiento, a menos que el combustible gastado se embarque con destino a reprocesadores extranjeros.³³

La planta de Obriheim comenzó a utilizar combustible MOX en fase experimental en 1972. El experimento paró en 1976³⁴. Los reactores Unterweser y Neckarwestheim, recibieron las primeras licencias MOX a finales de los 80. Los reactores Grafenrheinfeld, Grohnde, y Philippsburg 2 las obtuvieron después. Brokdorf, que comenzó a funcionar en 1986, fue el primer reactor que posee una licencia MOX desde el comienzo.

Emsland, Isar 2, and Neckarwestheim 2, que comenzaron a funcionar todas en 1988-89, se han construido con licencia MOX. El primer permiso para los BWR's Gundremmingen B y C se ha dado en 1994.³⁵ No todos ellos se han cargado con MOX todavía. Gundremmingen B+C se cargaron en julio de 1995³⁶. A comienzos de 1997, siete reactores habían utilizado realmente MOX: Brokdorf, Grafenrheinfeld, Grohnde, Neckar 1, Philippsburg 2, Unterweser y Gundremmingen B+C.³⁷

Fabricación del MOX

Siemens tuvo dos plantas de fabricación de MOX en Hanau; una pequeña instalación en funcionamiento para demostraciones y una nueva que casi se llegó a completar para un funcionamiento pleno, con una capacidad anual de 120 toneladas. Pero la instalación para demostraciones se cerró en 1991, al haber un accidente de contaminación. Esta antigua instalación tenía unos problemas de seguridad que no pudieron cumplir con los estándares de seguridad prescritos por la nueva Ley alemana de la Energía Atómica.

La instalación comercial plena de Hanau recibió una licencia parcial en 1987 y se comenzó con su construcción, pero en 1993, el Alto Tribunal Administrativo declaró que tres de las licencias parciales estaban fuera de la ley.³⁸

En abril de 1994 se vio que era imposible obtener la aprobación del gobierno del Estado de Hesse para la operación, por razones económicas y de seguridad. Las empresas decidieron no financiar el acabado de la planta para no tener que pagar los costes de mantenimiento. Siemens finalmente renunció al plan en 1995 y se declaró a sí misma “forzada a abandonar la producción de combustible MOX en Alemania”³⁹. Como resultado, las empresas alemanas se vieron forzadas a buscar nuevos contratos de fabricación del MOX en Francia y Bélgica. Anticipándose a esos contratos, con las empresas alemanas, Cadarache ha invertido más de 100 millones de dólares para mejorar la planta.⁴⁰ En un periodo de 10 años, se fabricarán unas 25 toneladas de combustible MOX anuales (conteniendo un 5%-6% de plutonio)⁴¹ El plutonio de este MOX proviene del combustible gastado alemán, reprocesado en Francia, en La Haya, bajo el acuerdo de base denominado UP3. Los alemanes también contrataron la producción del combustible MOX con Belgonucléaire en su planta de Dessel en Bélgica⁴².

En agosto de 1996, la decisión de un tribunal de Berlín, puede poner fin, sin embargo, a la expansión del uso del MOX en Alemania. El tribunal decidió prohibir el uso de combustible nuclear extranjero en los reactores nucleares

alemanes⁴³. Dado que todas las plantas de fabricación de combustible MOX alemanas están cerradas, todo el MOX tiene que ser importado. Según el tribunal, se tiene que investigar más sobre la posible relación entre la utilización de un nuevo tipo de combustible nuclear y la incidencia de leucemia alrededor de la planta nuclear de Kruemmel, cerca de Hamburgo, antes de que se autorice el uso del nuevo combustible.

4.6 India

La India cargó en octubre de 1995 el combustible MOX hecho localmente en su reactor BWR de Tarapur-2, en contra de los deseos del Departamento de Estado de los EE.UU. Tarapur-2 será recargado con un núcleo que contiene más unidades de combustible MOX que Tarapur-1. En 1994, la India realizó dos cargas de combustible MOX en Tarapur-1, también suministradas por los EE.UU. En los próximos años, los BWR's de Tarapur serán cargados con bastante menos del 30% de combustible MOX. La India lo ha notificado a la AIEA, que controla los reactores de Tarapur, bajo un acuerdo trilateral con India y los EE.UU. No se han tomado decisiones sobre el manejo del combustible MOX gastado. Se espera que la India trate el MOX gastado como un desecho. El MOX gastado estará bajo controles de la AIEA. El reprocesamiento del combustible MOX gastado en una planta de reprocesamiento dedicada a la separación del plutonio del combustible gastado del FBR u otro combustible de plutonio, "contaminaría" la instalación con las medidas de seguridad de la AIEA. Esto es algo que la India intenta evitar. Una planta de reprocesamiento, que está en construcción en Kalpakkam, se utilizará para separar el plutonio suficiente del núcleo inicial de los prototipos de FBR de 500 MW, que la India todavía piensa construir. Dado que los FBR's pueden producir plutonio de grado militar y la India no permitirá las medidas de control de la AIEA en sus FBR's, parece que la India está pensando utilizar sus FBR's para uso militar. Es un claro ejemplo de las posibilidades de proliferación y del uso del combustible MOX.⁴⁴

4.7 Japón

Japón desea dejar abierta la posibilidad de construir FBR's hacia el 2030. Es la justificación para seguir reprocesando y para el uso del plutonio. Y por otro lado, la cantidad de plutonio existente es otro argumento para su uso en los FBR's o en los LWR's. EL fuego del sodio el 8 de diciembre de 1995, en el recién acabado FBR de Monju y los escándalos que rodearon al accidente, parecían haber creado una nueva situación. El accidente de Tokaimura, el 11 de marzo de 1997 y la contaminación de 35 trabajadores⁴⁵, aumentará con toda probabilidad la preocupación pública y la oposición a la política nuclear japonesa. El 20 de enero de 1997, un informe provisional del Subcomité de Energía Nuclear del Comité Asesor para la Energía del Ministerio de Comercio Internacional e Industria (MITI) hacía hincapié en la necesidad de poner a punto la utilización del MOX en los LWR's para compensar la caída del programa de los FBR's y el excedente de plutonio acumulado que alcanza los casi 15.000 kg (a finales de 1995). Este informe se puede calificar como la respuesta oficial a la preocupación pública y es una continuación de la vieja política gubernamental en pro del plutonio.⁴⁶

En febrero, las empresas nucleares niponas acordaron quemar el combustible MOX en 18 LWR's. Cuatro de los 18, dos BWR's y dos PWR's cargarán el MOX hacia el año 2000. Hacia el 2010, los 18 LWR's utilizarán combustible MOX. Esto es un claro síntoma de cambio de política respecto del énfasis anterior en quemar el plutonio en los FBR's. Hasta ahora, el combustible MOX sólo se utiliza en los FBR's de Joyo y Monju y en el ATR (Reactores de pruebas avanzados; Advanced Tests Reactors, en inglés y en adelante, por sus siglas) de Fungen y todavía no en los LWR's. Desde 1966-1993 se han utilizado más de 123 toneladas de combustible MOX.⁴⁸

Fabricación de MOX

Japón tiene cuatro plantas de producción de MOX a pequeña escala:

- Tokai-mura (PFPF), en funcionamiento desde 1991, con una capacidad de 35 toneladas por año de MOX para los LWR's y los ATR's. Debido al hecho de que no hay todavía combustible MOX en los LWR's japoneses la producción de dicho combustible será nula o muy escasa.
- Tokai (PFPF-FBR), en funcionamiento desde 1988, con una capacidad de producción de 4 toneladas anuales para los FBR's.
- Tokai (PFFF), en funcionamiento desde 1972 con una capacidad de producción de nueve toneladas anuales para los ATR's.
- Tokai (PFFF-FBR), en funcionamiento desde 1972 con una capacidad de producción de una tonelada anual para los FBR's.

Hace dos años se descubrió una discrepancia en los libros de contabilidad y en los inventarios físicos de unos 70 kilos de plutonio en la planta de PFPF de MOX. Después de muchas discusiones con la AIEA, Japón acordó una mejora de la planta de 100 millones de dólares. En la actualidad, la discrepancia se ha reducido a menos de 10 kilos. Se supone que el plutonio está acumulado dentro del equipo.⁵⁰

La política de todas las empresas nucleares es la de reprocesar todo su combustible gastado en el Reino Unido, Francia y en las plantas de reprocesamiento japonesas. Desde 1977 existe en funcionamiento una planta de reprocesamiento en Tokaimura, con una capacidad de 210 toneladas anuales y una capacidad promedio de 75 toneladas/año.⁵¹ Una planta de tamaño comercial para el reprocesamiento está en construcción en Rokkasho-Mura, con una capacidad de 800 toneladas de combustible gastado por año. Esta planta se ha retrasado varias veces y los costes estimados se han duplicado hasta los 16.000 millones de dólares. No se espera que entre en funcionamiento hasta 2003.⁵²

En los siguientes 15 años, unos 2.000 kg de plutonio fisible serán devueltos de las plantas europeas de reprocesamiento, en forma de combustible MOX, totalizando 30.000 kg de plutonio fisible separados en Europa.⁵³ Después de años de negociaciones, se hizo público que el MOX será fabricado por la planta belga de Dessel de Belgonucléaire.⁵⁴ El 10 de febrero de 1997, se firmó entre Bélgica, Japón y la Comisión Europea el documento que resolvía el problema para permitir a Belgonucléaire fabricar el MOX. Se detallaban las condiciones bajo las que se podía transportar de La Haya a Dessel una cantidad inicial de plutonio de origen japonés. El intercambio era necesario, porque Japón no tiene acuerdo de cooperación nuclear con Bélgica. Las condiciones están de acuerdo con el marco de no proliferación internacional y supedita el material a las normas de control de Euratom y de la AIEA. Se transferirá una cantidad inicial de plutonio de unos 221 kg de La Haya a Dessel en septiembre de 1997, seguidos de 262 kilos en julio de 1998. Un total de 3.088 kg de uranio se embarcarán de Japón a Dessel para incorporarse como parte del MOX.⁵⁵

4.8 Holanda

Hay un reactor nuclear en funcionamiento: un PWR de 480 MW en Borssele desde 1973, el cual será cerrado en 2004. Había también un BWR de 59 MW en Dodewaard, que entró en funcionamiento el 26 de marzo de 1968 y fue cerrado cuando vencieron los contratos entre La Haya y Sellafield. En total Dodewaard y Borssele producirán 3.850 kg de plutonio. Unos 200 kg de plutonio que se habían vendido al FBR de Kalkar volverán de nuevo a sus dueños originales, puesto que Kalkar nunca entró en funcionamiento y ahora se ha vendido como un luna-park. El plutonio también se ha vendido al FBR Superphenix. Los holandeses son socios en ambos proyectos.⁵⁶

En el pasado, algo de combustible MOX se ha quemado a escala experimental en Dodewaard. En la actualidad ya no se utiliza MOX, ni existen planes para hacerlo en el futuro. Kokx, un portavoz del dueño de Borselee, EPZ, espera poder vender el plutonio separado a clientes extranjeros para hacer MOX en las instalaciones francesas de Melox. No prevé la construcción de una instalación para el almacenaje de plutonio en Holanda.⁵⁷

4.9 Rusia

La antigua URSS tenía la ambición de construir tres nuevos FBR's pero su "sucesor", Rusia, no dispone de los fondos. Los FBR's rusos no utilizaron combustible MOX, sino uranio altamente enriquecido. Rusia no tiene experiencia en la fabricación o uso de MOX en los LWR". Aún así, Minatom (el Ministerio de Energía Atómica) está interesado en construir plantas de fabricación de MOX e Rusia, con asistencia técnica y financiera de otros países. Para el año fiscal 1995 Minatom solicitó 85 millones de US\$ para producir combustible MOX partiendo del plutonio de las armas, pero recibió mucho menos. Rusia tendrá todavía un inventario de plutonio armamentístico de 125.000 kg. El plutonio civil alcanza los 72.000 kg.⁵⁸ La intención era exportar el MOX ruso a los países occidentales. Sin embargo, deben resolverse muchos problemas antes de hacer realidad estos planes. El G-7 aprobó en octubre de 1996 el quemado del plutonio de las armas rusas en el BRD. La administración alemana decidió, sin embargo, no importar ni quemar este plutonio, basándose en criterios de seguridad. Temen sabotajes y ataques terroristas a los transportes de plutonio (unos 60 embarques de plutonio de grado militar por año). Un funcionario dijo: "No hay forma de que nos podamos hacer cargo de este riesgo" Para las empresas alemanas, el uso del plutonio militar ruso como combustible MOX en los reactores alemanes habría sido un primer paso para discutir el envío y el almacenamiento del combustible gastado a Rusia.⁵⁹

La justificación para todos los planes de convertir el plutonio militar ruso en MOX es la prevención de los riesgos de la proliferación. Dado que Rusia es un Estado con armas nucleares, la AIEA no supervisa el plutonio almacenado en Rusia. Se ha informado que las normas de seguridad rusas del plutonio militar son bastante inadecuadas. En los meses anteriores, BNFL, Siemens, Cogéma y Belgonucléaire propusieron planes para construir plantas piloto de MOX en Rusia

Rusia ya tiene plantas piloto para la fabricación de MOX en Mayak y Dimitrovgrad⁶⁰. Casi 5.000 kg de plutonio militar se generarán anualmente de desmantelamiento de armas nucleares rusas.⁶¹

4.10 Suiza

Hay cinco reactores PWR en funcionamiento y dos reactores que utilizan unidades de combustible MOX. El primer reactor en el que se cargó el MOX fue Beznau 1 (1978), al que siguió Beznau 2 en 1984. Belgonucléaire comenzó a fabricar el combustible MOX para Goesgen en 1996.⁶² Pero Goesgen no se cargará con combustible MOX antes de agosto de 1997.⁶³

Se espera que el quemado de MOX continúe en los dos reactores de Beznau hasta el final de sus vidas útiles, hacia el 2005. El combustible MOX gastado se almacenará y no se reprocesará. La planta de Beznau tiene áreas secas, especialmente selladas para el almacenaje del combustible MOX a la espera de ser cargado.⁶⁴

Las plantas suizas esperan recibir 2,2 toneladas de plutonio de sus contratos de reprocesamiento en el año 2003. Y todos sus reactores tienen licencia para cargar combustible MOX⁶⁵

4.11 Reino Unido

En el Reino Unido los dos reactores FBR han sido clausurados. El reactor rápido de Dounreay, de 15 MW se cerró en 1977 y el PFR de 270 MW, también en Dounreay, se cerró en 1994, porque el gobierno dejó de financiarlos. Los gastos de investigación y desarrollo de los FBR's supusieron un total de 4.000 millones de libras de 1960 a 1995.⁶⁶ Esto son unos 6.000 millones de dólares a los tipos de cambio de 1993.

Existen dos plantas de fabricación de MOX para los LWR's en Sellafield: MDF, en funcionamiento desde octubre de 1993, con una capacidad de 8 toneladas por año y una planta de fabricación de combustible MOX a escala industrial, la SMP, con una producción de 120 toneladas por año, para los LWR's, que todavía está en construcción.⁶⁷ El comienzo de su funcionamiento se ha pospuesto y ahora se espera que arranque en 1998.⁶⁸ Sin embargo, el SMP sólo se ha construido para satisfacer las necesidades de reprocesamiento de los clientes extranjeros de BNFL, principalmente de Japón y Alemania. Es de señalar que en los planes del Reino Unido no existen planes de instalaciones para utilizar el MOX en sus reactores.

4.12 EE.UU.

En los EE.UU. el desarrollo y construcción de los FBR's se abandonó antes que en otros países. El último reactor FBR en funcionamiento, el Fermi, quedó clausurado en 1972. El FBR de Clinch River, en construcción desde 1976, se canceló en 1983, como consecuencia del Acta de No Proliferación Nuclear del presidente Carter de 1978. Para entonces, los reactores regeneradores y el reprocesamiento para uso civil, estaban vistos por el gobierno de los EE.UU. como demasiado propensos a la proliferación. Los EE.UU. hicieron una gran presión sobre países como Pakistán, Taiwan, Corea del Sur y Corea del Norte, para que parasen sus programas de reprocesamiento. Sin embargo no fueron tan persistentes como para convencer a los países europeos a que hiciesen lo mismo. LA producción de MOX en los EE.UU. la han llevado a cabo en el pasado Westinghouse, Exxon Nuclear, Gulf United Nuclear Fuels y General Electric. Eran todas instalaciones de tipo laboratorio.⁷⁰

El 14 de enero de 1997, el Secretario de Energía saliente Hazel O'leary firmó una decisión importante, colocando al Departamento de Energía en una doble vía para deshacerse de 50 toneladas de plutonio militar excedente, que salieron de las cabezas nucleares desmontadas. El Departamento de Energía (DOE), buscará dos opciones:

- La vía del MOX, para quemar el exceso de plutonio como combustible MOX en los reactores civiles existentes.
- El vitrificado de plutonio, esto es, su mezcla con el vidrio molido y otros materiales.⁷¹

Los EE.UU. siguen investigando y probando la opción del MOX en los reactores nucleares canadienses, los CANDUs. El Laboratorio Nacional de Los Alamos (LANL) quiere exportar 1,04 kg de plutonio para combustible MOX a al reactor NRU de Chalk River, de la Atomic Energy of Canada Ltd's (AECL). Pero el DOE devolvió la solicitud de licencia autorizando la exportación de plutonio, cuando los grupos contra la proliferación se quejaron de que el Departamento estaba obrando con demasiada anticipación al adelantarse con la exportación y las pruebas, mientras todavía esta revisando las opciones para deshacerse del plutonio⁷². Pero después de la decisión de la doble vía de DOE, renovaron su apuesta y la AECL anunció que las pruebas tendrían lugar durante el verano de 1997.⁷³ Los oponentes se quejan de que el programa de pruebas “está siendo vigilado, sin duda, por otros países interesados en las opciones del plutonio”, incluyendo a Corea del Sur, India, Rumania y Argentina, todos los cuales tienen reactores CANDU y de los que se cree tienen “un programa activo para el desarrollo de armas nucleares”⁷⁴ Dado que el MOX sólo se ha producido en los EE.UU. a pequeña escala, se tendrían que construir nuevas plantas de MOX, o completar la instalación parcialmente construida de Examen de Materiales Combustibles de Hanford, Washington. El FMEF se construyó en 1970 para producir combustible para los FBR's.⁷⁵

Fuentes:

18. Vliet, J.van, D. Haas, Y. Vanderborck, M. Lippens, Cl. Vandenberg (Belgonucleaire); 'MIMAS MOX Fuel Fabrication & Irradiation Performance', June 1996 for the International Seminar on MOX Fuel in the UK. As cited in: 'Fissile Material Disposition & Civil Use Of Plutonium', No2, 3 October 1996
19. Albright, D., F.Berkhout, W.Walker; 'World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium 1992', Oxford University Press, 1993, p.99
20. Schneider, M., 'Le Plutonium Belge et le Programme d'Armement Nucléaire Français', WISE Paris, August 1995, p.7
21. Nuclear Fuel, 18 November 1996: 'Belgonucleaire fabricating MOX fuel for second Swiss reactor', p.13
22. Nuclear Fuel, 15 July 1996: 'Belgonucleaire tells Washington it can best help with weapons Pu disposition', p.16
23. Nuclear Fuel, 11 September 1995: 'CANDU MOX fabrication costs are unfavorable, Germans say', p.8
24. Nuclear Fuel, 24 February 1997: 'CANDU MOX fuel test to go ahead; government won't subsidize program', p.13
25. Nuclear Fuel, 3 June 1996: 'German, French propose competing technology for Russian MOX project', p.11
26. Nuclear Fuel, 6 November 1995: 'French working to improve MOX performance and economics', p.8
27. Nuclear Fuel, 23 September 1996: 'EDF opens another site to MOX use; intends for other units to go MOX', p.14
28. Le Forum Plutonium, La Lettre 1, November 1996; p.1
29. Nuclear Fuel, 10 March 1997: 'Opponents of MOX use in France push to delay license for four Chinon PWRs' p.11
30. Conseil Supérieur de la Sûreté et de l'Information Nucléaires, Réunion du 13 Octobre 1994; 'Points sur les Procédures Relatives à l'Utilisation du Combustible MOX'
31. Nuclear Fuel, 18 November 1996: 'Cogema outlines firm plan to raise MOX production capacity', p.11
32. Le Monde, 24 January 1996: 'EdF veut utiliser 'a plein' la filière MOX'
33. Power in Europe, 6 September 1996: 'France, Nuclear' p.16
34. Nuclear Fuel, 6 November 1995: 'French working to improve MOX performance and economics', p.8
35. Nuclear Fuel, 11 March 1996: 'First Cabri test of high-burn-up MOX fuel doesn't lead to failure', p.11
36. Nuclear Fuel, 10 March 1997: 'EDF, French regulators worried by rupture of MOX fuel test pin', p.11
37. NucNet News Item, 20 December 1996; 'Superphenix Set For Breeder-to-Burner Conversion'
38. Nucleonics Week, 6 March 1997: 'Top French court annuls license for superphenix, ministers battle', p.1
39. La Gazette Nucleaire, January 1997; 'Situation du réacteur Phénix', p.28
40. Revue Generale Nucleaire, January/February 1995: 'Le combustible MOX et l'usine de fabrication Melox'
41. Nuclear Fuel, 10 March 1997: 'Melox plant shy of 1996 production goal', p.11
42. Nuclear Fuel, 28 August 1995: 'EDF's fuel spending increases as reprocessing program takes off', p.6
43. Le Monde, 24 January 1996: 'EdF veut utiliser 'a plein' la filière MOX'
44. Nucleonics Week, 2 November 1995: 'EDF to erase positive Pu value in 1995 accounts', p.14
45. Nuclear Fuel, 6 November 1995, 'French working to improve MOX performance and economics', p.8
46. Nuclear Fuel, 10 April 1995, 'BNFL, NE seal huge reprocessing deal, securing future operations at THORP', p.13
47. Nuclear Fuel, 20 May 1996: 'After Gorleben: more reprocessing or alternative spent fuel storage', p.10
48. Reuter, 25 May 1996: 'French firm denies may store German nuclear waste'
49. WISE Newscommunique [468](#), 14 March 1997: 'High level N-waste shipped to Gorleben, Germany', p.2
50. Nuclear Fuel, 20 May 1996: 'After Gorleben: more reprocessing or alternative spent fuel storage', p.10

51. Nuclear Fuel, 25 March 1996, 'Obrigheim to store spent fuel in lieu of Cogéma reprocessing', p.14
52. Ayukawa, Y., Issue no.2, 3 October 1996: 'Fissile material disposition & civil use of plutonium'
53. Frankfurter Rundschau, 29 July 1995: 'Gundremmingen Erstmal Strom aus MOX'
54. Sailer, M., personal telephone conversation on 26 March 1997
55. Küppers, C., and M. Sailer: 'MOX-Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung', IPPNW, 1994, p.32-33
56. Die Tageszeitung, 8/9 July 1995: 'Aus für Hanauer MOX-Fabrik'
57. Nuclear Fuel, 18 December 1995: 'Siemens shakes up fuel sector, prepares to decommission Hanau', p.9
58. Liberation, 21 January 1996: 'Plutonium Allemand, Poubelle Française'
59. Nuclear Fuel, 29 January 1996: 'EdF expresses little interest in German Pu; 'Enough of own'', p.9
60. Nuclear Fuel, 26 August 1996: 'German court order casts chill over fuel and backfits markets', p.1
61. Nuclear Fuel, 25 September 1995: 'Tarapur-2 join twin BWR in burning PHWR plutonium', p.18
62. WISE Newscommunique [468](#), 14 March 1997: 'Explosion at PNC Tokai reprocessing plant', p.1
63. Nuke Info, January/February 1997, 'MITI's Committee Gives Go-Ahead to MOX Program?', p.1
64. Nucleonics Week, 27 February 1997: 'Japan utilities plan to burn MOX in up to 18 LWRS by 2010', p.3
65. IAEA Bulletin, no 3 1993: 'Nuclear energy and its fuel cycle in Japan: Closing the circle', p.34
66. Nuclear Engineering International, 'World Nuclear Industry Handbook 1996', p.115
67. Nuclear Fuel, 4 November 1996: 'PFPF holdup Pu inventory under 10kg; R&D work to focus on Monju fuel', p.15
68. Nuclear Fuel, 15 January 1996: 'Monju accident putting pressure on Rokkasho-mura work schedule', p.1
69. Nuclear Fuel, 29 January 1996: 'Japan announces three-year delay in Rokkasho reprocessing project', p.7
70. Nuclear Fuel, 9 October 1995: 'Japan could buy and burn 2 MT of Russian Pu per year, Suzuki says', p.8
71. De Morgen, 11 February 1997: 'Belgisch-Japanse MOX-deal is rond'
72. Nuclear Fuel, 24 February 1997: 'Trilateral exchange clears the way for fabrication of Japanese MOX', p.14
73. Greenpeace Nederland: 'Het einde van de plutoniumdroom', 1996, p.6
74. During a telephone conversation with [LAKA](#) on 16 November 1994
75. Nuclear Fuel, 1 January 1996: 'Reprocessing critics say Mayak will die without foreign business', p.11
76. Nucleonics Week, 2 January 1997: 'Investigators say terrorists steer violent German antinuclear protest', p.1
77. Nuclear Fuel, 21 October 1996: 'Joint U.S.-Russian study details various Pu disposition options', p.11
78. Nuclear Fuel, 9 October 1995: 'Japan could buy and burn 2 MT of Russian Pu per year, Suzuki says', p.8
79. Nuclear Fuel, 18 November 1996: 'Belgonucleaire fabricating MOX fuel for second Swiss reactor', p.13
80. Sailer, M., personal telephone conversation on 26 March 1997
81. Nuclear Fuel, 26 February 1996: 'EDF seeking solutions to constraints on MOX use', p.7,8
82. Stratton R. & H. Bay (NOK), 'Experience in the Use of MOX Fuels in the Beznau Plants of NOK', International Seminar on MOX Fuel, June 1996, UK. As cited in 'Fissile Material Disposition & Civil Use Of Plutonium', No2, 3 October 1996
83. Nuclear Europe Worldscan, no.1-2 1993: 'UK plans orderly, scientific withdrawal from fast reactor R&D', p.58
84. Nuclear Engineering International: 'World Nuclear Industry Handbook 1996', p.115
85. Nuclear Fuel, 10 March 1997: 'ComEd set back by its position on European MOX market', p.9
86. Nucleonics Week, 3 November 1983: 'U.S. Breeder establishment picking up the pieces in wake of CRBR's fall', p.8
87. Nuclear Engineering International, January 1984: 'Laying the foundations for plutonium recycle in light water reactors', p.27
88. Nuclear Fuel, 27 January 1997: 'It's official: DOE pursues dual strategy to dispose of excess weapons plutonium', p.15
89. Nucleonics Week, 12 December 1996: 'DOE to renew bid to test MOX at AECL facility this summer', p.7
90. Nuclear Fuel, 24 February 1997: 'CANDU MOX fuel test to go ahead; government won't subsidize program', p.13
91. Nuclear Fuel, 7 October 1996: 'Groups oppose MOX fuel export seek to intervene at NRC', p.5
92. Science for Democratic Action, February 1997: 'Weapons Pu as Reactor Fuel - Technical aspects of the use of weapons'

5. Los mitos del MOX: sólo mentiras

Los principales argumentos que utiliza la industria nuclear¹ para justificar el uso de plutonio como combustible MOX en los LWR's son los siguientes:

1. Refuerza la no proliferación, al reducir la cantidad de plutonio separado y al hacer más difícil el desvío del plutonio.
2. Ahorra uranio al reutilizar plutonio y uranio empobrecido.
3. Elimina el coste de almacenamiento de grandes cantidades de plutonio y ahorra hasta un 10% del coste total del ciclo del combustible.

Estos argumentos se tratarán más adelante. Queda claro que ninguno de estos argumentos tiene mucho de verdad. También veremos los costes del combustible MOX comparado con el combustible de uranio poco enriquecido.

5.1 ¿Una reducción de las cantidades de plutonio?

Existe una discusión creciente en todo el mundo sobre lo que hay que hacer con las cantidades excedentes de plutonio de grado de reactor y grado militar. Se generan anualmente unos 70.000 kg de plutonio en el combustible nuclear de los reactores nucleares.² Unos 30.000 kg del denominado plutonio "civil" de este combustible gastado, se separan anualmente en las plantas de reprocesamiento, que se añaden a las ya grandes cantidades de plutonio separado. Las cantidades de plutonio militar se estiman en unos 300.000 kg y la cantidad de plutonio civil separado es de unos 190.000 kg. De este plutonio, se han reutilizado 49.000 kg en el combustible MOX para los LWR's y los FBR's.³ Rusia y los EE.UU. tienen cada uno unas 50 toneladas de excedentes de plutonio de grado militar y están pensando en reutilizarlos en el combustible nuclear de los LWR's y los CANDUs.

Se manejan varias opciones sobre qué hacer con el plutonio. Una de ellas es quemar el plutonio de grado militar como MOX en los LWR's y en los FBR's. LA otra opción es almacenar el plutonio a largo plazo, sobre o bajo tierra. Para hacer el plutonio menos accesible a potenciales ladrones que puedan utilizarlo para hacer armas nucleares, se puede mezclar con desechos nucleares y/o vitrificarlo antes de almacenarlo.

Uno de los principales argumentos que se utilizan a favor del MOX es que el plutonio acumulado será eliminado. Sin embargo, esto no es cierto ni siquiera teóricamente: para poder eliminar el plutonio, el combustible MOX tiene que ser reprocesado y reutilizado muchas veces y de esta forma, muy despacio, la cantidad de plutonio separado se reduciría. Aparte de ser muy caro, cada vez que el combustible MOX se utiliza y reprocesa, la calidad del plutonio se degrada más y es más difícil utilizarlo como combustible. Es por esto por lo que, en la práctica, el combustible MOX gastado no se reprocesa y sólo se reutiliza una vez.

Técnicamente es posible reprocesar el MOX una vez (aunque todavía no se está haciendo), pero esto crea problemas técnicos y sería excesivamente costoso.⁴ El término "reciclado" es confuso. La degradación del plutonio significa que el porcentaje de isótopos fisibles de plutonio, Pu₂₃₉ y Pu₂₄₁, disminuyen en el plutonio total. El plutonio de grado de reactor contiene alrededor de un 65% de plutonio fisible, plutonio degradado menos del 65%. El combustible MOX estándar contienen aproximadamente un 5% de plutonio fisible y un total de un 8% de plutonio. Dado que el 92% de combustible MOX contiene uranio empobrecido, se crea nuevo plutonio al mismo tiempo que el viejo plutonio se quema. Como consecuencia, después de tres años en el reactor, la cantidad de plutonio en el combustible MOX ha disminuido en apenas un 18%.⁵ Otra limitación de la capacidad del MOX para quemar plutonio, es el hecho de que el porcentaje de MOX en un reactor es del 20-30%. El otro 70-80% del núcleo contiene combustible de uranio enriquecido, en el cual se está formando tanto plutonio nuevo que el quemado del 18% de (reducción del) plutonio del MOX queda más que compensado. El resultado es un aumento neto de plutonio (ver tabla 5.1). El uso del MOX sólo retrasa la producción de plutonio, pero aún así sigue haciendo que los depósitos de plutonio sigan creciendo.

Tabla 5.1 ⁶ Balance del Pu en los PWR's con un 30% de combustible MOX en el núcleo

Al contrario que lo que aduce la industria nuclear de que el uso del combustible MOX quema el plutonio, lo cierto es lo contrario: incluso aunque los reactores nucleares utilizasen el combustible MOX, se produciría más plutonio

del que se quema. Un ejemplo: un reactor PWR de 1.000 MW, con 60 toneladas de combustible. Anualmente se reemplazará un tercio del combustible, unas 20 toneladas. Las nuevas recargas contienen 14 toneladas de combustible (uranio pobremente enriquecido, Low Enriched Uranium, en adelante en inglés y por sus siglas) LEU con uranio enriquecido al 4,2% y seis toneladas de combustible MOX al 7% de plutonio. Después de tres años de carga de MOX, el núcleo contiene 30% (18 toneladas) de combustible MOX y 42 toneladas de combustible LEU y después de cuatro años se alcanza el equilibrio: cada año se descarga tanto combustible MOX como se carga. El combustible LEU contendrá un 1,4% de plutonio y el MOX gastado contendrá un 82% del plutonio original

Año	Recarga	Núcleo completo	Combustible gastado y descargado	Pu entrada (kg)	Pu salida (kg)
0	20 ton LEU	60 ton LEU	20 ton LEU con 200 kg Pu	0	200
1	14 ton LEU	54 ton LEU	20 ton LEU con 200 kg Pu	420	200
	6 ton MOX (420 kg Pu)	6 ton MOX			
2	14 ton LEU	48 ton LEU	20 ton LEU con 200 kg Pu	420	200
	6 ton MOX (420 kg Pu)	12 ton MOX			
3	14 ton LEU	42 ton LEU	20 ton LEU con 200 kg Pu	420	200
	6 ton MOX (420 kg Pu)	18 ton MOX			
4	14 ton LEU	42 ton LEU	14 ton LEU con 196 kg Pu	420	540
	6 ton MOX (420 kg Pu)	18 ton MOX	6 ton MOX con 334 kg Pu		

El balance del plutonio neto después de tres años de carga de MOX es de un incremento de 120 kg de plutonio anuales (en el núcleo: 420 kg de plutonio; fuera del núcleo: 540 kg de Pu) contra un incremento de 200 kg de Pu por año, sin el combustible MOX. Los PWR's con un 30% de combustible MOX producen anualmente unos 80 kg menos de plutonio que los reactores sin MOX, pero todavía producen más plutonio que lo que queman. Parece que utilizar un 20 o un 30% de combustible MOX en los LWR's y el porcentaje de plutonio en el MOX, no representan ninguna diferencia en el quemado o producción de plutonio: después del uso quedará todavía presente un 82% del plutonio en el MOX.

El argumento de que la utilización del MOX evita la proliferación es aparentemente falso. Primero, no se reduce la producción del plutonio separado. Al contrario, el uso de MOX es la principal justificación para continuar reprocesando el combustible gastado y la producción de plutonio separado. Sin el uso del MOX desaparece un importante argumento para el reprocesado, por parte de la industria nuclear. La conclusión es que el reprocesado y la producción de plutonio separado es estimulada por el uso de MOX. Si la industria nuclear es verdaderamente consciente de los peligros de plutonio y están dispuestos a hacer algo por ello, ¿deberían dejar de producirlo!

En segundo lugar, los peligros de la proliferación aumentan con el uso del MOX: muchos miles de kg de plutonio se transportan por vía aérea, en barco y por carretera y se almacenan y fabrican en muchos sitios. Los peligros del desvío aumentan de esta forma. El plutonio del MOX se puede separar más fácilmente del uranio en el combustible fresco del MOX que en el gastado y desviarse con relativa facilidad para la construcción de bombas nucleares ordinarias.⁷

5.2 ¿Ahorra uranio?

Hace unos 30 años, se creía que el uranio pronto escasearía y se encarecería. Hoy hay un exceso de suministro de uranio y los precios son bajos. Se espera que el suministro de uranio sea abundante en los próximos años y los precios disminuyan aún más.⁸

Ya no existe la necesidad de utilizar uranio por parte de la industria nuclear, de la forma más eficiente posible. Se

afirma que el uso del MOX puede ahorrar alrededor de un 15% de uranio mediante el reciclado del plutonio y del uranio empobrecido. En este momento, la cantidad de combustible anual de uranio enriquecido de todos los reactores nucleares es de unas 7.000 toneladas. La cantidad de combustible MOX utilizada en 1996 fue de unas 125 toneladas o del 1,8% de todo el combustible cargado en los LWR's.

En 2000 cuando se calcula que se utilizarán unas 350 toneladas de MOX, el porcentaje de combustible MOX en todo el combustible cargado en los LWR's será de alrededor del 5%. Esto no es un ahorro sustancial de uranio.

Si la industria estuviese realmente interesada en hacer un mejor uso del uranio (por supuesto dejarían de utilizarlo, pero aparte de esto), deberían poner más atención en

- Reducir las recolecciones de cola (Tail Assays) durante el enriquecimiento del uranio.
- Un mayor quemado del combustible.

5.2.1 Recolecciones de cola menores

El uranio natural contiene un 0,7% de U_{235} fisible. Los LWR's utilizan uranio enriquecido hasta un 4,5% de U_{235} . En los últimos diez años, el porcentaje de U_{235} que se deja en el uranio empobrecido, después del enriquecimiento, el denominado recolección de cola, ha aumentado de un 0,25% a un 0,35% de U_{235} . Esto significa que se necesita un 25% más de uranio natural para producir la misma cantidad de uranio enriquecido.⁹ La elección de unas mayores recolecciones de cola está condicionada por razones económicas: los bajos precios del uranio y los altos precios del enriquecimiento hacen que sea más barato utilizar más uranio y hacer un menor trabajo de enriquecimiento.

Si la industria nuclear estuviese realmente preocupada por una escasez de uranio, en vez de en ganar dinero, podría ahorrar un 25% de uranio, podría ahorrarse un 25% del uranio simplemente reduciendo las recolecciones de cola del 0,35% al 0,25% de U_{235} .

Este ahorro del 25% es cinco veces mayor que la cantidad de uranio que se ahorró con el uso que se espera del MOX en el año 2000. Si en el futuro los precios del uranio aumentasen y se temiese una escasez de uranio, otra reducción más de la recolección de cola al 0,2% de U_{235} , ahorraría otro 10% del uranio natural.

5.2.2 Un mayor quemado

El quemado se define como la cantidad de energía que ha producido el combustible descargado. Se expresa en Megavatios por Día (MegaWattsDays, en inglés y en adelante por sus siglas MWD), en vez de la unidad más usual Mwhora o MWh. Un MWD son 24 MWh. Para alcanzar un mayor quemado, se aumenta el nivel de enriquecimiento de un 3,1% a un 4% o más de U_{235} .

Hace unos diez años, la mayoría de las plantas nucleares LWR's alcanzaron un nivel de quemado de unos 25-30 MWD por kilo de combustible (MWD/kg) Hoy muchas alcanzan un nivel del quemado de 40-50 MWD/kg de combustible¹⁰. Se espera que la mayoría de ellas alcancen los 50-60 MWD/kg de combustible en los próximos diez años.¹¹ El nivel de 60 MWD/kg de combustible se ve como el límite para el combustible en las actuales LWR's. En el Departamento de Energía esperan incluso desarrollar un combustible avanzado, que alcance un nivel de quemado de 100 MWD/kg, con un nivel de enriquecimiento de al menos un 5%¹²

El hecho de que casi todas las instalaciones nucleares hagan uso de esta posibilidad viene dado por los beneficios económicos y por el hecho de que la electricidad nuclear sea más cara que la de otros productores de electricidad. Por ejemplo, en Holanda, el propietario del PWR de Borssele solicitó un nivel de quemado superior, de 33 MWD/kg a 53 MWD/kg y un enriquecimiento más alto, del 3,3% al 4% de U_{235} . Lo justificaba por los "ahorros significativos en los costes del combustible nuclear" El aumento del nivel de quemado producía un ahorro de un 50% del uranio, pero el mayor enriquecimiento supone una utilización de un 30% más de uranio. El resultado neto es de un 20% de ahorro en el uso del uranio.

Los problemas de un mayor nivel de quemado

La utilización de un combustible de mayor nivel de quemado ha dado problemas en muchos reactores. Los principales problemas son:

- Mayor corrosión de las barras de combustible por la mayor irradiación.

- Deformación (arqueado y abultamiento) de las barras de combustible. Esto produce el pegado de las barras de control cuando se bajan al núcleo para regular la reacción en cadena.
- Una mayor liberación de gases, tales como el tritio.
- Una mayor necesidad de enfriamiento y de tiempo de almacenamiento del combustible gastado.
- Dificultades con el reprocesamiento y
- Dificultades con la reutilización del plutonio, separado del combustible que ha tenido un alto nivel de quemado en el combustible MOX.¹⁴

5.3 ¿Ahorra el MOX coste de almacenamiento?

La industria nuclear mantiene la afirmación de que

- Las cantidades de desechos nucleares son menores cuando se reutiliza el plutonio.
- Que el uranio empobrecido también se reutiliza en el MOX y ahorra incluso más uranio natural.
- Que cuanto más energía se extraiga de cada kg de uranio, menos mineral de uranio se tiene que extraer y menos impacto medioambiental habrá y
- Que el plutonio es el responsable de la necesidad de almacenamientos a largo plazo del combustible gastado. Si el plutonio se separa del combustible gastado, el desecho restante no tiene que ser almacenado durante tanto tiempo.

Más problemas, no menos.

Como ya hemos visto en el capítulo 5.1, el combustible MOX gastado no se va a reprocesar. El resultado es que el uso del combustible MOX en vez de uranio, hace que, a medida que pasa el tiempo, el uranio reprocesado y gastado se va reemplazando gradualmente por combustible MOX gastado en los pocos países en los que se utiliza el MOX. Esto tendrá consecuencias para las instalaciones de almacenamiento. El combustible MOX gastado también contiene una cantidad mucho mayor de isótopos transuránicos: cuatro veces más de Neptunio-237 (con una vida media de 2,2 millones de años); nueve veces más Americio-241 (con una vida media de 430 años) y que se transforma en Neptunio-237; entre 15 y 28 veces más de Curio-242 (altamente radiactivo) y 22 veces más de Curio-244 (vida media de 18 años), que transmuta en plutonio-240 (vida media de 6.450 años)¹⁵

Después de 10 años, la generación de calor del combustible MOX gastado es dos veces mayor que la del combustible gastado de uranio. A los 100 años, es incluso tres veces mayor.¹⁶

Dada la alta vida media del Pu₂₄₂ (380.000 años) y del Neptunio-237 (2,14 millones de años) el almacenamiento del MOX gastado es mucho más complicado que el del combustible normal gastado. En vez de una solución parcial al problema de los desechos de alto nivel (de radiactividad), el MOX crea problemas incluso mayores:

- Necesita una refrigeración mayor y más duradera.
- Tiene que almacenarse durante mucho más tiempo.
- Es más peligrosa y
- Los costes son, por consiguiente, mayores.

5.4 Los costes del combustible MOX

Además de las desventajas citadas anteriormente, existe una desventaja adicional de coste, tanto para el plutonio civil como para el militar. En la mayoría de los cálculos del combustible MOX, el plutonio se ve como una fuente gratuita de energía. Esto no es, sin embargo, económicamente correcto. Se tiene que contabilizar el coste de reprocesado para producir el plutonio. El primer propósito del reprocesado ha sido siempre la separación de plutonio. En el caso del reprocesamiento civil, el plutonio se pensó inicialmente para su uso como MOX en los FBR's. Cuando la opción de los FBR's falló, la política del plutonio cambió para su reutilización en los LWR's. El único propósito del reprocesado militar era para la producción de plutonio para las armas nucleares. Si el excedente del plutonio militar se utiliza como MOX en los PWR's, entra dentro de la lógica incorporar al menos una parte de los costes históricos de producción en el coste del combustible MOX.

Consideraremos los costes excluyendo e incluyendo los costes de reprocesamiento.

En el primer caso (excluyendo los costes de reprocesamiento), la mayoría de los cálculos muestran unos costes mayores para el combustible MOX que para el combustible de óxido de uranio enriquecido. El combustible MOX, según el Instituto Alemán de Economía Energética (EWI), cuesta 2.614 US\$/kg. Esto es cuatro veces más caro que el uranio estándar, que cuesta unos 523 US\$/kg.¹⁷ “Los precios mundiales” del combustible MOX de plutonio civil son de 2.587 a 3.571 US\$/kg, según el EWI¹⁸. Esto es de cinco a once veces el coste del óxido de uranio. Otro estudio menciona el coste del combustible MOX a 1.500 US\$/kg, comparado con los 275 US\$/kg para el combustible del óxido de uranio enriquecido.¹⁹

Las razones para ello son la menor dimensión de las plantas de fabricación del combustible MOX; las medidas extras necesarias por el plutonio, mucho más radiactivo, tales como unas pantallas mucho más pesadas para proteger a los trabajadores en la planta y evitar la criticidad. Las instalaciones en los EE.UU. sólo desean considerar el uso del MOX militar, si los mayores costes del combustible MOX las paga el gobierno.²⁰ Las instalaciones alemanas también desean que los extra costes de la utilización del MOX, si llegan a usar el MOX hecho con el excedente del plutonio de las armas nucleares rusas, les sea compensado por los gobiernos de los EE.UU. y europeos.²¹

Incluso sin incluir el coste de producción del plutonio, la conversión de 50.000 kg de plutonio de las armas en combustible MOX cuesta entre 1 y 5.000 millones de US\$; esto es, entre 20 y 100.000 US\$/kg de combustible MOX.²² Cuando se incluyen los costes de reprocesamiento, los precios resultantes de los combustibles MOX son claramente muy superiores. Esto no es una sorpresa, ya que el reprocesado es muy costoso. Los precios actuales del reprocesado del combustible MOX gastado oscilan entre los 1.569²³ y los 1.000 US\$/kg de combustible gastado²⁴. En este momento, el combustible MOX estándar contiene un 8% de plutonio. Para conseguir 1 kg de combustible MOX con el 8% de plutonio se tienen que reprocesar 8 kilos de combustible de LWR gastado (que contienen un 1% de plutonio). El coste de producción de plutonio para combustible MOX está, por tanto, alrededor de los 8.000 US\$/kg. Cuando se añaden los extracostes de la fabricación del combustible MOX, de al menos 1.500 US\$/kg, el precio del combustible MOX es de alrededor de 9.500 US\$/kg

Conclusiones: el combustible MOX “civil” cuesta entre 2 y 11 veces más que el combustible de óxido de uranio. El combustible MOX “militar” cuesta entre 8,7 y 30 veces más que el combustible de óxido de uranio estándar. Si se incluyen los costes de reprocesamiento, el MOX es más de 30 veces más caro.

La conclusión tiene que ser que el reprocesamiento del combustible gastado y la reutilización del plutonio como MOX no tienen las ventajas que el lobby nuclear nos cuenta. El combustible MOX supone una cantidad adicional de problemas y riesgos que se presentan en el siguiente capítulo.

Fuentes:

1. For example BNFL in: Nuclear Europe Worldscan, no 7-8, 1994: 'BNFL's front-end fuel cycle services', p.92
2. The Bulletin of Atomic Scientists, May/June 1994: 'Dangerous Surplus', p.39
3. Energy and Security, No.2 1997; 'World Civilian plutonium inventories', p.14
4. Pansters, D., 'Opwerking en hergebruik van plutonium', Technical University Eindhoven, August 1996, p.22
5. Pansters, D., 'Opwerking en hergebruik van plutonium', Technical University Eindhoven, August 1996, p.21
6. Pansters, D., 'Opwerking en hergebruik van plutonium', Technical University Eindhoven, August 1996, Appendix C.2, p.39
7. Nuclear Free Local Authorities Bulletin, March 1997: 'Hazards of Mixed Oxide fuel', p.8
8. Nuclear Fuel, 24 February 1997: 'U prices continue downward drift', p.17
9. Küppers, C. and M. Sailer, 1993: 'MOX Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung', IPPNW, p.15
10. Albright, D., F. Berkhout, W. Walker, 'Plutonium and Highly Enriched Uranium 1992, World Inventories, Capabilities and Policies', Oxford University Press/SIPRI, 1993, p.75
11. Nuclear Energy Agency, '1995 Annual Report', Paris, 1996, p.26
12. Nuclear Fuel, 24 February 1997: 'DOE program aimed at stretching fuel burnups to 100,000 MWD/MT', p.3
13. Ministry of Economic Affairs, 8 August 1996: 'Ontwerp-beschikking Kernenergiecentrale Borssele', Den Haag, p.2
14. WISE Newscommunique [468](#), 14 March 1997: 'Higher Burnup: Bigger Problems', p.6
15. WISE Newscommunique [399](#), 15 October 1993: 'MOX and the Belgian Nuclear Industry', p.7

16. Küpper, C. and M. Sailer, 'MOX-Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung', IPPNW, 1994, p.59
17. Nuclear Fuel, 16 January 1995: 'German utility consultant advises scuttling post-baseload contracts', p.3
18. Nuclear Fuel, 5 June 1995, 'Russian MOX plan would subsidize excess cost of MOX fuel cycle', p.5,6
19. Nuclear Europe Worldscan, 5/6 1994: 'The plutonium challenge', p.50
20. Nuclear Fuel, 16 December 1996: 'MOX: SOP to a dying industry or efficient disposal method?', p.6
21. Nuclear Fuel, 24 October 1994: 'Bonn pushing for weapons Pu role in wake of smuggling escapades', p.9
22. The Bulletin of Atomic Scientists, May/June 1994: 'Dangerous Surplus', p.39
23. Nuclear Fuel, 16 January 1995: 'German utility consultant advises scuttling post-baseload contracts', p.3
24. Nuclear Fuel, 1 January 1996: 'RT-1 operation faces cost crisis, uncertain future demand schedule', p.10

6. Proliferación y problemas de seguridad en el uso del MOX

Las crecientes cantidades de plutonio que se producen, transportan, queman en reactores y se almacenan dan lugar a crecientes riesgos y peligros. En este capítulo les echaremos un vistazo.

6.1 Proliferación

6.1.1 No hay inspección en los Estados con armas nucleares

No suele ser conocido que las plantas de reprocesamiento y las plantas de combustible MOX en Francia e Inglaterra no están supervisadas por la AIEA, porque son Estados con armas nucleares (Nuclear Weapons States, en inglés y en adelante, por sus siglas NWS's). Según el discriminatorio Tratado de No Proliferación, los NWS's están exentos de las inspecciones de la AIEA. En 1995, sólo una instalación nuclear francesa (una instalación para el almacenamiento en La Haya) se sometió a la supervisión de la AIEA y en Inglaterra cuatro instalaciones nucleares (dos de almacenamiento en Sellafield y dos plantas de enriquecimiento de Urenco en Capenhurst)¹. Estas instalaciones fueron ofrecidas voluntariamente por estos países a las inspecciones.

Sólo las barras de combustible gastado de los Estados sin armas nucleares que existen en los lugares de almacenamiento en La Haya y Sellafield están sometidas a las inspecciones de la AIEA: cuentan el número de barras que cuando llegan y cuando salen para ser reprocesadas y eso es todo. En la Unión Europea, la AIEA solo supervisa si los libros de los inspectores de Euratom han sido modificados. Esta falta de control en las plantas de reprocesamiento y en las de combustible MOX podrían tener como consecuencia que el plutonio de los Estados sin armas nucleares terminasen en las armas (nucleares) de Francia o el Reino Unido; por ejemplo, el plutonio japonés en las armas nucleares francesas.² Queda claro que es bastante difícil desviar el plutonio, que se encuentra dentro del combustible gastado altamente radiactivo, porque hay que reprocesarlo antes de que se pueda utilizar en las armas nucleares. Esto cambia de forma dramática cuando ya se ha separado el plutonio de combustible gastado en las plantas de reprocesamiento. Los riesgos de proliferación del plutonio separado, sea como óxido de plutonio o como MOX, son, por tanto, mucho mayores que los del plutonio dentro del combustible gastado. La industria nuclear asegura que no existe riesgo de proliferación y lo basan en dos principales argumentos:

- “El plutonio de grado de reactor no puede utilizarse para hacer armas nucleares”. (Ver el capítulo 2.2.)
- “El control de la AIEA y del Euratom evitarán cualquier desvío de materiales nucleares”

Pero ¿qué sucede si el control no existe? La mayoría de las instalaciones nucleares están dentro de los Estados con armas nucleares, en los que la AIEA no tiene el derecho de inspección de ninguna instalación, si no se ofrece voluntariamente. En los cinco NWS's en 1995 se ofrecieron voluntariamente 11 instalaciones: un reactor nuclear y un reactor de investigación en China; dos plantas de enriquecimiento en el Reino Unido; siete instalaciones de almacenamiento (dos en el Reino Unido; uno en Francia; uno en Rusia y tres en los EE.UU.)³ Por tanto, el intento de ofrecer seguridad por parte de la industria nuclear, no resulta muy convincente.

Mientras tanto, ya se ha informado del primer caso de contrabando de MOX. El 10 de agosto de 1994, en el aeropuerto de Munich, en Alemania, se confiscaron 560 gramos de polvo de MOX. El análisis mostró que 350 gramos (o el 62%) eran plutonio y el 87% de él era Pu₂₃₉.⁴

6.1.2 Material sin contabilizar

MUF es la abreviatura (en inglés) de la diferencia entre la cantidad de material nuclear en (parte de) una instalación o contenedor que se calcula y que se mide. La diferencia puede ser positiva o negativa. La AIEA sólo considera la cantidad de MUF importante si es igual o superior a una Cantidad Significativa (Significant Quantity en inglés y en adelante en sus siglas SQ). Esta es una visión miope, porque puede ser posible en un periodo largo, que varias cantidades de materiales nucleares sensibles y que sean inferiores a un SQ, se vayan acumulando como un MUF. Pero lo más importante: si existe alguna incertidumbre sobre las medidas exactas, la AIEA puede aceptar un MUF mucho mayor que un SQ⁵. En las plantas de reprocesamiento a gran escala y en las de combustible MOX en

Inglaterra y Francia, es posible que se pueda perder un 3,3% del plutonio sin que salte ninguna alarma.⁶

En el trasvase de 1.600 toneladas de combustible gastado y 16.000 kg de plutonio anuales, como es el caso de las plantas de reprocesamiento UP-2 y UP-3 de La Haya, esto significa que se puede perder cada año unos 528 kg de plutonio sin que nadie se de cuenta. Como el número de reactores que utilizan el combustible MOX aumenta, aumenta también el número de lugares de almacenamiento de combustible MOX nuevo y gastado.

Un ejemplo de las importantes cantidades de plutonio que se pueden perder es la planta de PFPF MOX de Japón, en la que se contabilizaron 70 kg de plutonio como MUF en 1994. Comparado con el movimiento total de la planta, que es de 5 toneladas de MOX anuales, que equivalen a 300 kg de plutonio anuales, la anterior parece una gran cantidad de MUF: más del 23%. Pero fue sólo después que el Instituto de Control Nuclear basado en Washington lo hiciese notar públicamente, cuando la AIEA anunció que se estaba tomando el asunto seriamente. Dos años más tarde, la cantidad de MUF se redujo a unos 10 kg de plutonio.⁷

6.1.3 Más material nuclear; menos control

El presupuesto para el control de la AIEA no ha aumentado nada en los 10 últimos años. En 1995 el presupuesto para los gastos en control normales fue de unos escasos 87,56 millones de US\$, demasiado pequeño para vigilar de forma efectiva todas las instalaciones nucleares. Ya en 1985, sólo se llevaron a cabo 514 inspecciones de las 887 instalaciones nucleares sometidas a control. En 168 de esas instalaciones con bastante material nuclear se completó la inspección. Sólo fue posible llevar a cabo el 72,9% de las inspecciones de rutina planificadas (que se habían anunciado de antemano).⁸ La falta de crecimiento del presupuesto desde 1985 ha conducido a una mayor reducción en el cumplimiento de los objetivos de inspección. Como dijo Bruno Pellaud, director general adjunto de la división de inspecciones de la AIEA: “*Debe resaltarse que si los presupuestos siguen sin aumentar, la Agencia no podrá hacerse cargo de los nuevos programas y las exigencias que se le suponen*”⁹ A mismo tiempo, las cantidades de materiales nucleares bajo supervisión de la AIEA han aumentado enormemente. Expresadas en Cantidades Significativas (SQ’s) el incremento fue de tres veces: de 31.116 SQ en 1985¹⁰ a 90.291 en 1995.¹¹ El gasto anual en control de un SQ descendió de 3.000 US\$ en 1980 a 1.000 US\$ por SQ en 1995¹². El director general de la AIEA, Hans Blix, dijo en septiembre de 1991 que el sistema de control tendría que reforzarse tres veces para hacer frente de forma efectiva a los casos sospechosos, como el de Sudáfrica, Irak y Corea del Norte.¹³

Forzados por la falta de fondos, la tendencia es a reducir el número de inspecciones de la AIEA en las instalaciones nucleares.¹⁴ En los países de la Unión Europea (UE), los esfuerzos de inspección se han reducido en gran manera, después de la introducción del denominado “Nuevo Sistema de Asociación” (New Partnership Approach, en inglés y en adelante por sus siglas NPA) en 1992, entre la AIEA y Euratom. En una planta de fabricación de combustible la presencia continua de inspectores será reemplazada por la presencia unos cuatro o cinco días al mes¹⁵. En la UE, la IAEA es cada vez más y más dependiente de la información de los inspectores de Euratom. Para conseguir los mayores ahorros posibles, se ha frenado la duplicación de inspectores: anteriormente, tanto Euratom como la AIEA inspeccionaban las instalaciones nucleares y en la actualidad sólo hay uno de ellos, mayormente, de Euratom.

Tabla 6.1 Cantidades Significativas y objetivos temporales¹⁶

Categoría	Tipo	Cantidades Significativas	Objetivos temporales
Material de uso directo	Plutonio*	8 kg	1 mes
	Uranio altamente enriquecido	25 kg U-235	1 mes (nuevo) 3 meses (gastado)
	Pu en el combustible gastado	8 kg	3 meses
	Uranio-233	8 kg	1 mes
Material de uso indirecto	Uranio pobremente enriquecido**	75 kg U-235	12 meses
	Torio	20 Ton	12 meses

* Para Pu que contiene menos del 80% de Pu-238

** Menos del 20% de U-235, incluye uranio natural y empobrecido

El resultado de una reducción de tres veces en los gastos por SQ es que el objetivo de los controles está en serio peligro. El principal objetivo de los controles de la AIEA es la “detección a tiempo de las desviaciones de cantidades significativas de materiales nucleares de las actividades pacíficas a la fabricación de armas nucleares”.¹⁷ Tanto los objetivos de la detección a tiempo como la del desvío de SQ en las plantas de reprocesamiento del combustible MOX a escala industrial, ya no son alcanzables¹⁸. Otra razón de la insuficiencia del sistema de vigilancia es el hecho de que tanto el material nuclear civil como el militar y las instalaciones en los Estados con armas nucleares, no están cubiertos por los controles de la AIEA. Por ejemplo, en 1992, sólo el 28% de los inventarios de plutonio mundiales y menos del 1% de las cantidades mundiales de uranio altamente enriquecido estuvieron bajo el control de la AIEA¹⁹. La AIEA controla menos de 25% de todo el plutonio. La misma situación es aplicable al uranio altamente enriquecido.

Los peligros de la proliferación se incrementarán cuando las reservas acumuladas del plutonio de grado militar en los EE.UU. y Rusia se utilicen como combustible MOX en los reactores comerciales, como se está planificando: la AIEA no tiene el derecho de inspección de las instalaciones y los lugares en los que el plutonio militar se maneja o almacena. Dado el deteriorado estado de la seguridad y el control en Rusia, un futuro así tiene que generar aprensión. Durante el almacenaje, el manejo y el transporte del plutonio especialmente separado, los riesgos de secuestro o robo son reales. El plutonio presente en el combustible MOX pueden ser fácilmente separados y utilizados para producir bombas nucleares.

Nunca antes se habían acumulado, manejado y transportado cantidades tan ingentes de plutonio. El reprocesamiento a gran escala y el reciclaje del plutonio tendrán el efecto de normalizar la utilización de plutonio. Cada país puede arrancar ahora un programa de plutonio y justificarlo simplemente señalando a los demás. Este efecto se ve ya claramente con los vecinos de Japón: las dos Coreas, China y Taiwan. Ellos temen que el masivo programa del plutonio japonés, supone una proliferación latente de fondo. Sienten que se ven forzados a arrancar sus propios programas de plutonio. Especialmente si los EE.UU. se deciden a llevar a cabo sus propios planes para utilizar el plutonio en los reactores comerciales, la Casa Blanca puede descubrir que es imposible convencer a otros países para que no utilicen el plutonio en sus reactores. La sociedad del plutonio real ha comenzado.

6.2 Seguridad

Los reactores de agua ligera están diseñados para utilizar uranio poco enriquecido. Los reactores necesitan ser adaptados para utilizar el MOX. Hay problemas específicos relacionados con la seguridad del funcionamiento de las instalaciones y reactores que utilizan el MOX. Los accidentes tendrán más impacto debido a la mayor (cantidad de) actínidos.

6.2.1 La degradación del Pu y del Americio-241

El combustible MOX contiene, además de uranio empobrecido, un 4,8% de plutonio. Este se llama plutonio de primera generación, porque se ha reprocesado sólo una vez. El plutonio dentro del combustible MOX se llama de segunda generación. La concentración de plutonio en el combustible MOX se tiene que incrementar a un 8-10% en el futuro para equivaler a un 3,5% de uranio enriquecido. Esto se debe a que el alto nivel de quemado actual de combustible gastado (del que el plutonio reprocesado será utilizado para el MOX) contiene plutonio degradado. Esto significa que el plutonio contiene menos Pu₂₃₉ y Pu₂₄₁ fisible y más isótopos no fisibles Pu₂₄₀ y Pu₂₄₂. Cuanto mayor sea el porcentaje de isótopos de plutonio no fisibles, menos adecuado será para la producción de electricidad.

Otro problema será la presencia de Americio-241 (Am₂₄₁) que es un producto transmutado del Pu₂₄₁. Dada la relativamente baja vida media del Pu₂₄₁ (13,2 años), la cantidad de Am₂₄₁ aumenta rápidamente. La presencia de Am₂₄₁ en el plutonio lo hace incluso más peligroso y menos eficaz. El Am₂₄₁ es un fuerte emisor de (partículas) alfa y gamma. Por tanto, en la fabricación del combustible MOX se debe mantener la cantidad de Am₂₄₁ tan baja como sea posible. El plutonio que se utiliza para la fabricación de MOX no puede tener más de tres años, por este aumento de Americio. El plutonio de más de tres años tiene que ser “limpiado de nuevo”, esto es, reprocesado, para separar el Americio del plutonio antes de que se pueda utilizar. Esto es una operación muy costosa²¹. La planta belga PO de combustible MOX puede trabajar con plutonio que contenga hasta un 1,7% de Am₂₄₁ de promedio; la planta francesa de combustible MOX de Cadarache está limitada a un 1%²². La nueva planta de Melox tiene licencia para funcionar hasta con un 3% de Am₂₄₁.²³ El combustible MOX se tiene que utilizar rápidamente. Después de cinco meses, el combustible ha perdido el 3% de su durabilidad.²⁴

6.2.2 Galio

Últimamente se ha descubierto un nuevo problema en relación con la presencia de galio en el plutonio militar ruso y estadounidense. El galio se debe retirar del plutonio antes de que se pueda fabricar el combustible MOX²⁵. El galio causa problemas durante la producción del combustible MOX, el uso en los reactores y su retirada del combustible MOX gastado. El galio ataca al zirconio, presente en las barras de combustible y por tanto, las deteriora. Esto conduce a la migración de los productos de la fisión en el combustible gastado y a serios problemas con los desechos.²⁶

6.2.3 Peligros para los trabajadores

Los trabajadores de una planta de fabricación de combustible MOX tienen que protegerse contra los mayores niveles de radiación de MOX. Se ha pensado un programa de inversiones de 40 millones de US\$ para la planta PO de MOX en Dessel. Es necesario para conseguir que la planta respete las más rigurosas normas de exposición de los trabajadores, según los límites del ICRP-60, que se aprobaron en una ley belga del 2000, a pesar de la degradación anticipada en la calidad del plutonio separado. Esto significa, entre otras cosas, una mayor automatización y la introducción masiva de escudos neutrónicos en los sitios de trabajo.²⁷

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (The International Commission on Radiological Protection, en inglés y en adelante, por sus siglas ICRP) de la que no se puede decir que sea muy crítica con la energía nuclear, ha fijado una estándar para la exposición a la radiación en el trabajo de 100 mSv a lo largo de cinco años, con un máximo de 50 mSv en cualquiera de los años. Si esto se interpreta comparando a los trabajadores en una planta de fabricación de uranio con los de una planta de fabricación de MOX, los estándares para la protección contra la inhalación son aproximadamente dos millones de veces más estrictos en el procesamiento de plutonio que en el de uranio.²⁸

6.2.4 Accidentes en las plantas de fabricación de MOX

Han sucedido accidentes en las plantas de fabricación de MOX. En junio de 1991, el búnker de almacenamiento del combustible MOX en Hanau, Alemania, se contaminó con MOX. Ocurrió después de la ruptura de una lámina de metal del empaquetado del contenedor en el curso de un proceso de transporte entre plantas. Cuatro trabajadores quedaron expuestos al plutonio²⁹. El accidente fue la principal razón de que se cerrase la planta de fabricación de Hanau.

En noviembre de 1992, una barra de combustible se rompió en un error de manipulación y se liberó MOX durante el montaje de las barras de combustible MOX para los ensamblajes de combustible en la fabricación del mismo en la instalación aneja a la del MOX en Dessel, Bélgica. En caso de un accidente de este tipo, si se han de cumplir las recomendaciones ICRP para la exposición pública general, sólo se puede liberar al ambiente alrededor de un miligramo de plutonio en una instalación MOX. Como comparación, en una instalación de fabricación de uranio, se podrían liberar 2 kg (2.000.000 de miligramos) de uranio, para la misma exposición a la radiación. Un miligramo de plutonio se puede liberar en pocos pequeños incidentes.³⁰

6.2.5 El comportamiento del combustible MOX en el reactor

Todos los reactores de agua pesada están diseñados para utilizar combustible de uranio. Por tanto las unidades de combustible MOX tienen que asimilarse al funcionamiento de las unidades de uranio, para el mismo tipo de rendimiento. Para utilizar otro combustible como el MOX el reactor se tiene que adaptar. Esto se hace aumentando el número y la reactividad de las barras de control y de la cantidad de boro disuelto en el agua de refrigeración³¹. Esos cambios suponen unos menores márgenes de seguridad cuando se desconecta el reactor y las barras de combustible se dañan antes.³² El porcentaje de fisión de plutonio tiende a aumentar con la temperatura. Esto puede poner en peligro el control del reactor. Cuanto mayor sea el porcentaje de plutonio-239, mayor será el problema. Con la introducción generalizada de combustibles de mayor nivel de quemado, la tendencia es a utilizar más plutonio en el combustible MOX. Las empresas desean aumentar el quemado del combustible MOX al mismo nivel que el combustible del uranio. En un PWR, las unidades de MOX se insertan con tres concentraciones diferentes de plutonio. La Agencia de Energía Nuclear (Nuclear Energy Agency, en inglés y en adelante por sus siglas NEA) da como ejemplo un núcleo con tres tipos diferentes de barras de combustible MOX: con un 8,7%, con un 7% y con un 4,3% de plutonio, todos ellos en el centro del núcleo. El uso del combustible MOX tiene varios problemas.³³

Algunos de ellos son:

- Diferentes niveles de enriquecimiento del plutonio y de uranio implican picos de quemado, que causan el debilitamiento de las barras de combustible.
- Un factor de limitación principal para el porcentaje del MOX en el núcleo y el porcentaje de plutonio en el combustible MOX es una sustancialmente mayor liberación de gases de fisión en las barras de combustible MOX que con el combustible de uranio, lo que aumenta el quemado de forma importante.
 - El combustible MOX es más “caliente” que el uranio, para la misma potencia equivalente.
 - El elevado nivel de quemado local, a veces más de tres veces mayor que el nivel de quemado promedio, debido a la estructura heterogénea del combustible MOX, que deja grumos con alta concentración de plutonio.³⁴
 - La mayor energía del espectro de los neutrones del MOX aumenta la tasa de daños por radiación a las estructuras del núcleo. Esto podría causar que la vasija del reactor se volviese quebradiza, lo que es otro factor de preocupación por la seguridad.³⁵

Por estas razones las autoridades francesas de seguridad continúan, por ejemplo, negando a EdF la licencia para una mayor nivel de quemado en el combustible MOX. El quemado de este combustible en Francia está limitado ahora a 36 MWD/kg. EdF quiere una licencia para aumentar el nivel de quemado hasta los 52 MWD/kg.³⁶ Como hemos visto en el capítulo 5.2.2. un mayor nivel de quemado tiene también aspectos negativos para la seguridad; uno importante es la deformación de las barras de combustible que causan que las barras de control se peguen. Durante un experimento con combustible MOX el 24 de enero de 1997, en el reactor de experimentación de Cabri en Cadarache, ocurrió una violenta e inesperada ruptura del recubrimiento cápsula del combustible MOX, lo que provocó la dispersión de fragmentos del combustible en el canal de pruebas. Si esta ruptura fue causada por el combustible MOX, sería una mala noticia para las empresas que desean utilizar el combustible MOX y para los fabricantes del mismo. Otra prueba más de combustible con un combustible MOX de ciclo doble de dos clavijas está previsto para este año. Sin embargo, sólo cuando el reactor de Cabri se reajuste y sólo si se reajusta con un circuito de agua (ahora tiene un circuito de refrigeración de sodio) será posible representar las condiciones del LWR. Se espera una decisión para junio de 1997. Las empresas y los reguladores tendrán al menos dos años de incertidumbre en relación con los motivos del fallo del combustible MOX de Cabri. El director adjunto de la organización reguladora francesa DSIN, Rousseau, dijo que los últimos resultados de la prueba “no nos animan a ir más rápidos” en la adjudicación de licencias para un mayor quemado del combustible MOX. EdF tendrá que esperar varios años antes de que se le permita aumentar el nivel de quemado de su combustible MOX³⁷.

6.2.6 Escenario de un accidente cuando se utiliza MOX

La posibilidad de un sobrecalentamiento y la fusión (del núcleo) son posibles en cualquier reactor nuclear. En estos accidentes, no sólo se liberarían a la atmósfera los gases nobles volátiles, como la yodina y el cesio, sino una pequeña porción de los actínidos, incluyendo el plutonio y el neptunio. Dado que la actividad de los actínidos es sustancialmente mayor en el caso de MOX, las consecuencias de estos severos accidentes son incluso más serias.

Cuando se utilizan los combustibles MOX, la probabilidad de que ocurran estos serios accidentes o problemas aumentaría, debido al alto contenido de plutonio en el combustible. Incluso si un accidente no fuese serio, terminaría siéndolo, porque incluso la liberación a la atmósfera de una pequeña parte del inventario de actínidos, tendría consecuencias radiológicas importantes. Según un análisis comparativo sobre las posibles consecuencias de un accidente con fusión del núcleo en la planta nuclear alemana de Kruemmel, con y sin el uso del combustible MOX

- La exposición a la radiación por inhalación de materiales radiactivos durante la trayectoria de la nube radioactiva es mayor en un porcentaje de varias docenas que si se utilizasen solamente combustibles de uranio.
- La exposición a la radiación por la vía de la inhalación de los isótopos radiactivos removilizados de larga vida es más del doble.
- Las tierras que quedan fuera de uso a largo plazo como consecuencia del aumento de la contaminación aumentan porque la resuspensión de rastro es un factor limitador y la mayor parte de la dosis que queda en el rastro proviene de los actínidos.

6.2.7 Los problemas de transporte del plutonio

La consecuencia de que cada vez más reactores estén utilizando MOX es el incremento de los transportes peligrosos con plutonio altamente radiactivo por carretera, vía férrea, aire o mar.

Comparado con la opción de un ciclo, en el que el combustible gastado se almacena en el reactor o en un almacén central, con el MOX el transporte de plutonio aumenta de tres a cuatro veces. El aumento de las distancias recorridas es mucho más: ya que sólo hay unas pocas plantas de reprocesamiento en el mundo y los clientes están dispersos por todo él. Por ejemplo: el combustible gastado enviado por mar desde Japón a las plantas de reprocesamiento francesas e inglesas; de ahí a las plantas de MOX de Dessel, Melox o CfCa en Cadarache, o a la MDF de Sellafield; y finalmente el embarque de vuelta de miles de kilos de plutonio.

En 1984 se transportaron 190 kilos de plutonio por mar, de Francia a Japón; en noviembre de 1992, hubo un segundo transporte de 1.700 kg de plutonio, que fue duramente criticado, escoltado por buques armados y vigilado por satélite. Muchos países a lo largo de la ruta rechazaron el paso por sus aguas territoriales³⁹. Desde 1994 hasta 2010, se tendrán que transportar unos 30.000 kg de plutonio desde Francia a Japón⁴⁰. Hacia el año 2000, el número de embarques de MOX en Francia será de más de 400, con más de 40.000 kg de plutonio.⁴¹

La mayoría de los países disponen de normas de transporte, basadas en publicaciones varias de la AIEA; básicamente "Safety standards" en las "*Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*", (Safety Series No. 6); "*Safety Guides; Schedules of Requirements for Transport of Specified Types of Radioactive Material Consignment*", (Safety Series No. 80). Los embarques de materiales radiactivos, tanto si son privados como propiedad del gobierno, deben empaquetarse y transportarse de acuerdo con esas regulaciones. Los contenedores tienen que cumplir unos requisitos para soportar accidentes y radiación y los riesgos de proliferación. Los empaquetados se dividen en cuatro categorías:

- Empaquetados industriales de materiales nucleares, con una actividad específica baja, tales como uranio, torio y el hexafluoruro de uranio poco enriquecido;
- Contenedores de tipo A, para materiales radiactivos de tipo medio: combustible nuevo u óxido de uranio;
- Contenedores de tipo B para materiales altamente radiactivos: combustible gastado, plutonio separado, y desechos de reprocesado de alto nivel.
- Un nuevo contenedor de tipo C, que tiene que soportar accidentes aéreos y que todavía se tiene que desarrollar.

Las condiciones de las pruebas para las cuatro categorías difieren grandemente. Los contenedores de tipo A tienen que cumplir con pruebas especiales para asegurarse que soportarán las condiciones normales de transporte, por ejemplo, soportar un impacto de tan sólo 13 m/sg.⁴² Cualquier embarque de material radiactivo que exceda de los límites de embalaje de tipo A tiene que embarcarse en un embalaje de tipo B. Sólo las condiciones de los contenedores de tipo B dicen garantizar la integridad después de un accidente. Tienen que soportar tanto las condiciones normales de embarque como los hipotéticos accidentes sin que se abra brecha alguna en el recipiente. Los contenedores de tipo B están sujetos a cuatro pruebas: Prueba de impacto, prueba de aplastamiento, prueba térmica y prueba de inmersión en agua.⁴³

El 10 de septiembre de 1996, la AIEA adoptó unos estándares revisados para el transporte de materiales radiactivos en el Consejo de dirección que tuvo lugar en Viena. Entrarán en efecto el año 2000. La revisión permite el uso continuo de los cascos existentes de tipo B para los embarques de plutonio y MOX, si los transportistas pueden demostrar que los radionucleidos no se dispersarán (los denominados materiales de baja dispersión (Low-Dispersable Materials, en inglés y en adelante, por sus siglas LDM), después de un accidente severo que rompa el contenedor. Los contenedores de tipo B están diseñados para soportar una velocidad de aplastamiento de 48 km/h y un fuego de 30 minutos a 800 grados Celsius, pero los contenedores de tipo B no se han probado en un accidente de aviación. En 1992, un avión de El Al, se estrelló en Ámsterdam a 520 km/h y se quemó intensamente durante horas. Los estándares también han creado una nueva categoría de contenedor, el de tipo C, que es más resistente y podría utilizarse para materiales a embarcar que no fuesen LDM. Se hace, sin embargo una excepción para el combustible MOX, que es LDM en contenedores de tipo C. Hubo una fuerte oposición de Greenpeace Internacional y de Instituto de Control Nuclear (NCI). Harán una campaña para evitar que la Organización Marítima Internacional (International Maritime Organization, en inglés y en adelante por sus siglas IMC) y la influyente Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) acepten los estándares de la AIEA. Los que se oponen, aseguran que la industria del plutonio presionó para que se eximiese al MOX del LDM, porque los embarques en contenedores de tipo C aumentarían el coste del transporte del MOX. Los EE.UU. no permitirán vuelos con plutonio en su espacio aéreo, porque ni los contenedores de tipo B ni los del C cumplen los estándares de los EE.UU. El nuevo tipo de

contenedor C no está todavía listo; las pruebas sólo incluyen un impacto de apenas 90 millas/hora. Un avión que se estrella podría llevar una velocidad mayor.

Los estándares del transporte aéreo del plutonio estadounidense exigen que el casco resista “un accidente máximo creíble” con velocidades de impacto de 180 metros por segundo, que son dos veces mayores que los estándares de la AIEA para los de tipo C. Ricaud, del Cogéma dijo, que un casco que cumpliera los estándares estadounidenses sería mucho más costoso que un contenedor de tipo C, pero Cogéma no necesita los estándares de transporte aéreo de plutonio. Ricaud no mencionó los embarques aéreos de MOX a Japón⁴⁴. Los verdes en el Parlamento Europeo se quejan de que las nuevas recomendaciones para unos estándares más estrictos de seguridad para el transporte de materiales nucleares no son suficientes. Pidieron a la Comisión Europea que suspendiese los transportes de combustible MOX hasta que se revisen nuevas directrices. El Instituto de Control Nuclear estadounidense también ha pedido a los Estados de la UE que prohíban es transporte de material nuclear.⁴⁵

Fuentes:

93. IAEA: 'Annual Report 1995', Annex, p.77,87-89
94. Pavageau, M. and M. Schneider: 'Japanese plutonium and the French Nuclear Weapons Program', WISE Paris, August 1995, p.12-13
95. IAEA: 'Annual Report 1995', p.77,78-89
96. Nuclear Fuel, 29 August 1994: 'Cache of material seized in Munich is said to be High-Grade MOX fuel', p.2
97. Ruiters, W.de, B. vd Sijde: 'De Nucleaire erfenis', Boom Amsterdam, 1996, p.348
98. Panters, D.: 'Opwerking en hergebruik van plutonium', Technical University Eindhoven, 1996, p.62
99. Nuclear Fuel, 4 November 1996: 'PFPF holdup Pu inventory under 10 kg; R&D work to focus on Monju fuel', p.15
100. IAEA: IAEA Annual Report 1985, p.59,61-70
101. IAEA Bulletin no 3, 1994: 'Safeguards in transition: Status, challenges and opportunities', p.2
102. IAEA: 'Annual Reports 1985', p.72
103. IAEA: 'Annual Report 1995', p.77
104. IAEA Bulletin, No. 4 1996: 'Safeguards: The evolving picture', p.5
105. IAEA Bulletin No. 3, 1994: 'Safeguards in transition: Status, challenges and opportunities', p.2
106. IAEA Bulletin, No. 4, 1996: 'Safeguards at light-water reactors: Current practices, future directions', p.17
107. IAEA Bulletin, No. 1 1995, 'Safeguards in the European Union: The New Partnership Approach', p.27
108. IAEA Bulletin, No. 4, 1996: 'Safeguards at light-water reactors: Current practices, future directions', p.17
109. IAEA Bulletin, No. 4, 1996: 'Safeguards at light-water reactors: Current practices, future directions', p.17
110. Gruppe Ökologie, Anti Atom International, Ökologie Institut: '35 years of promotion of nuclear energy: The IAEA', Vienna, 1993, p.63
111. Albright, D., F. Berkhout, W. Walker: 'World Inventories of plutonium and High enriched Uranium 1992', Oxford University Press/SIPRI, 1993, p.203-212
112. Electricité de France, May 1994: 'Recyclage du Plutonium dans les centrales REP d'EdF'
113. Albright, D., F. Berkhout, W. Walker: 'World Inventories of plutonium and High enriched Uranium 1992', Oxford University Press/SIPRI, 1993, p.15
114. Nuclear Fuel, 18 November 1996: 'Belgonucléaire fabricating MOX fuel for second Swiss reactor', p.13
115. Pavageau, M., 'Les Transports de L'Industrie i du Plutonium', WISE Paris, October 1995
116. Desmoulins, P., 9 June 1994: 'Les Stratégies d'Emploi du Plutonium à Courts et Moyens Termes'
117. Nuclear Fuel, 24 February 1997: 'Gallium-MOX interactions analyzed', p.12
118. Nucleonics Week, 30 January 1997, 'DOE official downplays policy, technical issues dogging MOX', p.5
119. Nuclear Fuel, 18 November 1996: 'Belgonucléaire fabricating MOX fuel for second Swiss reactor', p.13
120. Küppers, C. and M. Sailer: 'MOX-Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung', IPPNW, 1994, p.38
121. Die Tageszeitung, 18 June 1991: 'Atomunfall in Hanau'
122. Küppers, C. and M. Sailer: 'MOX-Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung', IPPNW, 1994, p.38
123. Revue Generale Nucleaire, January/February 1995: 'Le combustible MOX et l'usine de fabrication Melox'
124. Küppers, C. and M. Sailer: 'MOX-Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung', IPPNW, 1994, p.38
125. NEA Newsletter, Spring 1996: 'Plutonium recycling', p.13
126. Nuclear Fuel, 6 November 1995, 'French working to improve MOX performance and economics', p.8
127. Ayukawa, Y., Issue 5, 16 December 1996: 'Fissile material disposition and civil use of plutonium'
128. Nuclear Fuel, 11 March 1996: 'First Cabri test of high-burn-up MOX fuel doesn't lead to failure', p.11
129. Nuclear Fuel, 10 February 1997, 'IPSN expects results of NDE on Cabri fuel pin in about one month', p.13

130. Öko-Institut: 'Folgen schwerer Unfälle in KKW Krümmel für das Gebiet der Freien und Hansestadt Hamburg und Auswirkungen von Katastrophenschutzmassnahmen', 1992, as cited in: Küppers, C. and M. Sailer: 'MOX-Wirtschaft oder die zivile Plutoniumnutzung', IPPNW, 1994, p.46
131. WISE Newscommunique [382](#), 20 November 1992: 'Tension mounts as Japanese Pu shipment leaves Cherbourg', p.1
132. Nuclear Fuel, 9 October 1995: 'Japan could buy and burn 2 MT of Russian Pu per year; Suzuki says', p.8
133. WISE Paris: 'Les Transports de l'Industrie de Plutonium en France', 1995, p.4-8
134. Nuke Info Tokyo, September/October 1996: 'The IAEA Revises Guidelines for Transport of Radioactive Material', p.6
135. Transportation Management Division, 'Radioactive Material Shipping Regulations'
136. Nuclear Fuel, 23 September 1996: 'New standards for Pu shipments won't be a problem, Cogema says', p.14
137. Nuclear Fuel, 4 November 1996: 'Greens charge IAEA Recommendations don't go far enough for safe transport', p.16

7. Resumen

Como hemos argumentado, el MOX no es y no puede ser la solución que la industria nuclear quiere hacernos creer.

El MOX

- Es visto por la industria nuclear como una solución intermedia hasta el esperado momento en que el uso comercial de los reactores regeneradores rápidos se convierta en un estándar.
- Proporciona una justificación para seguir reprocessando.
- No reduce las cantidades acumuladas de plutonio. La reducción es bastante más pequeña que el aumento que se genera por el uso del combustible de uranio.
- No ahorra grandes cantidades de uranio: en el año 2000, el ahorro será de apenas un 5%.
- No ahorra costes de almacenamiento; al contrario, debido a la gran cantidad de actínidos, produce más radiación y calor que el combustible de uranio y es más difícil de manejar.
- Es caro: cuando se incluyen los costes de reprocessamiento, es hasta once veces más caro que el combustible de uranio.

En la práctica, el plutonio sólo se puede reutilizar una vez, debido a su degradación: se hace menos fisible y aparecen más isótopos de plutonio no fisible. Debido a la presencia del plutonio, la producción de MOX es más peligrosa que la de uranio. Los pequeños accidentes, que ocurren a cada momento, tendrán consecuencias mucho más serias que en la actualidad, debido a la generalización del uso del plutonio.

El uso del MOX no disminuirá el peligro de la proliferación nuclear, como se dice con frecuencia, sino que al contrario, lo aumentará, debido a:

- El reprocessamiento continuo.
- El inevitable aumento del transporte del plutonio separado.
- La utilización de plutonio se generalizará.
- Los países que van acumulando plutonio serán un mal ejemplo.
- Vigilar y controlar los materiales nucleares será cada vez más difícil debido a las cantidades de material implicadas y a las inevitables limitaciones financieras.

Los reactores de agua ligera están diseñados y construidos para quemar combustible de uranio. Tienen que adaptarse y recibir una licencia para el uso del MOX.

La utilización de MOX tiene tres consecuencias específicas para el comportamiento de reactor:

- Las pérdidas del quemado provocan el debilitamiento de las barras de combustible.
- Se libera mucho más gas de fisión durante el proceso.
- La vasija del reactor se puede hacer quebradiza, como consecuencia de los mayores daños por radiación, debido a la mayor energía del espectro de neutrones.

Está claro que el objetivo que subyace en las razones a favor de MOX es la continuación de la producción de energía nuclear. Es obvio que esto es indeseable.