



EL URANIO COMO FUENTE DE ENERGÍA

ÍNDICE

	Páginas
1. Panorama mundial	3
2. El uranio como combustible nuclear	6
3. Minería, recursos, producción y demanda	9
3.1 Fuentes primarias	9
3.2 Fuentes secundarias	13
4. Ciclos de combustible. Optimización de la gestión del combustible nuclear	17
5. El mercado. Relación entre oferta y demanda	18
6. Conclusiones	22

I. PANORAMA MUNDIAL

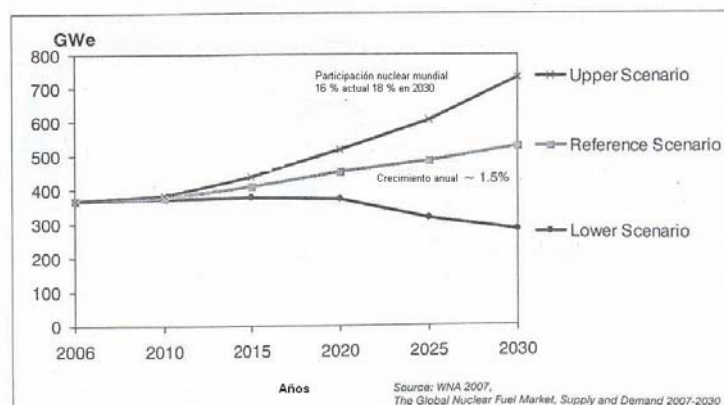
La historia del Uranio es muy corta ya que un mercado formal de este elemento no se estableció hasta finales de los años 60.

La demanda de uranio como combustible nuclear está gobernada por el número de reactores en operación que, a su vez, viene condicionada por la demanda de energía eléctrica. Las previsiones más fundamentadas indican que esta demanda, a nivel mundial, se doblará entre 2001 y 2030 para poder satisfacer las necesidades de una población en expansión y de un crecimiento económico sostenido. Esta demanda creciente de electricidad exigirá aumentar la potencia de generación y este aumento afectará, entre otras energías, a la nuclear, tal como plantea la Agencia Internacional de la Energía en la última edición de “World Energy Outlook”.

Estudios detallados realizados por la Asociación Nuclear Mundial (World Nuclear Association, WNA) han presentado tres escenarios para el desarrollo de la capacidad de generación nuclear en el mundo hasta el año 2030.

Estos escenarios se identifican como el Bajo (Lower), el de referencia (Reference) y el superior (Upper). Entre ellos comprenden desde un sustancial aumento de la energía nuclear hasta un ligero declive en el periodo comprendido desde la actualidad hasta el año 2030.

Al final de 2006 la capacidad nuclear mundial era de 368 GW en el escenario de referencia y se prevé que crezca hasta 377 GW en 2010, 454 GW en 2020 y 529 GW en 2030. El crecimiento promedio anual previsto por la WNA en todo el periodo sería del 1,5 %. En el escenario superior los números equivalentes serían de 382 GW en 2010 de 520 GW en 2020 y de 730 GW en 2030.



Escenario de capacidad nuclear de la WNA

La posición de la nuclear en el sector energético es, en estos momentos, altamente favorable. Las exigencias impuestas por el protocolo de KYOTO sobre las emisiones de gases de efecto invernadero establecen una clara ventaja entre un emisor cero, como es la energía nuclear, y fuertes emisores, como son los combustibles fósiles. La subida de precios del petróleo ha roto todas las previsiones sobre su utilización futura como fuente de generación de electricidad afectando igualmente al gas cuyo precio se mueve en la misma dirección y con efectos similares que el del petróleo. Un aspecto del mayor interés, dadas las constantes variaciones en el mercado energético, es la seguridad de aprovisionamiento. El combustible nuclear, al ser altamente intensivo en energía, ocupa mucho menor volumen que los combustibles fósiles facilitando su almacenamiento y permitiendo así unas reservas muy superiores a las posibles con los demás combustibles.

Consecuentemente, si la competitividad de la energía nuclear ya era ventajosa frente a las demás fuentes de energía, incluyendo las energías renovables, en la actualidad su posición ha mejorado sustancialmente. A ello se suma el hecho de que, en el coste del kWh nuclear, el porcentaje correspondiente al combustible es, aproximadamente, cuatro veces inferior al del gas en el coste de su kWh. Si a ello se añade el muy inferior coste del nuclear respecto al gas, el efecto combinado es que el combustible tendría que subir de manera desorbitada en un grado muy superior a lo ya ocurrido para poder igualar el efecto resultante con el precio del gas.

El progreso tecnológico tendrá una incidencia notable sobre la expansión futura de potencia nuclear instalada. Los avances en seguridad, no proliferación, gestión de desechos, mejora de la eficacia, economía, mejor utilización de los recursos, etc., sitúan y situarán a la energía nuclear en una posición cada vez más destacada como opción energética inevitable. La proliferación de los reactores rápidos ofrece ventajas sustanciales permitiendo la utilización de otros elementos como el torio y el uranio 238, isótopo mucho más abundante en la naturaleza que el uranio 235, actualmente empleado en la mayoría de los reactores en operación. Por otra parte, en los reactores rápidos reproductores se produce más combustible durante su operación ampliando sustantivamente la disponibilidad de combustible nuclear.

Existen otras utilizaciones posibles que mejorarán el papel de la energía nuclear a nivel mundial, entre las que destacan la producción de hidrógeno, la desalación del agua del mar y la producción de calor para su uso en la industria o en el sector doméstico.

Es de notar que el consumo de energía en el sector del transporte continuará aumentando en los próximos decenios constituyendo la fuente principal de emisiones de gases de efecto invernadero. Para evitar esta situación, de grave riesgo para el equilibrio ambiental de nuestro planeta, se considera al hidrógeno como el producto más adecuado para reemplazar, en el transporte, a los combustibles fósiles. Los reactores nucleares de alta temperatura ofrecen la posibilidad de producir hidrógeno, a escala industrial, evitando la generación de gases contaminantes que se producen con los demás métodos de producción de hidrógeno.

Nuevos modelos de reactores están en desarrollo a través de proyectos multinacionales, así como la mejora y diversificación de los ciclos del combustible nuclear. En la mayoría de los modelos en estudio, el combustible gastado puede reciclarse optimizando así su utilización y reduciendo el tiempo necesario de almacenamiento de los residuos de alta actividad en un factor aproximado de 100.

Es importante constatar que nunca se concretan recursos económicos por más de unas pocas décadas ya que la exploración asociada sólo se lleva a cabo por las empresas cuando esperan, en un futuro próximo, obtener el retorno financiero que cubra sus gastos de prospección y minería. Estos retornos van, casi siempre, asociados a las condiciones de oferta-demanda del mercado. Actualmente, estas condiciones son altamente favorables para la expansión del mercado nuclear.

El conjunto de mejoras tecnológicas ofrece alargar notablemente la disponibilidad de recursos de uranio, como se muestra más adelante. Se trabaja en varios países, especialmente en Japón, para disponer de los recursos de uranio existentes en los océanos. Cuando esta técnica esté disponible a escala industrial, con los nuevos ciclos de combustible las existencias de uranio cubrirían la demanda de decenas de miles de años, constituyendo a la energía nuclear como energía sostenible.

2. EL URANIO COMO FUENTE DE ENERGÍA

El Uranio fue descubierto en 1789 y se le llamó así por el planeta Urano que había sido descubierto poco antes, en 1781.

El Uranio es el elemento más pesado, de origen natural, que existe en la Tierra en una proporción de 2,7 partes por millón (ppm), lo que es comparable con otros metales como estaño, tungsteno y molibdeno. Muchas rocas comunes, como el granito, contienen entre 5 y 25 ppm. El Uranio está, igualmente, presente, como ya se ha dicho, en el agua de los océanos. Su nivel de actividad radiactiva es bajo, muy inferior al de otros elementos, lo que facilita su minería, transformación y fabricación como combustible nuclear.

El Uranio aparece en formaciones de donde puede ser extraído a precio económico. Esto ocurre en más de una docena de tipos de depósitos diferentes y en un amplio abanico de formaciones geológicas. Esta diversidad es muy superior a la del petróleo. De ello se deduce que aún existen muchos nuevos depósitos por descubrir, que irán apareciendo a medida que el mercado vaya demandándolos. En los últimos años se han constituido más de 500 compañías dedicadas a la exploración del uranio y se espera que varias de ellas lideren la minería del uranio.

Está compuesto por tres isótopos, cada isótopo tiene, con relación a los otros dos, el mismo número de protones pero distinto número de neutrones, es decir, difieren únicamente en el número de componentes del núcleo. Dichos isótopos son el U238, el U235 y el U234. El primero supone el 99,28%, el U235, el 0,71% y el resto corresponde al U234.

El Uranio, para su empleo en los reactores nucleares convencionales actuales necesita ser enriquecido en el isótopo U235, que es el que se fisiona y, a través del proceso de fisión, genera la energía que se extrae del reactor.

El proceso de fabricación del combustible nuclear parte del óxido de uranio ya concentrado (U_3O_8), que se transforma en hexafluoruro de uranio (UF_6), que es gaseoso a 60°C. Este gas se somete a un proceso de enriquecimiento en el U235 aprovechando la diferencia de masa con el U238. Se obtiene así un producto con mayor concentración de la que existe en la naturaleza en U235 y otro producto que, lógicamente, está empobrecido en U235 y que se denomina, consecuentemente, uranio empobrecido.

La utilización del uranio en los reactores nucleares puede hacerse mediante diversas alternativas:

En la actualidad, la mayoría de los reactores nucleares convencionales son reactores de agua ligera (el 100% del parque español), tanto en su diseño de reactor de agua a presión (PWR) como el de ebullición (BWR). Estos reactores necesitan, como ya se ha dicho, un enriquecimiento en el isótopo U235. Para incrementar los niveles máximos de quemado de combustible, este enriquecimiento ha ido en aumento con el paso de los años. Por poner un ejemplo, un aumento del 0,7% al 3,5% en peso del isótopo U235 en el combustible supone la utilización de 7 toneladas de Uranio Natural por cada tonelada de combustible producido. Con la tasa actual de generación de energía eléctrica de origen nuclear, quedarían reservas de Uranio para unos cientos de años.

La extracción del uranio a partir de los fosfatos ha alcanzado ya un adecuado nivel de rentabilidad, lo que ha propiciado intensas relaciones entre Francia y Marruecos para firmar un acuerdo para construir centrales nucleares en Marruecos. Este país dispone del 75% de las reservas mundiales de fosfatos. La Agencia Internacional de la Energía estima que se podrían extraer, de estas reservas, seis millones de toneladas de uranio, el doble de las reservas mundiales actuales.

Con el incremento de precios actual el periodo se amplía al incorporarse las reservas comercializables a precios más altos. Existen varias soluciones para ampliar, de manera importante, este plazo. La primera de ellas, y que actualmente se lleva a cabo en países como Francia, Japón, Gran Bretaña o la India, es la reelaboración del combustible nuclear gastado para extraer los isótopos del Pu generados durante la operación convencional del reactor.

Entre los isótopos de Pu, cabe destacar la presencia del Pu 239, que puede ser utilizado como combustible nuclear. Los métodos de reprocesamiento del combustible para la extracción de los isótopos de Pu están completamente desarrollados a nivel comercial. Este Pu se utiliza para la fabricación de combustible junto con combustible convencional de Uranio, obteniéndose los denominados Óxidos Mixtos. (MOX)

De esta forma, se utiliza un combustible que ha sido generado en el propio reactor, produciéndose un importante ahorro de combustible convencional. Es por ello que se han diseñado reactores que producen elevadas cantidades de Plutonio durante su funcionamiento. Este tipo de reactores se denominan Reactores Rápidos Reproductores, ya que utilizan neutrones con alta energía para aumentar la eficacia del efecto reproductor, que permiten la generación del combustible nuclear durante operación, incrementando la duración de las reservas del combustible de Uranio actuales. Países como Francia, EE.UU., Gran Bretaña, Alemania, la antigua Unión Soviética y Japón tienen reactores rápidos experimentales. Otros, como China, tienen alguno en construcción.

Este tipo de reactores multiplica 50 veces la utilización de los recursos de uranio alargando, así, su disponibilidad a largo plazo. Su tecnología está bien validada con una experiencia de unos 300 años-reactor y forma parte de los programas nacionales a medio-largo plazo de la mayoría de los países desarrollados que tienen centrales nucleares.

Otra forma de generar combustible nuclear dentro del propio reactor es mediante la utilización del **Ciclo del Torio**. Mediante la captura de neutrones del isótopo del torio Th232, se obtiene U233, isótopo que no existe de forma natural pero que tiene una alta sección eficaz de fisión y que, por lo tanto, es útil como combustible nuclear. El torio existe en la naturaleza en una proporción mucho mayor que los isótopos de Uranio y no hay ningún problema para su uso. Puede, por tanto, utilizarse en reactores reproductores para generar nuevo combustible nuclear.

Existen medidas alternativas que optimizan aún más la utilización del uranio reduciendo su consumo en las centrales nucleares. Entre ellas, cabe destacar: el aumento de quemado del combustible, los incrementos de potencia de las plantas nucleares y la estrategia a aplicar sobre la frecuencia de paradas para recarga.

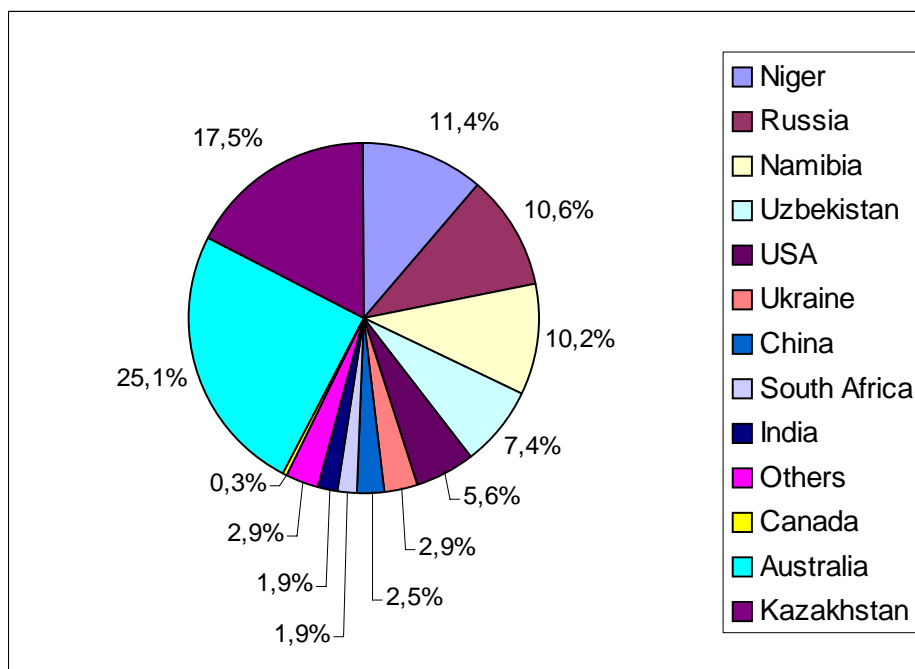
3. MINERÍA, RECURSOS, PRODUCCIÓN Y DEMANDA

3.1 FUENTES PRIMARIAS

La demanda actual para los reactores en operación era de alrededor de 64.200 t de uranio al final del año 2006.

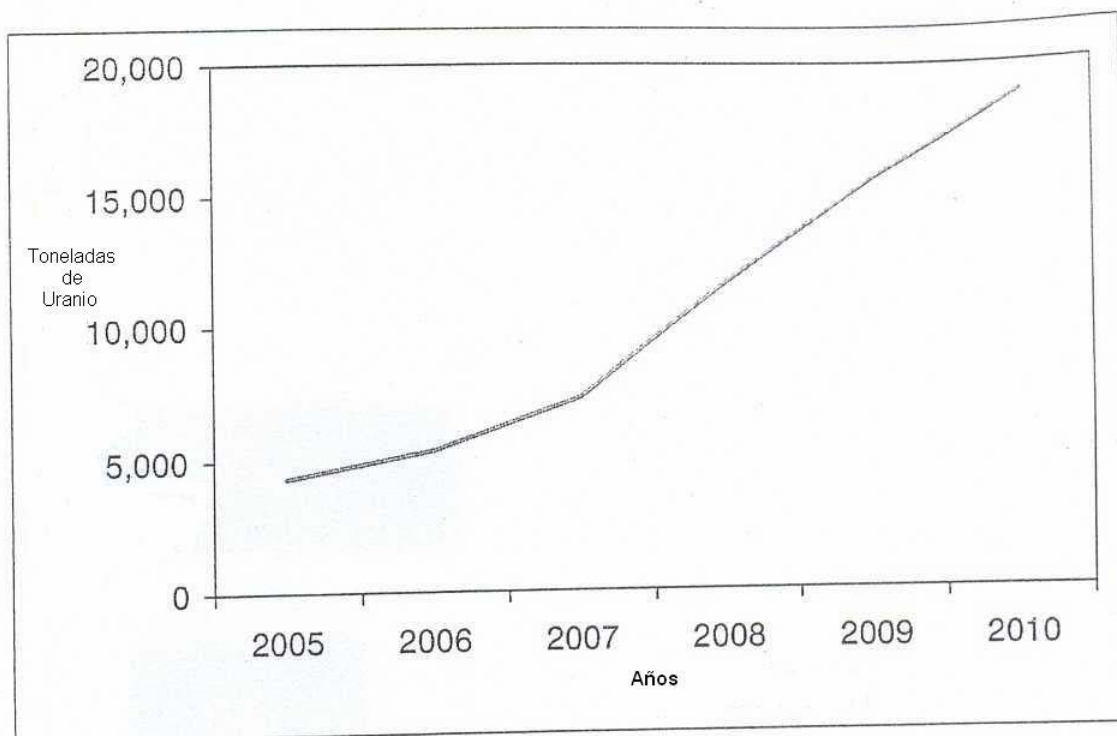
La minería del Uranio ha estado tradicionalmente limitada por el bajo coste del mineral que ha frenado, en gran medida, las iniciativas de prospección de las empresas mineras. De hecho, quedan extensas zonas sin investigar cuyas características son favorables a la existencia del uranio, por lo que el nivel mundial de existencias de uranio está sin concretar. Los gastos de prospección que rondaban solamente los 100 millones de dólares en 2003, se han incrementado en los años siguientes al aumentar el precio de uranio en el mercado, casi alcanzando los 200 millones de dólares en 2005 y la inversión sigue aumentando aceleradamente.

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE URANIO POR PAÍSES Año 2006



Es esperable que aparezcan nuevos yacimientos y se exploten a fondo los que actualmente están abandonados o utilizados parcialmente. Esta situación se hace patente al comprobar que hasta el comienzo de la subida del coste de uranio (2003) los recursos localizados en los distintos países consumían más del 80% de los gastos internos de prospección, reduciendo simultáneamente los gastos en el extranjero. En estos momentos, la situación ha cambiado y cambiará aún más en el futuro, incrementándose la búsqueda generalizada, a nivel mundial, del uranio. Los gastos dedicados a búsqueda en el extranjero se han multiplicado por 7,5 veces en 2005 con relación a 2003 y desde entonces las inversiones han aumentado a un mayor ritmo.

Un buen ejemplo son los descubrimientos hechos por Canadá en la cuenca del Athabasca. En los años 70 se prospectaba hasta 100 metros de profundidad. Hoy se obtienen datos positivos a diez veces mayor profundidad, es decir, a 1 kilómetro de la superficie.

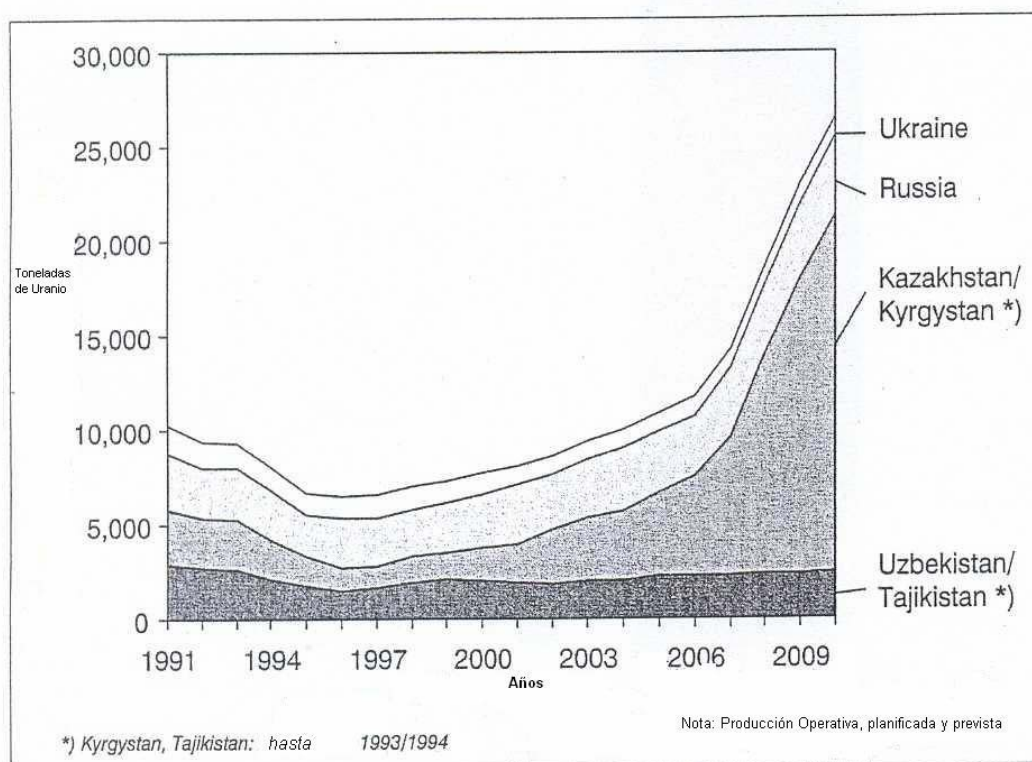


Otra muestra de lo anterior es la evolución de las reservas que se muestra en la tabla siguiente:

<i>DISPONIBILIDAD DE RESERVAS DE URANIO PARA DIFERENTES CICLOS</i>			
<i>REACTOR / CICLO DE COMBUSTIBLE</i>	<i>DISPONIBILIDAD DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR</i>		
	<i>EXISTENCIAS IDENTIFICADAS</i>	<i>EXISTENCIAS PREVISTAS</i>	<i>EXISTENCIAS PREVISTAS Y FOSFATOS</i>
<i>CICLO ACTUAL ABIERTO</i>	85	270	675
<i>CICLO CON SÓLO REACTORES RÁPIDOS CON RECICLAJE</i>	2.570	8.015	19.930

Fuente: Libro rojo 2005 (AEN, OCDE)

Las reservas de Uranio identificadas totalizan mas de 3 millones de toneladas en 2006 y continuan aumentando, lo que es atribuible, por una parte, a la incorporación de nuevos países productores y nuevos descubrimiento y a la aplicación de nuevas técnicas de explotación que generan un aumento en la detección de nuevos depósitos y, por otra parte, a la subida de precios del uranio, como ya se ha venido señalando.



El desarrollo de las técnicas de lixiviación, directamente en el emplazamiento, permite la explotación de recursos que antes se consideraban no viables por su elevado coste.

A los recursos conocidos anteriormente hay que añadir un mínimo de 7.500.000 de toneladas de uranio correspondientes a otras reservas suplementarias y especulativas estimadas.

Existen otros recursos de uranio denominados no clásicos entre los que destacan los contenidos en yacimientos de fosfatos y, particularmente, unos 4.000 millones de toneladas contenidas en el agua del mar. En el caso de los yacimientos de fosfatos, la tecnología de extracción está disponible a costes de mercado. En el caso del agua del mar, se realizan trabajos de investigación para reducir el coste que actualmente es elevado aunque la subida de precios del mercado han disminuído la diferencia.

El torio, como ya se ha dicho, abundante y muy extendido entre distintos países, puede ser utilizado en el ciclo de combustible nuclear (ya existen modelos que incorporan este elemento). Las estimaciones disponibles se elevan a más de 4,5 millones de toneladas de torio, valoración muy conservadora ya que no se tienen en cuenta las existencias en China, Europa Central y Oriental y la ex Unión Soviética. Aquí, aún más que en el caso del uranio, los bajos precios del mercado han limitado, hasta ahora, las prospecciones.

Existen otros recursos que juegan un papel importante en el equilibrio entre oferta y demanda y que serán descritos en el apartado siguiente.

Es evidente el muy elevado nivel de existencias que están disponibles a través de procesos bien experimentados, pero es de aún mayor trascendencia la progresiva mejora en la utilización de los recursos a través de diversos procesos tecnológicos, muchos de ellos ya desarrollados o en fase avanzada de desarrollo.

El resultado previsto permitirá cubrir un importante porcentaje de las necesidades energéticas mundiales a corto, medio y largo plazo, asumiendo una participación creciente de la energía nuclear en el panorama energético.

3.2 FUENTES SECUNDARIAS

Desde 1985, la proporción de producción primaria para cubrir la demanda de uranio de las centrales nucleares se ha situado cerca del 60% de la demanda total. El resto ha venido completándose desde fuentes secundarias provenientes de reservas civiles y militares, tales como:

- **Enriquecimiento de las colas de uranio empobrecido procedentes del proceso de enriquecimiento.**
- **Reciclado de combustible gastado para obtener nuevos combustibles (MOX, Uranio).**
- **Disponibilidad de Uranio altamente enriquecido que proviene fundamentalmente de las armas nucleares.**
- **Inventarios y reservas almacenadas por los gobiernos, productores, empresas, etc. a nivel mundial.**

Esta situación ha propiciado que los productores primarios hayan reducido significativamente su inversión en proyectos de Explotación y Desarrollo.

Como consecuencia de la abundancia de estas fuentes secundarias, los precios del uranio se mantuvieron muy bajos durante muchos años hasta 2003, en que las previsiones de expansión del parque nuclear junto con la disminución de las existencias de estas fuentes secundarias han generado un aumento en el precio del Uranio, así como una activación de las prospecciones y la producción primaria a nivel mundial.

El mercado ha modificado su funcionamiento, han aparecido nuevos inversores interesados y el porcentaje de contratos a medio y largo plazo ha aumentado en relación a las compras directas (mercado spot), lo que supone una estructura del mercado más sólida, equiparable a la de otros mercados.

- Enriquecimiento de las colas de Uranio

La cantidad total de colas de uranio empobrecido, proveniente del proceso de enriquecimiento, era del orden de 1,5 millones de toneladas al comienzo de 2005 y aumentan cada año en unas 57.000 t adicionales. Suponiendo un valor promedio de

presencia de U235 del 0,3% es factible reprocesar este uranio para producir unas 565.000 t de uranio con las condiciones equivalentes al uranio natural, es decir, con un porcentaje de

0,711% en U235. Este uranio permitiría cubrir la operación de todos los reactores nucleares del mundo por más de 8 años (se considera el parque nuclear existente en el 2004).

Para utilizar completamente esta fuente será necesario ampliar las capacidades de enriquecimiento, lo que ya está en marcha en varios países.

- **Reciclado del combustible gastado**

El combustible gastado contiene más del 95% del uranio, existente inicialmente además del plutonio generado durante su quemado. Este potencial energético que permanece en el combustible después de su paso por el reactor puede ser recuperado utilizando técnicas bien establecidas y probadas, lo que aumenta la utilización del uranio en un 30%. La tecnología del reprocesado o reciclado practicada en distintos países, consiste en separar el uranio y el plutonio de los productos de fisión permitiendo la obtención de energía y reducir fuertemente los tiempos de almacenamiento de los residuos resultantes.

Se abre la posibilidad de utilizar el inventario de plutonio concentrado en el combustible MOX utilizado para incorporarlo en los reactores a neutrones rápidos junto con el plutonio de procedencia militar. El panorama anterior en el que participan los reactores de agua ligera y los de neutrones rápidos permitirá una mejor utilización del combustible nuclear alargando ampliamente su periodo de funcionamiento como ya se ha citado anteriormente.

Repitiendo el reciclado se puede aumentar la utilización del combustible y disminuir la cantidad y duración de los residuos resultantes. Con los ciclos de combustible, incorporando exclusivamente reactores rápidos, la mejora es muy elevada, alargando a decenas de miles de años las existencias de combustible nuclear y decreciendo en un factor de 100 la duración previsible de los residuos.

- **Uranio altamente enriquecido procedente de las armas nucleares**

Se han llegado a construir unas 50.000 cabezas nucleares conteniendo uranio altamente enriquecido (UAE) y/o plutonio militar (rico en plutonio 239)., Estados Unidos y Rusia se han comprometido a reducir sus arsenales nucleares. En total, con el desmantelamiento parcial de los arsenales rusos y estadounidenses, se producirá un excedente de más de 1.500 t de UAE. A lo anterior hay que añadir 200 t de plutonio militar sobrante. La utilización de

este material en centrales nucleares se produce a través de un proceso tecnológicamente sencillo. Con el combustible obtenido se podría abastecer todo el parque nuclear mundial durante más de 6 años.

- **Inventarios y existencias (stocks) de uranio natural y enriquecido**

Una importante fuente de aprovisionamiento secundario proviene de las existencias almacenadas (stocks). Los almacenamientos civiles incluyen los stocks estratégicos, es decir, las cantidades necesarias para el funcionamiento de las instalaciones del ciclo de combustible y los stocks excedentarios existentes en el mercado.

Los datos completos no están disponibles en su mayor parte porque, tanto productores y consumidores, como los propios gobiernos no suministran estos datos por razones de confidencialidad.

Analizando el mercado se detecta una gran diferencia entre el uranio negociado y el finalmente utilizado. La diferencia se ha tenido que asignar al aumento de stocks. Considerando la producción acumulada hasta 2004, se obtiene la cifra de unos 2.245.000 t de U. Restando las necesidades acumuladas en el mismo periodo de tiempo, que han sido de 1.579.000 t, se obtiene un stock resultante estimado de unas 666.000 t de U que constituye una aportación potencial al sector comercial

Los inventarios de hexafluoruro de uranio aportan una reserva sustantiva para la cobertura de la demanda. Un buen número de compañías eléctricas mantiene stocks que cubren, al menos, dos años de consumo de uranio natural.

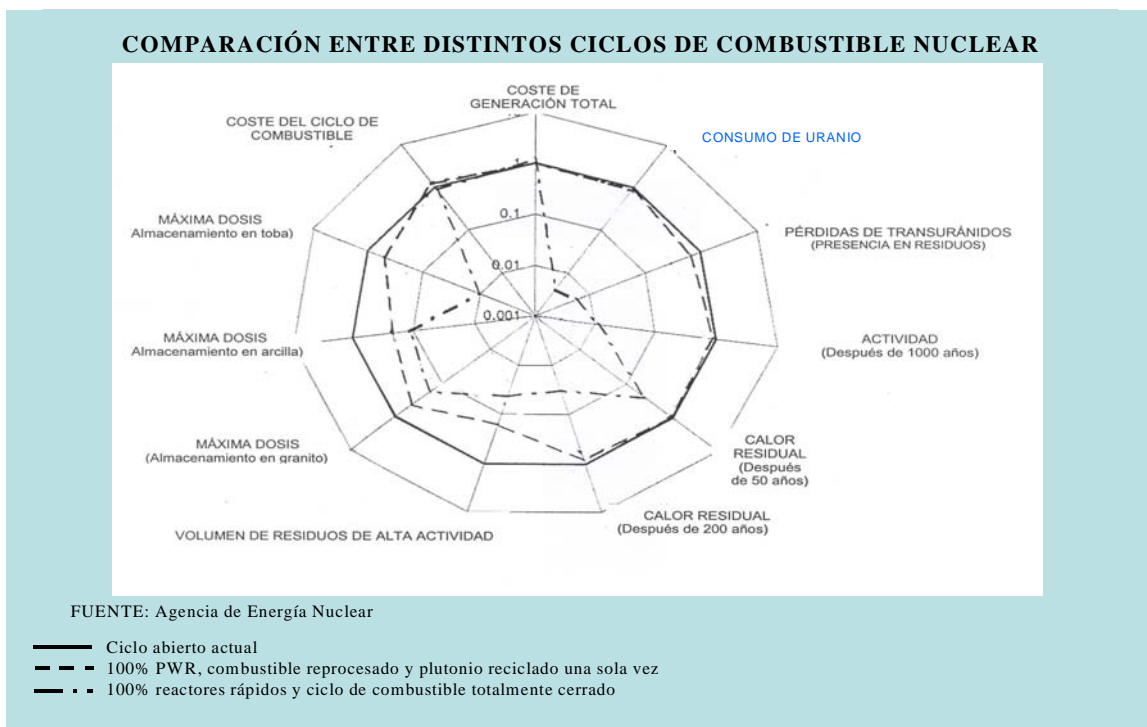
Teniendo en consideración los stocks militares, además de los civiles, se estima que este uranio cubriría bastantes años de las necesidades de uranio natural necesario en las aplicaciones comerciales.

Estas fuentes secundarias de suministro, actualmente en el rango de 20.000 t de Uranio, se mantendrán como parte importante de la cobertura del mercado al menos hasta 2013 – 2014.

4. CICLOS DE COMBUSTIBLE. OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

La disponibilidad de uranio para las centrales nucleares es amplia y puede aumentarse espectacularmente aplicando distintos ciclos de combustible que mejoran sustantivamente la utilización de combustible nuclear.

- ✓ El ciclo abierto es el más aplicado actualmente. En este caso, el combustible utilizado en el reactor, esto es, el combustible quemado, una vez retirado del mismo, se trata como desecho.
- ✓ En el denominado ciclo cerrado se recicla el combustible gastado para recuperar el uranio no quemado que permanece en el combustible así como el plutonio generado durante el quemado lo que evidentemente, supone una mejor utilización del mismo.
- ✓ Un tercer ciclo es el constituido por reactores moderados por agua ligera, como la gran mayoría de los que están en funcionamiento, y reactores rápidos. Reciclando el combustible gastado en los reactores de agua ligera que alimentaría los reactores rápidos de materia fisionable y teniendo en cuenta el incremento producido en los reactores rápidos, aún se mejorará más la utilización del combustible con relación a los dos ciclos anteriores.
- ✓ Finalmente el cuarto ciclo sería el conformado únicamente por reactores rápidos con reciclaje. La aplicación generalizada de este ciclo aumentaría la disponibilidad del combustible nuclear a decenas de miles de años con las existencias actualmente identificadas.



5. EL MERCADO, RELACIÓN ENTRE OFERTA Y DEMANDA

Las condiciones del mercado constituyen el principal factor motivador para la puesta en explotación de nuevos yacimientos. A la vista de los fuertes aumentos en los precios y de que el alza se mantenga, se plantea un fuerte incremento en nuevas producciones. Muchos países, en particular Australia, Canadá y Kazajistán han comenzado a plantear incorporaciones notables a la futura capacidad de producción que servirán para compensar las necesidades crecientes y la disminución progresiva de las fuentes secundarias.

A lo anterior se une la sustantiva mejora en la utilización del combustible nuclear a través de los nuevos ciclos de combustible, especialmente en el caso de la utilización de reactores rápidos con reciclaje, como se ha mostrado anteriormente. Un ejemplo puede mostrar con mayor claridad el prometedor futuro que ofrecerán los ciclos de combustible con reactores rápidos.

Reemplazar el carburante de los vehículos a motor por hidrógeno en los Estados Unidos exigiría del orden de 36.500.000 t de hidrógeno por año. Bajo la hipótesis de un rendimiento del 75% en el proceso de electrolisis, para producir una tonelada de H₂ serían

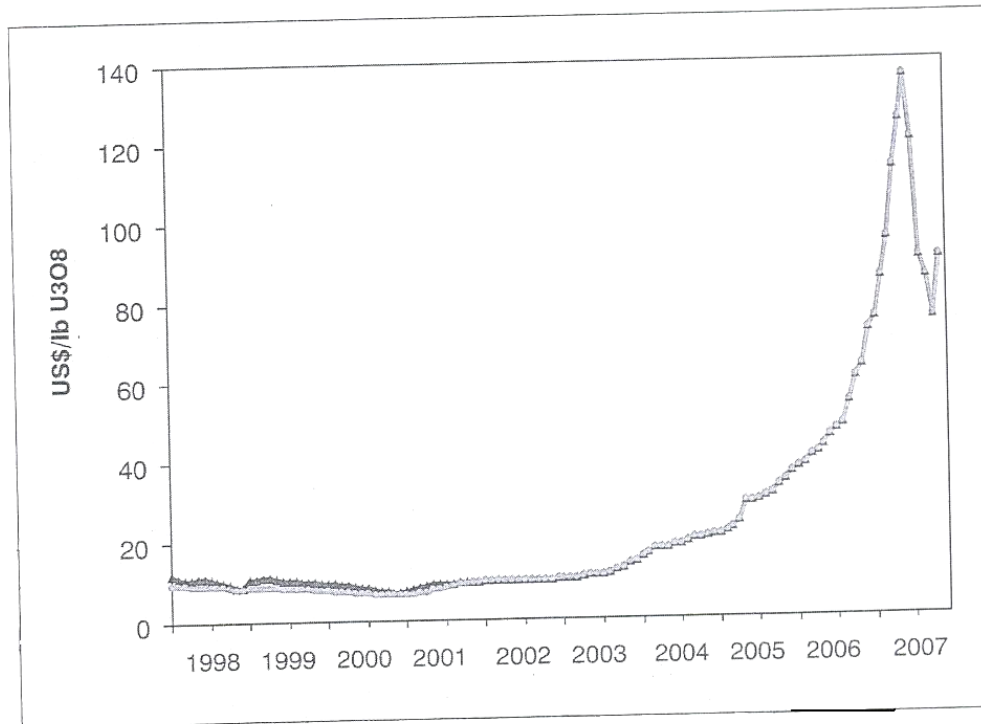
necesarios 52.000 kWh. Por tanto, alrededor de 7.100 TWh ($1 \text{ TWh} < > 10^9 \text{ kWh}$) serían necesarios para producir el hidrógeno requerido para satisfacer las necesidades de transporte de EE.UU. Con un ciclo de combustible abierto utilizando reactores de agua ligera, como la mayoría de los actuales, serían necesarias cada año más de 145.000 t de U, es decir, más del doble de las necesidades mundiales de uranio en 2004. Sin embargo, un cambio tecnológico modifica notablemente estas proyecciones.

Para producir la citada cantidad de hidrógeno harían falta reactores de alta temperatura refrigerados por gas, que son especialmente adecuados para este uso. Si estos reactores estuvieran asociados a un reciclaje múltiple del combustible, no serían necesarias más que 4.000 t de U por año.

El ejemplo muestra como el progreso tecnológico puede constituir un factor determinante a largo plazo para la utilización de la energía nuclear y para la demanda de uranio.

Desde el año 2001 se ha producido un fuerte incremento en el precio del uranio que ha multiplicado su valor variando drásticamente las características y condiciones del mercado. Los contratos a medio y largo plazo han aumentado con relación a las ventas coyunturales (mercado “spot”), lo que favorece la gestión de los productores y propicia la investigación y prospección de nuevas fuentes de producción. Por otra parte, dado que el coste del combustible es sólo un 3% del coste del kWh, el efecto de la subida del uranio no ha sido superior a los 0,5 €/MWh, llevando el coste del combustible nuclear a 3,4 €/MWh frente a los 34 €/MWh del gas.

Figura pag 706



Precio del Uranio en el mercado "Spot"

Las fuentes secundarias disminuirán progresivamente, por lo que la producción primaria deberá aumentar para cubrir suficientemente las necesidades del mercado. Existe, para ello, el tiempo necesario.

El proceso está condicionado por el desarrollo en plazo de los programas relativos al aumento de la prospección, ampliación de la capacidad de enriquecimiento, implantación de distintos ciclos de combustibles, desarrollo de la investigación sobre nuevas fuentes, etc. Esta situación es similar a la de otros mercados de productos energéticos con una diferencia fundamental; en el caso nuclear hay existencias suficientes que necesitan hacerse disponibles en plazo y coste mientras que, para otras fuentes energéticas, el problema principal y definitivo es la limitación de existencias que será ya grave a corto y medio plazo, además de unas superiores necesidades de prospección, producción, redes de distribución, etc., que exigen altísimas inversiones, actualmente no identificadas.

Además, el desarrollo tecnológico complementario en el sector nuclear está en fase avanzada y, en muchas áreas, operativo o en proceso de implantación, por lo que las garantías de su disponibilidad en los plazos necesarios son razonablemente seguras.

Según la WNA el aumento de la capacidad nuclear será sustantivo. Consecuentemente la industria de producción del uranio tendrá que crecer significativamente para cubrir la demanda que oscilaría entre 64.700 tU de Uranio para 2010 en el escenario de referencia subiendo hasta 81.000 tU en 2020 y 109.100 en 2030. Para el escenario superior estos datos serían 67.400 tU en 2010, 92.200 tU en 2020 y 149.000 tU en 2030.

Los precios actuales del uranio son una buena base para estimular la inversión de capitales en la exploración, la extensión de vida de las minas existentes y el desarrollo y comienzo de nuevas minas.

Un número elevado de nuevos proyectos están ya en marcha entre los que destacan las “joint ventures” de Kazakhstan.

Finamente, los expertos tienen altas expectativas de que la exploración intensiva basada en tecnologías avanzadas resultaría en nuevos grandes y ricos depósitos de uranio.

Basado en todo lo anterior existe un alto nivel de confianza de que el suministro de uranio cubrirá los requisitos de la demanda en cualquier caso.

6. CONCLUSIONES

El mercado actual está cubierto en el corto y medio plazo. Existen reservas para cubrir la demanda a medio y largo plazo. Las dificultades técnicas están o bien superadas o en vías de serlo. Teniendo en cuenta las limitaciones confirmadas sobre las existencias de combustibles fósiles y las altísimas inversiones necesarias para cubrir sus necesidades de los próximos años, las restricciones ambientales que condicionan seriamente su utilización y los elevados y mantenidos aumentos de precios de estos combustibles (con impactos mucho mayores que posibles subidas similares en el uranio) se hace patente la necesidad de asumir la energía nuclear como una de las soluciones principales para nuestro futuro energético.

Por último, como factor de seguridad económico y social, las características de energía sostenible de la nuclear, mostradas en este escrito, ofrecen un indudable incentivo para su expansión y utilización por nuestras sociedades de hoy y del futuro.