

ENERGÍA NUCLEAR Y SEGURIDAD DE SUMINISTRO

J.E. GUTIÉRREZ

Según todos los estudios, la demanda de energía crece siempre más rápido que la población, dándose además la circunstancia de que el consumo de energía eléctrica crece más rápidamente que el de otras energías primarias. Dado el espectacular crecimiento que están experimentando algunos de los países en desarrollo, la pregunta es: ¿con qué tipo de fuente energética cubriremos el aumento de la demanda de energía eléctrica?. Si la energía debe ser barata, fiable y limpia, la energía nuclear debe ser una de las fuentes que cubra dicho aumento de la demanda.

En este sentido es importante analizar el ciclo del combustible nuclear para conocer la fiabilidad del suministro de la energía nuclear. Desde este punto de vista son importantes tres de las etapas de la primera parte del ciclo del combustible: fabricación del concentrado de uranio, enriquecimiento y fabricación.

En los últimos tiempos la producción minera ha cubierto escasamente la mitad de la demanda de uranio, mientras que el resto ha sido cubierto con las llamadas fuentes secundarias: inventarios, reservas estratégicas, dilución de uranio altamente enriquecido procedente de armas militares o reprocesamiento. Las reservas conocidas actuales cubren 65 años de operación del parque actual. Esas reservas son mucho mayores si se suman las no disponibles actualmente o si se utilizase directamente el uranio natural o si se reprocesase.

En la etapa del enriquecimiento se aprecia la necesidad de la entrada en operación antes del final de la década de las nuevas plantas previstas. La entrada en el mercado del uranio militar altamente enriquecido distorsiona este mercado. En fabricación existe un 30% de exceso de capacidad, que se concentra en un suministrador que acumula el 50% de dicho exceso. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el elemento combustible no es una *commodity* por lo que el exceso de capacidad no puede ser usado directamente por el mercado.

En conclusión, se puede afirmar que aunque el uranio no se escapa a las tensiones de otras materias primas y que como todos los combustibles fósiles podría acabarse, el avance de las tecnologías y la existencia de fuentes secundarias garantizan la seguridad de este suministro incluso en situación de un crecimiento como el previsto.

According to all kinds of studies, the demand for energy grows more rapidly than population. And it also happens that the consumption of electric energy grows more rapidly than consumption of other primary energies. In view of the spectacular growth of some developing countries, the question is: what type of energy source will we use to cover the growing demand for electric power? If energy should be cheap, reliable and clean, nuclear power should be one of the sources used to cover the growing demand.

In this respect, it is important to analyze the nuclear fuel cycle to ascertain the reliability of the nuclear power supply. From this perspective, there are three important stages of the front-end of the fuel cycle: uranium concentrate fabrication, enrichment and manufacturing.

In recent years, mining production has barely covered half of the demand for uranium, while the rest has been covered by the so-called secondary sources: inventories, strategic reserves, dilution of highly enriched uranium from military weapons, or reprocessing.

The known reserves today are enough to cover 65 years of operation of the current fleet. These reserves are much larger if we include those not currently available, or if natural uranium is used directly or reprocessing is included.

In the enrichment stage, there is a need to start operation before the end of the decade of the new plants that are planned. The entry into the market of highly enriched military uranium distorts this market. There is 30% excess capacity in manufacturing, which is concentrated in one supplier that accounts for 50% of this excess. Nevertheless, it must be remembered that the fuel assembly is not a commodity, which means that the excess capacity cannot be used directly by the market.

To conclude, it can be safely said that, although uranium is not exempt from the tensions to which other raw materials are subject and, as all the fossil fuels, it too could be depleted, the advance of technologies and the existence of secondary sources will guarantee the security of this supply even if growth predictions are fulfilled.

Todas las agencias mundiales y analistas económicos insisten en que las curvas de crecimiento de prácticamente todos los indicadores económicos y sociales muestran un crecimiento exponencial; es decir, que la sociedad en que vivimos está expuesta a crecimientos espectaculares y sostenidos; sobre todo en algunos de los países en vías de desarrollo. En la Figura 1 se muestra una de las muchas previsiones de crecimiento de población que se publican. Lo interesante de esta gráfica es ver como los crecimientos de población y de energía no son proporcionales. Es decir, la demanda de energía crece siempre más rápido que la población y, desde luego, mucho más con el desarrollo económico de dicha población. Otro punto importante es constatar que el consumo de energía eléctrica crece más rápidamente que el de otras energías primarias.

No olvidemos que el consumo de energía eléctrica presenta unas características propias que no poseen otras energías. Primero exige importantes concentraciones de potencia y segundo debe suministrarse de forma ininterrumpida. Dado que algunas industrias

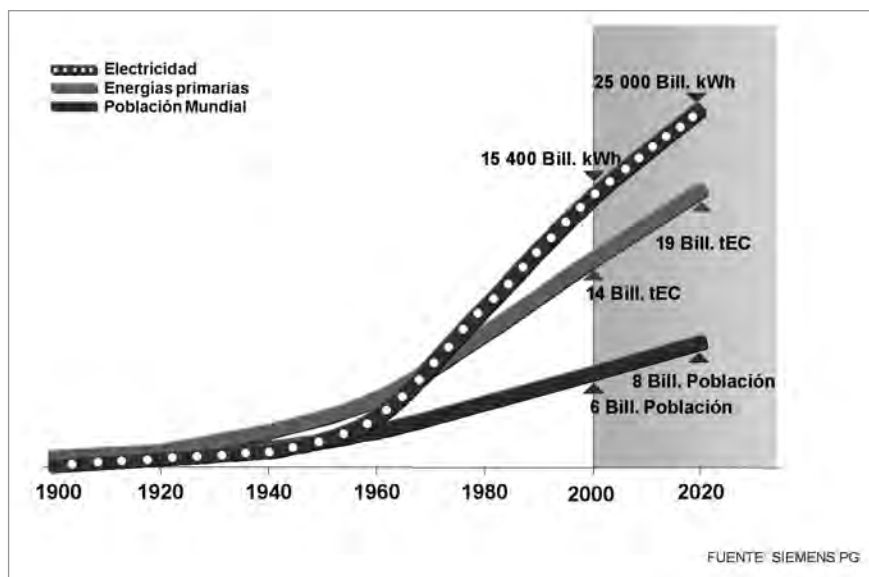


Figura 1. Crecimiento.

Figura 2. Emisiones de CO₂.

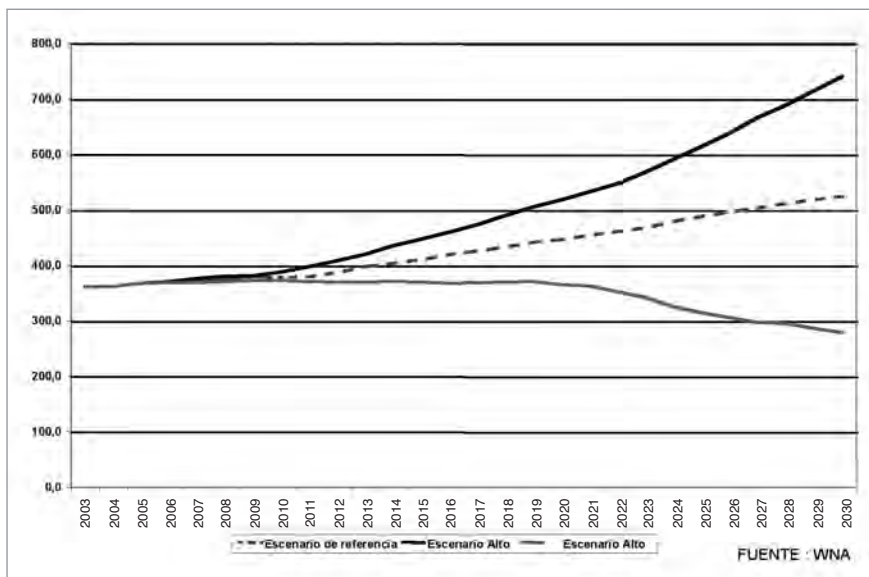
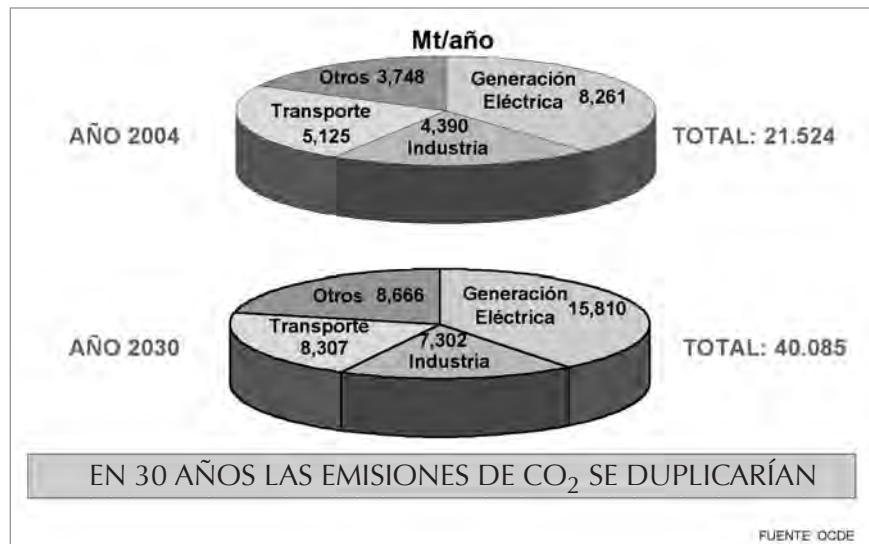


Figura 3. Previsión de capacidad mundial de generación nuclear.

consumen mucha energía el coste de dicho suministro es un factor de competitividad muy importante, por lo que la energía eléctrica debe ser barata. Por otro lado, hemos llegado a la conclusión, quizás un poco tarde, de que debe ser generada de forma limpia. Efectivamente, de forma creciente los científicos alertan de los problemas generados por la disminución de la capa de ozono que protege la Tierra, debido a la emisión de gases de efecto invernadero; especialmente CO₂. Este hecho ha llevado a los países a tratar de establecer límites a las emisiones de dichos gases. Tras diversos intentos, el llamado Protocolo de Kyoto ha entrado en vigor en numerosos países y entre ellos la Unión Europea.

Como puede verse en la Figura 2, las emisiones de CO₂ se producen en distintas actividades, siendo la más importante la generación de energía eléctrica. La previsión es que si no hacemos nada, en 30 años las emisiones se habrán duplicado debido al crecimiento del que hablábamos al comienzo de este artículo. A la vista de los datos mostrados en la Figura 2 es claro que se debe trabajar en varios frentes a la vez, reduciendo las emisiones en el transporte o disminuyendo el consumo de energía por unidad de producto producido. En este caso nos centraremos en la generación de energía eléctrica.

Como se aprecia en la Figura 3, las principales fuentes de energía actuales, carbón, gas y petróleo son las más contaminantes. De esta manera, si el crecimiento previsto de la demanda de energía eléctrica se cubre exclusivamente con este tipo de energías los objetivos de reducción de emisiones contaminantes serán imposibles de cumplir.

En este contexto surge la pregunta: ¿con qué tipo de fuente energética cubriremos el aumento de la demanda de energía eléctrica?. La respuesta inmediata sería con renovables. Sin embargo, es bien conocido que hoy por hoy las energías renovables disponibles, eólica, solar o bio-masa son incapaces de cubrir dicho aumento con los parámetros de fiabilidad y economía requeridos. Es evidente que se debe seguir invirtiendo en el desarrollo de dichas fuentes de energía, pero no se ve en el medio plazo la posibilidad de su uso masivo. En todo caso aunque no puedan ser usadas de forma masiva, si que son un magnífico complemento de las fuentes básicas. No solamente cubren las puntas de demanda, sino que pueden proporcionar energía o agua caliente a instalaciones específicas a un coste muy interesante.

Hemos repetido varias veces que una de las características fundamentales de

cualquier fuente de energía es la fiabilidad; esto es, la garantía de que este disponible cuando se la necesite. Pues bien fuentes como la eólica o la solar solamente producen un tercio del tiempo posible; mientras que la hidráulica solamente puede aportar un porcentaje significativo de la producción en los años húmedos. Otras fuentes como la nuclear producen el 90 % del tiempo, o el carbón que lo hace un 70 %.

Si los factores de decisión del tipo de energía a utilizar para cubrir la mayor parte del crecimiento del que hemos hablado son: economía, fiabilidad y limpieza nos encontramos ante la realidad de que la energía que mejor cumple con dichos factores es la energía nuclear. Sin embargo, factores como la seguridad de suministro, el uso racional de los recursos o el ajuste continuo de la oferta a la demanda nos llevan a la conclusión de que necesitamos todas las fuentes energéticas. Unas tecnologías cubrirán la base de la demanda, otras los picos, otras los consumos específicos, etc... En este sentido la energía nuclear es imprescindible para mantener los ritmos de crecimiento actuales cumpliendo los parámetros que repetidamente se han mencionado a lo largo de este artículo.

En estos momentos existen en operación unas 440 centrales nucleares en todo el mundo, aportando un 16 % de la generación eléctrica. En la Unión Europea, dicho porcentaje se eleva al 33% con un total de 145 reactores en operación. Uno de los países con mayor porcentaje de generación nuclear es Francia, un 76%, con 58 reactores en operación. Con estos datos, no es casualidad que el coste de la electricidad en Francia sea de los más bajos de la Unión Europea y que este sea uno de los pocos países que cumple con los criterios y requisitos del Protocolo de Kyoto.

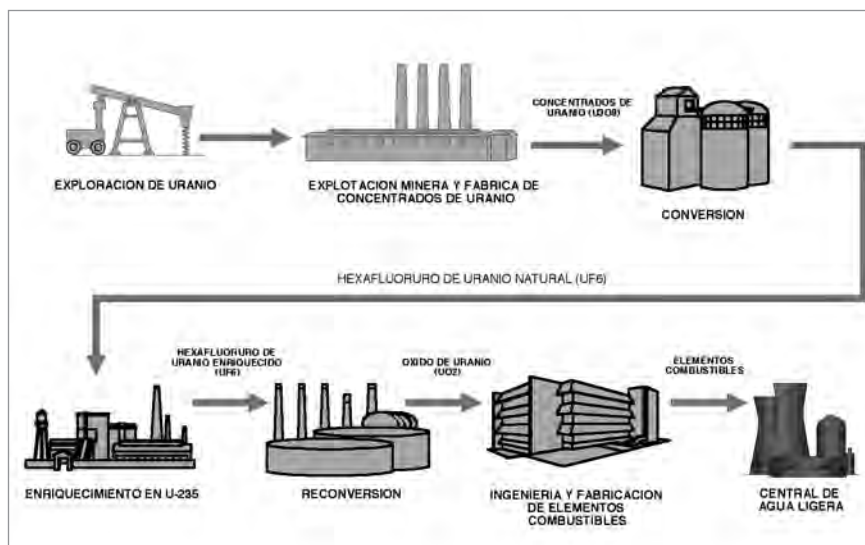
Mientras que en los países occidentales la construcción de nuevas centrales nucleares ha estado parada durante mucho tiempo, y en cierta medida continua, con la excepción de Finlandia y Francia; en los países asiáticos estamos asistiendo a una fuerte apuesta por este tipo de energía. Países como China, Japón o India han apostado definitivamente por la construcción de nuevas centrales. Estados Unidos está también en un proceso de vuelta después de la moratoria que de hecho se impuso después del incidente de la central de las Tres Millas. En concreto el Departamento de Energía americano está impulsando iniciativas muy importantes referidas a la energía nuclear; una de ellas, conocida como Energía Nuclear 2010, enfocada a conseguir la

TIPO DE ENERGÍA	tCO ₂ /kWh
NUCLEAR	0
CARBÓN/FUEL	700-1000
CICLO COMBINADO	400
HIDRÁULICA	0
EÓLICA	0

Tabla 1

Figura 4. Emisiones de CO₂.

Figura 5. Primera parte del Ciclo de Combustible nuclear.



licencia combinada de construcción y operación de la siguiente generación de reactores, conocidos como pasivos, a construir en los próximos años en USA; otra fue la aprobación de la nueva Ley de Energía 2005, con garantías para las seis primeras plantas que se construyan; y por último, el proyecto "Global Nuclear Energy Partnership" dirigido a la investigación de nuevas tecnologías referidas a la no proliferación, el ciclo cerrado del combustible o al desarrollo de los reactores de nueva generación.

Con todas estas iniciativas la World Nuclear Association (WNA) ha realizado un estudio sobre la capacidad de generación nuclear necesaria en los próximos 25 años y la demanda futura de uranio. En todos estos estudios se contemplan tres escenarios: a) el de referencia; b) el más alto u optimista; y c) el más bajo o pesimista. En la Figura 4 se muestra la previsión de la WNA de capacidad de generación nuclear. En este punto, hay que plantearse una pregunta importante: ¿está la industria

nuclear mundial preparada para afrontar dicho crecimiento?; y más concretamente: ¿está la industria del combustible capacitada para suministrar a ese mercado potencial?. Trataremos de responder a esta pregunta.

En la Figura 5 se muestran las etapas de la primera parte del Ciclo del Combustible Nuclear. El Ciclo comienza con la exploración minera del uranio, para localizar los yacimientos, y acaba con la entrega del Elemento Combustible a la central nuclear. Entre medias se producen tres etapas industriales que son básicas en el proceso: fabricación del concentrado de uranio, enriquecimiento y fabricación.

De cara al objetivo de este artículo vamos a analizar las curvas de oferta y demanda de las tres etapas fundamentales del ciclo del combustible nuclear.

En la Figura 6 se muestran las previsiones de demanda y oferta de concentrados de uranio preparadas por la WNA. Como puede apreciarse en la gráfica estamos en unos momentos

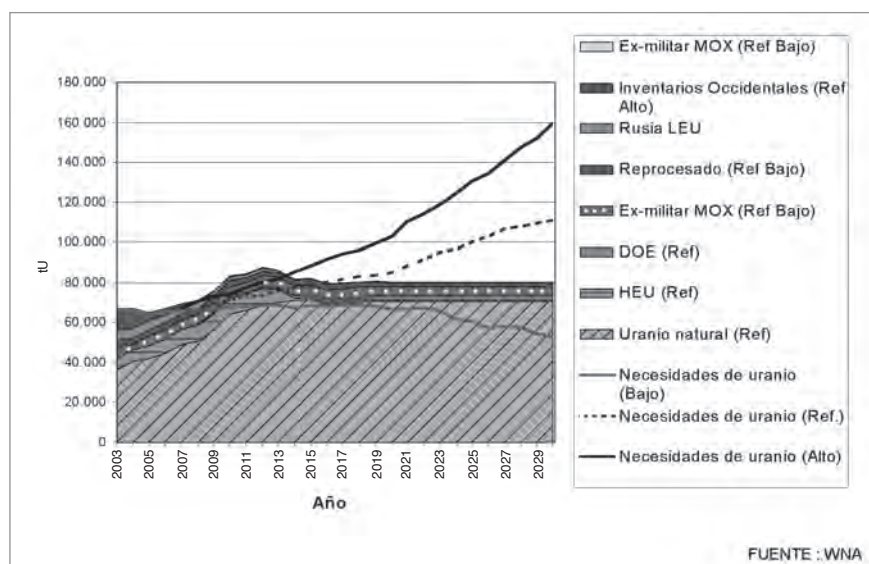
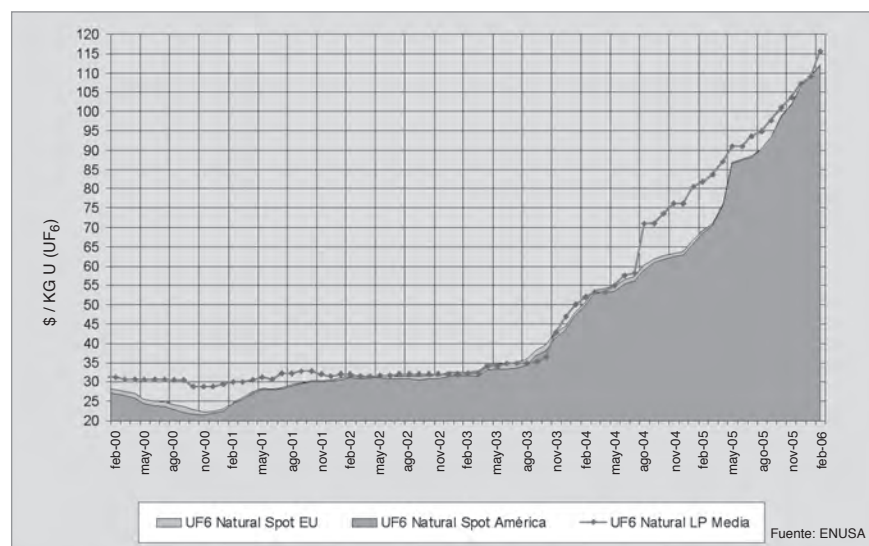


Figura 6. Previsión de demanda y oferta de concentrado de Uranio.

Figura 7. Precio del UF₆ Natural.



de ajuste peligroso de oferta y demanda, que lleva a una moderada preocupación por el suministro y que, entre otros factores, está empujando al alza el precio del uranio (véase la Figura 7). A medio plazo, mediados de la próxima década, se espera que la oferta no cubra la demanda esperada. Según la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE las reservas convencionales y disponibles hoy, cubrirían la operación del actual parque de centrales nucleares en los próximos 65 años. Si se usan combustibles mixtos, de uranio y plutonio, dichas reservas cubrirían 10 años más. Si se utilizan reactores rápidos, que consumen uranio natural, las reservas pueden cubrir entre 100 y 1000 años, dependiendo del porcentaje de estos reactores en el parque de generación. Si se tienen en cuenta las reservas

convencionales pero no exploradas, la disponibilidad de uranio se eleva hasta los 200 años en el primer caso, hasta los 250 en el segundo y se consideran casi ilimitadas en el caso de los reactores rápidos. La puesta en explotación de nuevas minas depende del precio de mercado, dado que éste está subiendo no se pone en duda la entrada en explotación de dichas minas. Otro factor de incertidumbre importante son los arsenales militares de uranio altamente enriquecido. Rusia ha puesto en el mercado algunas cantidades, pero se desconoce con exactitud que puede poner en el futuro o si EE.UU. hará lo mismo y en qué cantidades. Aunque existan estas incertidumbres, los analistas están convencidos de que el crecimiento de la oferta puede ser perfectamente cubierto.

Por otro lado hay que tener en cuenta que en los últimos tiempos se está empezando a pensar en algunos países en volver al ciclo cerrado del combustible, como desde siempre viene haciendo Francia o está en vías de hacerlo Japón. En esta línea se ha producido un importante cambio en la percepción del combustible gastado. Hasta ahora se hablaba de él como de un residuo; hoy se pone el énfasis en una realidad: un elemento combustible conserva intacta al final de su vida útil el 80% de su capacidad energética, que con la tecnología actual de los reactores comerciales no puede ser aprovechada. Sobre la base de esta realidad se está trabajando en diversos proyectos internacionales para optimizar el reprocesado del combustible gastado, extrayendo el uranio y el plutonio y reutilizándolos como combustibles mixtos. Otras líneas de investigación se dirigen al desarrollo de los reactores rápidos que utilizan uranio natural en lugar de uranio enriquecido. Son especialmente importantes los avances de la India en este sentido. Por último, existen diversos centros de investigación trabajando en el uso del Torio como combustible nuclear. Todas estas iniciativas nos indican que las fuentes de combustible pueden en el futuro no ceñirse únicamente a las convencionales que conocemos hoy.

En la Figura 8 se muestra la previsión de la WNA para el caso del enriquecimiento. La gráfica muestra claramente la necesidad de nuevas inversiones en esta etapa del proceso. Si combinamos esta necesidad con la realidad de que algunas instalaciones utilizan tecnologías antiguas que consumen mucha energía eléctrica, concluiremos que la entrada en producción de las nuevas plantas previstas en EE.UU. y en Francia no puede demorarse más allá del final de esta década. De nuevo en este punto, la entrada en el circuito del uranio altamente enriquecido procedente de los programas militares distorsiona el mercado del enriquecimiento.

Finalmente nos referiremos a la fabricación del combustible. En la Figura 9 se ve claramente el exceso de oferta actual, que se estima en un 30%. Sin embargo este exceso debe ser matizado. Hasta el momento hemos estado hablando de dos productos, el concentrado de uranio y los servicios de enriquecimiento, que son lo que se conoce como "commodities"; esto es, productos directamente intercambiables entre suministradores. Esto no ocurre con el elemento combustible fabricado; en este caso estamos hablando de un producto muy tecnológico, no fácilmente intercambiable. Esto hace que el exceso de capacidad

no sea directamente aplicable y que el cambio de un suministrador a otro requiera tiempo y trabajos de ingeniería y licenciamiento. Además, si se analizan los datos en detalle se observa que el exceso de capacidad de fabricación se concentra en un suministrador, que acumula aproximadamente el 50% del exceso.

Otro factor importante que caracteriza a la fabricación es su cercanía al usuario final; esto es, los mercados de fabricación son básicamente continentales, a diferencia de los dos anteriores que son mundiales. Los intercambios entre continentes son muy pocos, debido a las dificultades y al coste de los transportes. Este hecho colabora a dificultar el aprovechamiento del exceso de oferta. Por último hay que reseñar que la competencia en este mercado se ha reducido significativamente por las compras y fusiones entre fabricantes, por lo que en muchos mercados la competencia se ha reducido a dos suministradores; existiendo todavía nichos de mercado en situación de monopolio.

La competencia relativamente restringida en este mercado, la poca intercambiabilidad entre productos y tecnologías y la general psicosis sobre la escasez de materias primas energéticas ha incorporado al debate sobre la seguridad del suministro el tema de la fabricación del combustible. En el área de la energía nuclear este debate se había producido alrededor del uranio o de los servicios de conversión y enriquecimiento, pero no en la fabricación. Tanto suministradores como empresas eléctricas están empezando a pensar en fórmulas para garantizar esta etapa del suministro.

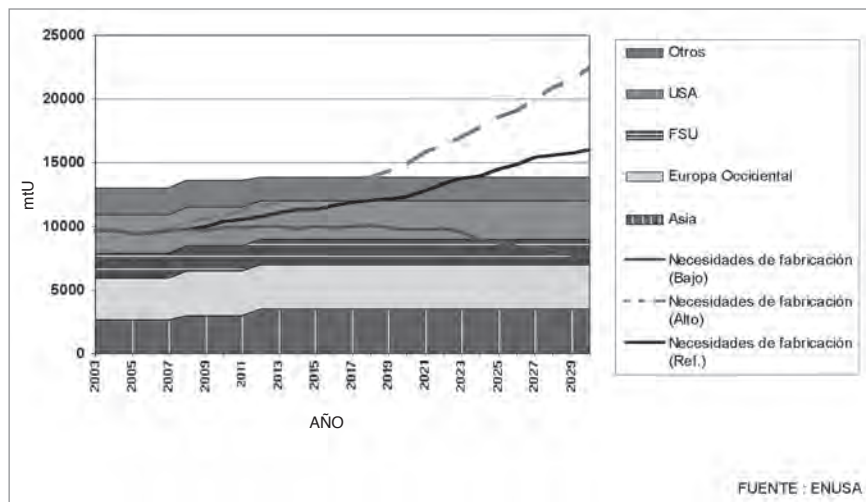


Figura 9. Previsión de demanda y oferta de fabricación.

En conclusión el mercado de la fabricación de combustible no presenta en su conjunto problemas generales de capacidad. Estos problemas los sufre algún suministrador concreto o también el continente asiático debido a su fuerte crecimiento. Acuerdos internacionales entre socios o suministros desde otros continentes permitirán soslayar estos problemas específicos de seguridad de suministro.

Como hemos visto en el recorrido realizado por las etapas del proceso de suministro, el uranio no se escapa a las tensiones que están soportando todos los mercados de materias primas del mundo. Es más, en el caso del mercado del combustible nuclear las tensiones son debidas, o mejor dicho pueden serlo, al crecimiento en los países asiáticos, como en el caso del resto de materias primas. Hemos visto que en el

caso específico del uranio, materia prima nuclear, las necesidades pueden ser cubiertas con facilidad y hasta de forma indefinida a poco que avancen algunas tecnologías. Y todo ello añadido a un factor determinante en el caso del uranio, que este es su único uso. El uranio no tiene usos alternativos, como sí ocurre con el resto de materias primas para la producción de energía eléctrica.

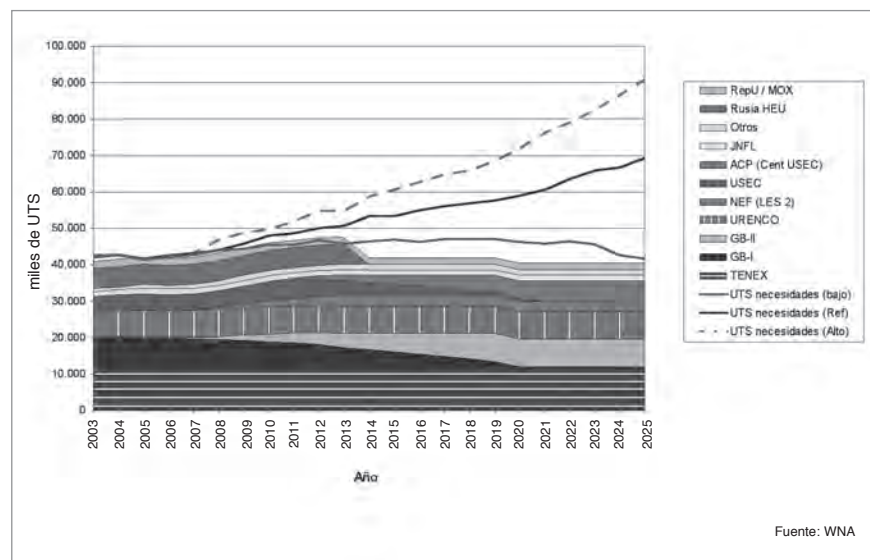


Figura 8. Previsión de demanda y oferta de enriquecimiento.



José E. GUTIÉRREZ es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid. Ha trabajado como Ingeniero de Análisis de Tubos de la Central Nuclear de Trillo en Empresarios Agrupados, S.A. En 1985 se incorporó a ENUSA como Ingeniero del Departamento de Diseño Mecánico. Durante seis meses colaboró con GE en varios proyectos de desarrollo en San José (California). Posteriormente ha ocupado varios puestos de responsabilidad en la compañía en áreas de Sistemas de Información, Calidad e Ingeniería. En 1998 es nombrado Director de Tecnología y Calidad de ENUSA. En la actualidad y desde 2001 desempeña el puesto de Director de Combustible. Ha publicado numerosos artículos y pronunciado conferencias en distintos foros internacionales sobre energía nuclear.