



## El espejismo nuclear a la luz de la situación energética mundial (I)

Marcel Coderch Collell \*

**Tema:** Ante el debate energético que se ha iniciado, conviene cuantificar y analizar el escenario mundial para afrontar la disyuntiva nuclear sin caer en espejismos autocomplacientes y sin repetir errores del pasado. A menudo se propone la reactivación nuclear –como respuesta al encarecimiento del petróleo y al cambio climático– pasando por alto sus limitaciones, cualitativas y cuantitativas, y sin valorar sus costes e inconvenientes en relación a otras opciones. Un análisis pormenorizado de la opción nuclear plantea, sin embargo, importantes interrogantes, algunos quizá insalvables, acerca de su viabilidad e idoneidad, tanto a nivel nacional como internacional

**Resumen:** La reactivación de la opción nuclear sólo tendría sentido y trascendencia si se hiciera globalmente y con una magnitud significativa. Ocurre, sin embargo, que un despliegue de centrales nucleares capaz de cubrir la demanda eléctrica mundial en las próximas décadas es inviable, por múltiples razones. Y un programa nuclear reducido a lo posible tendría poca incidencia sobre los precios del petróleo; no reduciría significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub>; muy probablemente tuviera que hacer frente a una escasez de uranio fisible; monopolizaría las inversiones energéticas con un enorme riesgo financiero; generaría grandes cantidades de residuos de larga vida; empeoraría la seguridad, y aumentaría el riesgo de proliferación nuclear. En la primera parte de este análisis cuantificamos lo que supondría sustituir los combustibles fósiles por energía nuclear en la generación eléctrica para el horizonte 2030, demostrando que se trata de una opción a todas luces inviable. En la segunda parte analizamos otras propuestas menos ambiciosas –la del MIT y la de la World Nuclear Association–, valorando lo que supondrían en términos de reducción de emisiones y de ahorro de combustibles fósiles, así como sus aspectos económicos y de participación estatal, tratando en especial el caso español.

**Análisis:** En un debate de esta naturaleza conviene fijar primero un horizonte temporal para no caer en el espejismo de posibles tecnologías que difícilmente puedan materializarse en el período en el que se presentan los problemas a los que hay que hacer frente. En este análisis adoptamos el horizonte 2030, que es el que generalmente contemplan los organismos internacionales y que es también el adecuado para decisiones de inversión con períodos de maduración dilatados, como son las relativas a infraestructuras energéticas. La situación española, además, debe ser contemplada desde una óptica global ya que las decisiones que adoptemos forzosamente deberán tener en cuenta los condicionantes y las estrategias que vayan cristalizando a nivel internacional.

---

\* Ingeniero de Telecomunicaciones, Master y Doctor por el MIT, Secretario de la Asociación para el Estudio de los Recursos Energéticos (AEREN)

### *Los retos energéticos del siglo XXI*

Desde el punto de vista energético, en la primera mitad de siglo nos enfrentamos a cuatro retos fundamentales:

- (1) La más que probable llegada al inicio del declive de la producción mundial de petróleo convencional, seguido, unos lustros más tarde, por el mismo fenómeno para el gas natural.
- (2) El acusado incremento de demanda energética global, debido sobre todo a la irrupción de importantes economías en vías de industrialización, como las de China y la India, y a la necesidad de mejorar el nivel de vida de los países del Tercer Mundo.
- (3) La elevada concentración de las reservas finales de hidrocarburos en áreas de inestabilidad geoestratégica, y la consiguiente competencia que se desatará para acceder a estos recursos.
- (4) La obligación de ir reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero hasta mantener sus concentraciones atmosféricas en niveles que no lleguen a provocar la desestabilización del sistema climático planetario.

Es precisamente en el marco de estos retos donde se plantea la posibilidad de iniciar un nuevo ciclo de construcciones nucleares que, según los partidarios de esta opción, contribuiría a mitigar significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> y a moderar el incremento de los precios de los combustibles fósiles, aportando otros vectores energéticos limpios que pudieran ir sustituyéndolos. Esto reduciría nuestra dependencia de los países productores de petróleo y contribuiría a la estabilidad geoestratégica, al tiempo que podría proporcionar la electricidad que necesitan los países emergentes y liberar los recursos fósiles que son imprescindibles para su industrialización. Desde estas premisas se afirma que los inconvenientes que presenta la energía nuclear –en términos de residuos, seguridad, proliferación y costes– serían menores que sus ventajas y que, en cualquier caso, serían contrapartidas asumibles y gestionables. Veremos, sin embargo, que cuando se hace un análisis pormenorizado y cuantitativo, se ve que en realidad se trata de un ejemplo más del conocido aforismo inglés: *too good to be true*.

### *El panorama energético internacional*

Según el escenario de referencia de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) planteado en el *World Energy Outlook 2004 (WEO2004)*,<sup>1</sup> proyectando a futuro las tendencias actuales el crecimiento económico global –determinante del consumo energético– sería de un 3,2% anual en el período 2002-2030, con un 5% para China. La población mundial pasaría de los 6.200 millones de habitantes a más de 8.000 millones en el mismo período, con un 80% viviendo en economías en desarrollo. La energía primaria necesaria para alimentar este crecimiento económico y demográfico aumentaría en un 1,7% anual, alcanzando en 2030 los 16.500 millones de toneladas equivalentes de petróleo (un 60% de crecimiento acumulado), con dos terceras partes del incremento en países en desarrollo. La intensidad energética (energía/PIB) mejoraría al ritmo del 1,5% anual, prácticamente equiparándose en todo el mundo al final del período.

Los combustibles fósiles seguirían dominando el *mix* energético, con una cuota superior al 80%, y el petróleo mantendría su predominio con un importante aumento de las exportaciones provenientes de Oriente Medio. La energía nuclear perdería cuota, experimentando un ligero crecimiento del 0,4% anual, y el gas natural sería el combustible que más crecería, con un 2,3% anual. Resultado de todo ello, las emisiones de CO<sub>2</sub> alcanzarían los 38.000 millones de toneladas anuales en 2030 –un incremento

<sup>1</sup> [http://www.iea.org/textbase/publications/free\\_new\\_Desc.asp?PUBS\\_ID=1266](http://www.iea.org/textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1266)

del 62% sobre los niveles de 2002-. De este incremento de emisiones, un 37% serían debidas al petróleo, un 33% al carbón y el 30% restante al gas natural. Del total de emisiones en 2030, el petróleo generaría un 39%, el carbón un 36% y el gas un 24%.

La demanda de electricidad se duplicaría entre 2002 y 2030, pasando de ser el 16% de la energía final consumida en 2002 al 20% en 2030. Casi la mitad del gas natural consumido se emplearía para generar electricidad y aproximadamente el 40% de las centrales nucleares actuales serían clausuradas en el período analizado. El consumo eléctrico global pasaría de los 16.074 TWh de 2002 a 31.657 TWh en 2030, creciendo un 2,5% anual, y se precisaría para ello un incremento de generación de 4.800 GWe, incluyendo nuevas instalaciones y el reemplazo de infraestructuras caducas. De ese incremento, 2.000 GWe serían en países de la OCDE y 2.800 GWe en países en desarrollo. Es obvio que la energía nuclear podría tener un papel mucho más destacado en este incremento de generación que el que le asigna la AIE.

Este escenario de referencia sólo sería viable si se diera un crecimiento continuado de la producción de petróleo y gas natural, y si hacemos caso omiso de las consecuencias que podrían tener estos consumos para la dinámica climática del planeta (o bien si se encontrara la forma de inmovilizar buena parte del CO<sub>2</sub> generado). La producción petrolera tendría que pasar de los 77 mb/d del 2002 a 121 mb/d en 2030, y la de gas natural de los 2,6 bm<sup>3</sup>/a de 2002 a los 4,9 bm<sup>3</sup>/a en 2030, y ya se ha dicho que ello supondría un incremento del 62% sobre las emisiones de 2002. Se trata por tanto de un escenario de dudosa viabilidad por el gran incremento de combustibles fósiles que supone y, en cualquier caso, de consecuencias climáticas imprevisibles. Quizá por eso cada vez son más los que plantean la necesidad de encontrar sustitutos al creciente consumo de recursos fósiles.

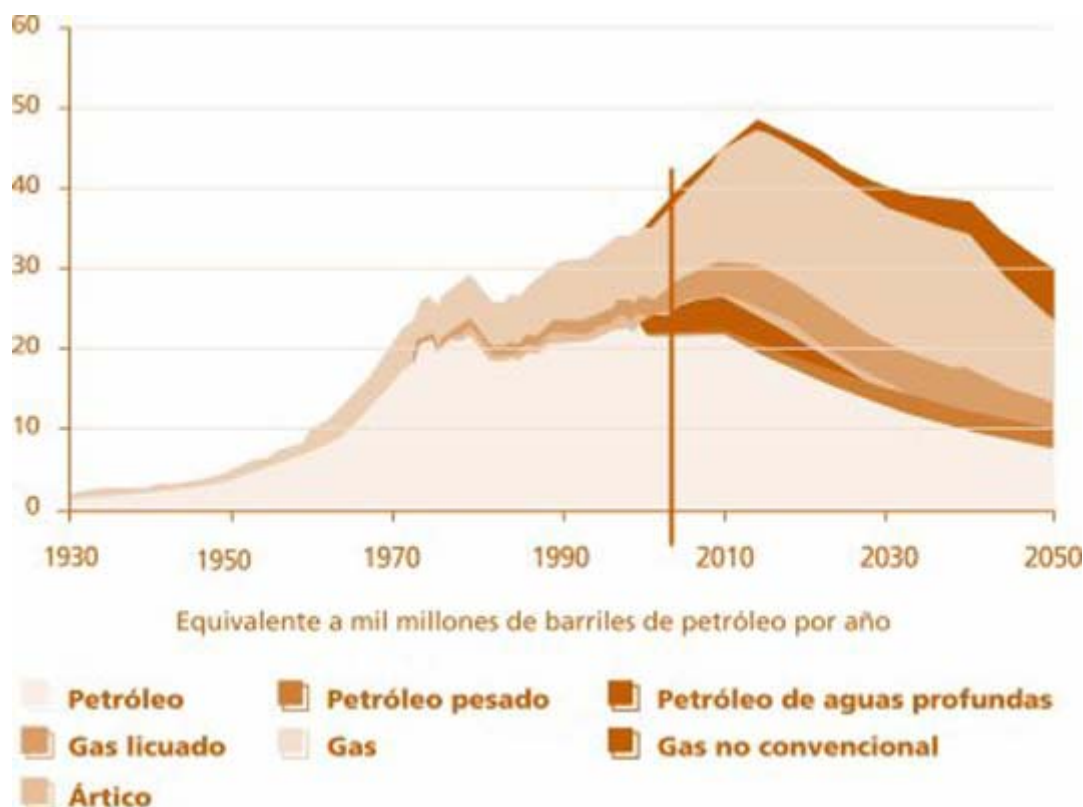
Esta necesidad se agudiza por las previsiones de la próxima llegada al cenit de la producción mundial de petróleo. Si bien es cierto que la AIE afirma en su *WEO2005*<sup>2</sup> que no espera que se alcance este cenit antes de 2030 –si se realizan las inversiones necesarias– la discrepancia entre sus previsiones de precios medios para los próximos 25 años (unos 35-37 dólares/barril en dólares de 2004) y el comportamiento del mercado en los dos últimos años –en los que se ha llegado a superar los 70 dólares/b– hace pensar que, como creen otros, sí estaríamos acercándonos a este cenit. Véase, por ejemplo, el siguiente gráfico de Repsol-YPF que lo sitúa, tanto para el petróleo como para el gas natural, bastante antes de 2030:

**(Ver Gráfico 1 en página siguiente)**

---

<sup>2</sup> [http://www.iea.org/textbase/publications/free\\_new\\_Desc.asp?PUBS\\_ID=1540](http://www.iea.org/textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1540)

Gráfico 1. Producción mundial anual de petróleo y gas, 1930-2050E



Fuente: REPSOL YPF. 67th EAGE Conference & Exhibition, Madrid, 13-16/VI/2005.<sup>3</sup>

Parece, pues, probable que bien por reducción de la oferta, bien por consideraciones climáticas, será necesario sustituir progresivamente el petróleo y el gas natural por otros vectores energéticos limpios en el período considerado. Algo a lo que, en principio, también podría colaborar la energía nuclear, por ejemplo generando hidrógeno, como a menudo se sugiere. No se trata de entrar aquí en el debate sobre la fecha más probable del cenit del petróleo,<sup>4</sup> sino de analizar la posible contribución de la energía nuclear al cumplimiento del escenario de referencia arriba descrito, y a la hora de sustituir a los combustibles fósiles, por lo menos en la generación eléctrica.

Es decir, ¿sería posible mantener, en líneas generales, el escenario macroeconómico de la AIE, aumentando significativamente el parque nuclear de forma que pudieran reducirse notablemente los consumos de combustibles fósiles y las emisiones de CO<sub>2</sub>? Responder a esta pregunta es el principal objetivo del análisis que se desarrolla a continuación.

La propia AIE dibuja en el *WEO2004* un escenario alternativo en el que la demanda global de energía primaria sería un 10% menor que la de referencia, siendo cubierta con un importante incremento de la energía nuclear (un 14%) y de las renovables (un 30%), lo cual posibilitaría una disminución del consumo de recursos fósiles del 14%, siempre con respecto a las cifras de referencia. Como resultado de este cambio en el *mix* energético, el incremento de emisiones sobre 2002 bajaría al 39%. Sin embargo, en ese escenario sigue aumentando de forma importante el consumo de petróleo y el propio informe señala que las emisiones "no se reducirían lo suficiente para asegurar la

<sup>3</sup> <http://www.eage.nl/conferences/index2.phtml?confid=17>

<sup>4</sup> Pueden consultarse las opiniones del autor al respecto en *El fin del petróleo barato*, disponible en [http://www.fp-es.org/oct\\_nov\\_2004/story\\_5\\_19.asp](http://www.fp-es.org/oct_nov_2004/story_5_19.asp)

estabilización de las concentraciones atmosféricas” de gases de efecto invernadero. Por tanto, un 14% de incremento de la energía nuclear resulta insuficiente para alcanzar los objetivos apuntados y deberíamos pensar en crecimientos más ambiciosos, si es que hemos de hacer caso a aquellos que proponen el relanzamiento nuclear como freno al cambio climático y al incremento de precios del petróleo.

*El modelo francés: la electricidad, nuclear o renovable*

Una de las primeras opciones a considerar sería la de seguir el modelo francés, incrementando progresivamente el parque de reactores hasta conseguir que en 2030, o algo más tarde quizá, buena parte de la electricidad mundial que está previsto generar con combustibles fósiles fuera de origen nuclear, ya que ello no requeriría, en principio, innovación técnica alguna. De esta manera, la generación eléctrica no produciría emisiones, bien porque fuera nuclear, bien renovable. Ello ahorraría enormes cantidades de gas natural y de carbón, y también bastante petróleo –con la consiguiente disminución de las emisiones– y podría forzar a la baja, o por lo menos no contribuir al alza, de los precios de los recursos fósiles y extender en el tiempo su disponibilidad.

Veamos lo que ello supondría. Según el *International Energy Outlook 2005 (IEO2005)*<sup>5</sup> de la Energy Information Administration (DOE/EIA), en un escenario *business-as-usual*, la capacidad eléctrica instalada evolucionaría de la siguiente forma:

**Tabla 1. Capacidad eléctrica instalada (GWe)**

	2002	2025	2030
Carbón	987	1.403	1.511
Gas natural y petróleo	1.207	2.560	3.011
Nuclear	361	422	437
Renovables	763	1.110	1.201
Total	3.318	5.495	6.160

Fuente: *International Energy Outlook 2005*, DOE/IEA. Datos para 2030 extrapolados.

Según estas cifras, para sustituir la capacidad prevista con combustibles fósiles por electricidad nuclear habría que construir antes de 2030 más de 4.500 reactores tipo de 1GWe para sustituir 1.511 GWe de carbón y 3.011 GWe de gas y petróleo, además de 146 reactores para renovar el parque actual y otros 72 cubrir el incremento ya previsto. En total, 4.740 nuevos reactores de 1GWe, lo cual supone construir y poner en producción un reactor cada dos días durante los próximos 25 años. Siendo optimistas en los plazos de construcción (cinco años), esto implicaría tener 950 equipos humanos y técnicos construyendo reactores permanentemente. Algo difícil de imaginar, por mucho que se hable de estandarizar los diseños. Téngase en cuenta que en el ciclo anterior de construcciones nucleares (1963-1988) sólo se construyeron 423 reactores (17 reactores por año).

Pero dejemos a un lado las dificultades logísticas (y financieras) que supondría un programa de construcciones nucleares de esta envergadura y evaluemos la cantidad de combustible que haría falta para alimentar un parque de reactores de tal magnitud, ya que podría ser otro factor limitante. Con toda seguridad se trataría, mayoritariamente, de construir reactores de neutrones térmicos de Tercera Generación con un ciclo cuasiabierto de combustible (alimentados con uranio MOX, enriquecido con algo de plutonio). En el mejor de los casos, no se prevé que antes de 2030 esté operativa la Cuarta Generación de reactores de neutrones rápidos con ciclos cerrados de combustible (que se prevé lleguen a multiplicar por 60 el rendimiento de éste, por la utilización masiva de plutonio) y, por tanto, en los próximos decenios el principal combustible nuclear deberá

<sup>5</sup> <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/>

seguir siendo el uranio. La opción del torio tampoco parece posible en estos plazos, máxime cuando, como ha señalado Anne Lauvergeon, presidenta del grupo Areva, en el último *World Nuclear Association Annual Symposium*,<sup>6</sup> “para estimular una nueva época de crecimiento, los reactores evolucionados son más atractivos que los diseños revolucionarios [y]... los nuevos diseños no deben basarse en soluciones técnicas demasiado innovadoras” porque “la percepción de riesgo que tienen los inversores frente a nuevos proyectos nucleares es todavía relativamente elevada”. Todo indica, pues, que se utilizarían centrales tradicionales con reactores de agua ligera, si acaso con alguna que otra mejora en cuestiones de rendimiento y seguridad.

Basta un cálculo elemental para ver hasta qué punto extender el modelo francés chocaría con la falta de disponibilidad de uranio –algo, por otra parte, sabido, ya que existen serias dudas sobre esta disponibilidad incluso para alimentar un parque de reactores ligeramente superior al actual–. En 2004, los 365 GWe de capacidad nuclear consumieron unas 67 kt de uranio (aproximadamente 180 toneladas de uranio por GWe y año), de las cuales 36 kt procedieron de minas en explotación, y el resto del reciclado de armas nucleares y otras fuentes secundarias (es decir, de producciones anteriores). Las previsiones para el parque actual (con crecimiento vegetativo) cifran la producción minera de uranio en 50 kt anuales para 2015, apareciendo un importante déficit a partir de 2010, para cuando finalice el desmantelamiento de las armas nucleares y se hayan consumido los *stocks* rusos, como indica la siguiente tabla:

**Tabla 2. Oferta y demanda mundial de uranio (toneladas de uranio)**

	2004	2005	2006	2007	2010	2015
Demanda	<b>66.658</b>	<b>68.400</b>	<b>69.600</b>	<b>70.800</b>	<b>74.800</b>	<b>79.400</b>
Oferta						
Uranio militar	10.700	10.600	10.700	11.100	12.400	
Stocks DOE	385	1.192	1192	1.192	2.154	2.346
Stocks comerciales	7.876	7.000	7.000			
Stocks Rusia	2.900	3.500	3.800	3.900		
MOX	2.500	2.500	2.600	2.800	3.000	3.600
Uranio reprocesado	1.500	1.500	1.700	1.700	2.000	2.000
Reaprovechamiento de colas	4.250	3.650	3.300	3.000	1.500	
Producción minera	36.263	36.575	36.094	42.286	48.014	50.321
Total	<b>66.374</b>	<b>66.517</b>	<b>66.386</b>	<b>65.978</b>	<b>69.068</b>	<b>58.267</b>
Déficit	-284	-1.883	-3.214	-4.822	-5.732	-21.133

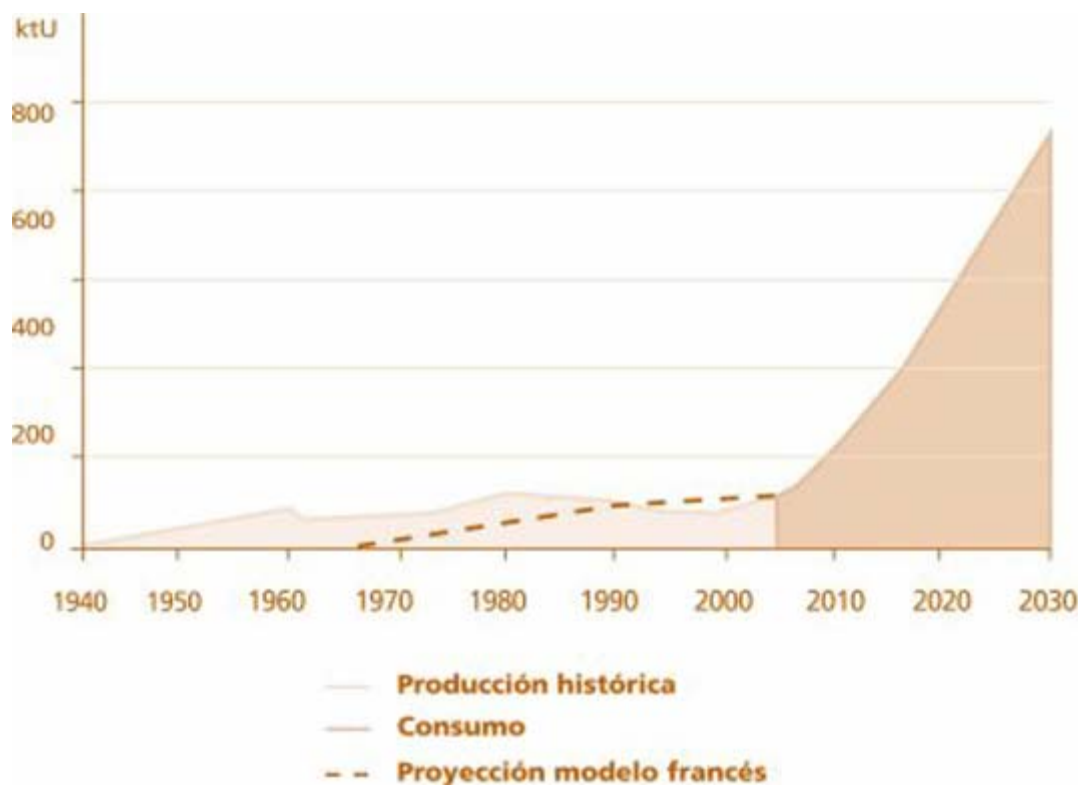
Fuente: Moukhtar Dzhakishev, *World Nuclear Association Annual Symposium*, Londres, 2004.<sup>7</sup>

Si suponemos un crecimiento lineal desde los 365 GWe actuales hasta los 4.959 GWe que habría en 2030, la demanda de uranio para el 2015 sería de unas 400 kt y de más de 700 kt en el 2030, lo cual implicaría multiplicar por ocho la capacidad de producción que hoy se cree puede estar disponible en el 2015, y por quince para el 2030. Teniendo en cuenta que la producción anual nunca ha superado las 68 kt, que la capacidad de producción actual es cercana a las 45 kt, y que el potencial de las minas conocidas es limitado, la única posibilidad de satisfacer estos incrementos de demanda es con el descubrimiento y puesta en producción de nuevos e importantes yacimientos. Para comprender la magnitud del *gap*, basta con observar gráficamente cómo la producción histórica palidece frente a las necesidades de este escenario:

<sup>6</sup> <http://www.world-nuclear.org/sym/2005/pdf/Lauvergeon.pdf>

<sup>7</sup> <http://world-nuclear.org/sym/2004/dzhakishev.htm>

**Gráfico 2. Producción frente a demanda de uranio, 1947-2030**



Fuente: datos históricos y Jeff Combs, World Nuclear Association Annual Symposium, Londres, 2004.<sup>8</sup>

Además, según Tim Gitzel, vicepresidente de Areva (véase *Challenging or Easy? Natural Uranium Availability to Fuel a Nuclear Renaissance*),<sup>9</sup> el período que transcurre entre una señal de escasez en el mercado y la respuesta en forma de suministro es de 20 años, siendo este período “incompresible”. Lo cual, de ser cierto, descartaría cualquier crecimiento importante del parque nuclear antes de 2030.

Supongamos, sin embargo, por mor del argumento, que fuéramos capaces de alcanzar una capacidad de producción de 700 kt/año de aquí a 2030. En el contexto de nuestro análisis, ello plantea dos cuestiones. En primer lugar, las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generarían en esta fase del ciclo nuclear. Por la cantidad de uranio necesario, casi con toda seguridad habría que recurrir a yacimientos de roca dura y de bajas concentraciones (mena < 0,02 %) o a las minas de fosfatos (0,003 % de mena). Producir 700 kt de uranio a partir de minerales con un 0,03% de mena, por ejemplo, supone extraer y procesar 2.300 millones de toneladas de mineral al año (aproximadamente el 50% de todos los minerales metálicos extraídos de la Tierra en la actualidad), lo cual, previsiblemente, se haría con combustibles fósiles, poniendo en cuestión uno de los principales argumentos utilizados en favor de la opción nuclear. De hecho, hay estudios<sup>10</sup> que apuntan a que para minas con una mena inferior al 0,02% se genera más CO<sub>2</sub> en el minado y enriquecimiento de uranio que el que luego se evita, en comparación con una generación igual con gas natural.

En segundo lugar, está la cuestión de la cantidad total de uranio producible a un coste monetario y energético aceptable. Suponiendo, como se dice, que la vida útil de los nuevos reactores tipo EPR será de unos 60 años, el volumen total de uranio necesario

<sup>8</sup> <http://world-nuclear.org/sym/2004/combs.htm>

<sup>9</sup> <http://world-nuclear.org/sym/2005/pdf/Gitzel.pdf>

<sup>10</sup> Por ejemplo, <http://www.oprit.rug.nl/deenen/>

para alimentar los 4.959 reactores en todo su ciclo de vida sería de 45 millones de toneladas de uranio (incluso teniendo en cuenta un progresivo uso de combustible MOX). Los recursos de uranio natural pueden clasificarse, según coste y grado de certidumbre, de la siguiente forma:

**Gráfico 3. Recursos de uranio natural**

Millones de Toneladas Métricas de Uranio	Recursos Convencionales				Recursos No-Convencionales
	US\$/ Kg U \$/lbU308	Recursos Razonablemente Asegurados	Probables	Hipotético	
<40 <15		1,7	0,8		
40 - 80 15 - 30		0,8	0,3	1,5	4,4
80 - 130 30 - 50		0,7	0,3	0,8	3,1
>130 >50		?	?		
		3,2	1,4	2,3	7,5
<b>Total</b>		<b>4,6</b>	<b>14,4</b>	<b>9,8</b>	<b>15 - 25</b>

Fuente: *Red Book*, NEA/OCDE-IAEA, 2003.<sup>11</sup>

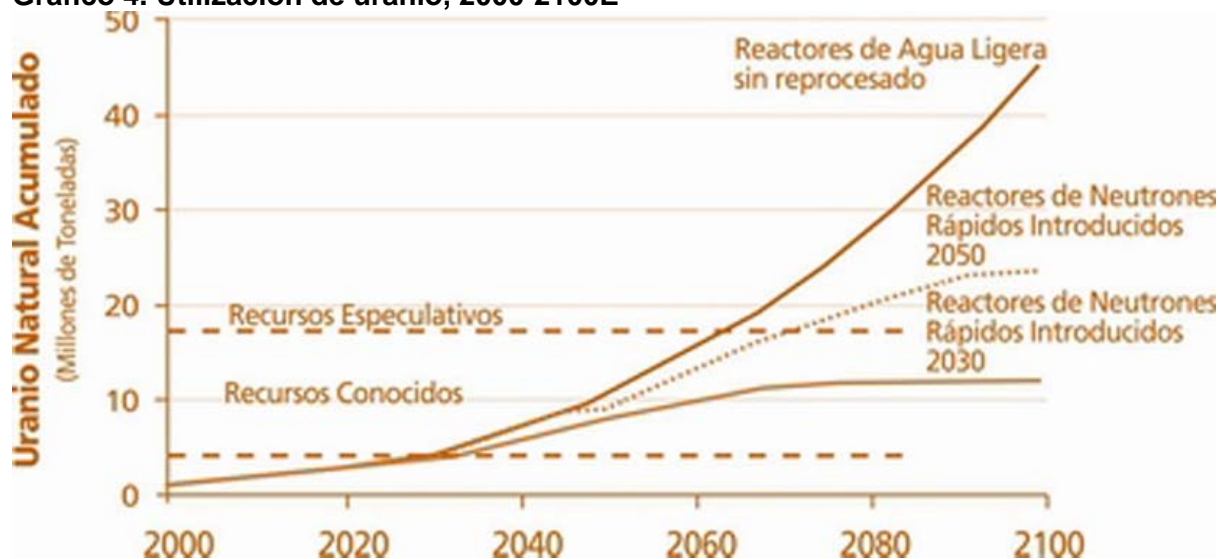
Se sabe, pues, que hay 3,2 millones de toneladas localizadas y calibradas (RAR, *Reasonably Assured Resources*) a distintos niveles de precios, y otros 1,4 millones que pueden inferirse de yacimientos con similares características. A estos 4,6 millones de toneladas cabría añadir otros 2,3 millones hipotéticos (evaluados en base a evidencias indirectas) y 7,5 millones especulativos (que se cree pueden existir en áreas no exploradas pero de geología prometedora). En total, pues, unos 14,4 millones de toneladas de recursos convencionales, y posiblemente otras 15-25 millones de toneladas de yacimientos no convencionales (fosfatos, etc.), de los que se desconoce por completo cual podría ser su coste. Ni sumando todos los recursos catalogados por la NEA/OCDE – convencionales y no-convencionales, ya sean localizados, hipotéticos o especulativos– se llegaría a cubrir los consumos proyectados para todo el ciclo de vida de los reactores necesarios para satisfacer la demanda eléctrica mundial de los próximos decenios. Hay quien piensa que esto podría solucionarse con la inmensa cantidad de uranio diluido en el mar, pero la concentración de uranio marino es de 3 mg por tonelada de agua y un simple cálculo energético indica que la energía necesaria para bombear y extraer este uranio es superior a la que luego puede obtenerse en reactores convencionales con el uranio así extraído. Otras técnicas de extracción basadas en absorbentes podrían ser viables a largo plazo, estimándose los costes entre los 200 dólares/kgU y los 1.000 dólares/kgU, frente a los 34 dólares/kgU actuales, pero todo ello es poco más que una especulación.

<sup>11</sup> *Uranium 2003: Resources, Production and Demand*, OECD Publishing, 2004.



No parece pues viable alimentar un parque tan importante de reactores a lo largo de toda su vida útil y, por tanto, iniciarlo en estas condiciones sería una temeridad que, por otra parte, el mundo financiero difícilmente aceptaría. Ésta es la razón fundamental por la cual Francia, Japón y Rusia apostaron desde el comienzo de la era nuclear por desarrollar reactores de neutrones rápidos que generaran y consumieran plutonio a partir de uranio no fisible, como el Superphénix francés y el Monju japonés –ambos clausurados recientemente por funcionamiento deficiente– y es también la razón fundamental por la cual se plantea la Cuarta Generación, de la que, como hemos dicho, no se esperan resultados prácticos antes de 2030.

**Gráfico 4. Utilización de uranio, 2000-2100E**



Fuente: *A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems*, DOE, 2002.<sup>12</sup>

Como puede verse en el Gráfico 4, el proyecto de Cuarta Generación parte de la necesidad de introducir reactores de neutrones rápidos alrededor de 2030 por el previsible agotamiento de los recursos de uranio, incluso con el desarrollo vegetativo del parque actual. Podemos por tanto descartar esta tecnología para los próximos 25 años.

Pero, para no dejar ningún cabo suelto, supongamos que de alguna forma se consiguiera el uranio necesario, ya sea de las minas o del mar, y que fuera posible extraerlo sin generar más CO<sub>2</sub> del que se pretende ahorrar –por más que sea mucho suponer–. Quedaría todavía por resolver la cuestión de los residuos. Los 4.959 reactores en funcionamiento en 2030 generarían cada año 86 kt de combustible irradiado, y en 25 años se habrían acumulado más de un millón de toneladas de residuos radiactivos de alta actividad que habría que almacenar. Teniendo en cuenta que la capacidad prevista del almacén geológico de Yucca Mountain es de 70 kt, habría que construir un almacén de estas características casi cada año, o varias decenas de almacenes al año como el previsto en Finlandia (Eurajoli, de 4 kt), repartidos por todo el mundo. Otra imposibilidad manifiesta, cuando en la actualidad no hay ni un solo almacén geológico operativo y el de Yucca Mountain, que lleva quince años en estudio, no se prevé entre en funcionamiento antes de 2012 y, en cualquier caso, ni siquiera tendrá capacidad para almacenar los residuos ya generados en EEUU en aquella fecha. Frente a la problemática de los residuos suele esgrimirse que aplicando técnicas de separación y transmutación sería posible reducir el volumen de residuos y su vida media, pero, una vez más, nos encontramos con hipotéticos futuribles teóricos que, en la práctica, sólo resolverían parcialmente el problema –seguramente a costa de crear otros nuevos– y que en

<sup>12</sup> [http://gif.inel.gov/roadmap/pdfs/gen\\_iv\\_roadmap.pdf](http://gif.inel.gov/roadmap/pdfs/gen_iv_roadmap.pdf)

cualquier caso, de ser posibles, lo serían en otras escalas de tiempo y con costes elevadísimos. Para un análisis detallado de los problemas que plantea la transmutación como estrategia de gestión de residuos, véase [The Nuclear Alchemy Gamble](#), de Hisham Zerriffi y Annie Makhijani.<sup>13</sup>

Por si faltara algo, a todo lo anterior podemos añadir la problemática de la proliferación nuclear y de la seguridad frente a posibles ataques terroristas. Dado que, como hemos dicho, más de dos terceras partes de la electricidad a generar es necesaria en países hoy no nuclearizados, algunos de ellos caracterizados por sistemas políticos poco estables, o de alguna forma enfrentados a las potencias nucleares, el riesgo de contribuir a una proliferación nuclear generalizada es evidente. Existe un amplio consenso en que no debería difundirse el parque de reactores a menos que este riesgo, derivado del funcionamiento comercial del ciclo de combustible nuclear, pudiera reducirse a niveles aceptables, pero eso significaría restringir a unos pocos países las instalaciones de enriquecimiento y reprocesamiento. Para ello, habría que modificar el Tratado de No-Proliferación Nuclear, cosa que no parece fácil y, además, que la mayoría de Estados aceptarían depender de unos pocos países para el suministro de su combustible, lo cual pondría límites a su soberanía difícilmente asumibles. La actitud de Irán y Corea del Norte es un ejemplo de lo que podría esperarse de otros países.

En cuanto a la seguridad frente al terrorismo, los flancos a proteger son numerosos, empezando por las piscinas en las que actualmente se guarda el combustible irradiado, o los almacenes temporales a los que se trasladan estos residuos cuando se llenan dichas piscinas, a la espera de soluciones definitivas. Según un informe reciente de la Academia de Ciencias de los EEUU,<sup>14</sup> un ataque a esas piscinas podría producir emanaciones radioactivas similares a las de Chernobil. Por otra parte, se ha sabido recientemente que un informe clasificado del Gobierno francés<sup>15</sup> advierte que los nuevos reactores EPR no están preparados para resistir un ataque aéreo como el realizado el 11-S, lo cual ha paralizado los trabajos de la comisión encargada del debate público sobre estos reactores. Si a todo ello le añadimos que las nuevas instalaciones nucleares estarían repartidas por todo el mundo, con el consiguiente trasiego de material radiactivo, y que serían un blanco muy atractivo para acciones terroristas espectaculares, la seguridad frente al terrorismo constituye un obstáculo más a un despliegue masivo como el aquí contemplado.

Por todo lo dicho, y sin siquiera entrar en valoraciones económicas y de competitividad, no parece viable extender el modelo francés a otros países, como sugiere, por ejemplo, Juan Velarde Fuertes.<sup>16</sup> Pero, aún si lo fuera, ¿sería aconsejable desde el punto de vista de la seguridad operativa? Sin considerar los reactores de la extinta Unión Soviética, la experiencia indica que la tasa de accidentes con daños en el núcleo del reactor ha sido de  $10^{-4}$  accidentes/reactor-año. Es posible que con una nueva generación de reactores pudiera reducirse esta tasa hasta los  $10^{-5}$  accidentes/reactor-año, como supone un estudio del MIT,<sup>17</sup> lo cual, para un parque de 4.959 reactores funcionando durante 60 años, daría, aproximadamente, un accidente graves cada 20 años. Un riesgo seguramente inaceptable para la sociedad y que tampoco parece que fuera a ser aceptado por la comunidad financiera, ya que un nuevo accidente tipo Three Mile Island o Chernobil muy probablemente volviera a paralizar todo el programa.

<sup>13</sup> <http://www.ieer.org/reports/transm/report.pdf>

<sup>14</sup> [http://darwin.nap.edu/execsumm\\_pdf/11263](http://darwin.nap.edu/execsumm_pdf/11263)

<sup>15</sup> <http://www.sortirdunucleaire.org/index.php?menu=sinformer&sousmenu=themas&soussousmenu=epr-confidentiel&page=index>

<sup>16</sup> "El ejemplo energético francés", ABC, 8/IX/2004.

<sup>17</sup> <http://web.mit.edu/nuclearpower/>

Reduciendo este planteamiento de máximos, el Instituto de Ciencias Nucleares francés ha esbozado un escenario intensivo en energía nuclear que plantea para 2030 un 85% de cobertura en países de la OCDE, un 50% en los países de la antigua órbita soviética y un 30% para el resto del mundo.<sup>18</sup> Este escenario implica la construcción de 3.000 GWe nucleares en 20 años, lo cual supone aproximadamente un reactor cada tres días y un consumo de uranio que, según los autores, agotaría las reservas estimadas en el período de vida útil de estas centrales. Este programa de construcciones habría de detenerse en el 2025 por falta de uranio, y su continuidad sólo sería posible si para entonces se hubieran desarrollado los reactores de neutrones rápidos capaces de utilizar plutonio y torio como combustible, como persigue el referido proyecto de Cuarta Generación. Este escenario, sin embargo, está sujeto a las mismas consideraciones arriba apuntadas y corrobora, además, las dificultades que tendría la posible continuidad de un programa nuclear masivo.

**Conclusiones:** En suma, cabe concluir que un escenario de ampliación del parque nuclear para sustituir los combustibles fósiles empleados en la generación eléctrica no es viable con la tecnología nuclear que podría desplegarse en las próximas décadas. Y si ni siquiera es viable producir de esta forma la electricidad que consumimos directamente, mucho menos lo sería ampliar sus usos a la generación de hidrógeno como posible sustituto del petróleo. Una tercera parte de la energía primaria se utiliza en el transporte y proviene casi exclusivamente de derivados del petróleo. Sustituir, aunque sólo fuera en parte, este petróleo por hidrógeno, producido, bien por electrolisis, bien por descomposición termoquímica del agua, utilizando energía nuclear, es un absurdo energético, ya que implicaría sustituir combustibles fósiles por energía eléctrica en el transporte mientras se siguen empleando dichos combustibles para generar la electricidad que se consume directamente. Producir hidrógeno para el transporte con medios nucleares sólo tendría sentido cuando ya se hubiera sustituido todo el petróleo y el gas natural empleado en la generación eléctrica, y por tanto aquellos que preconizan la energía nuclear señalando el espejismo del hidrógeno harían bien en repasar las cifras, teniendo en cuenta que antes de llegar a ese hipotético y lejano oasis futuro, hay que atravesar el desierto de las dificultades presentes y del futuro más inmediato.

Bajo ningún concepto, por tanto, puede afirmarse que la energía nuclear es una alternativa real al consumo de combustibles fósiles y una solución al problema del cambio climático, por lo menos en las próximas décadas. Quizá por eso, aquellos que proponen un renacimiento nuclear rara vez concretan cifras y por ello sus alusiones a estos dos problemas –que son reales– deben interpretarse como una simple cortina de humo para salvar una industria en dificultades, y no como un intento serio de afrontar el dilema energético-climático.

En la segunda parte de este análisis se evalúan dos propuestas, una del MIT y otra de la World Nuclear Association, que sí cuantifican un posible programa de construcciones nucleares, valorando la contribución que estas propuestas tendrían a la reducción de emisiones y al ahorro de combustibles fósiles, así como sus aspectos económicos y políticos en lo que suponen de modificación de la tendencia actual hacia la progresiva liberalización del sector energético, con especial referencia al caso español.

*Marcel Coderch Collell*

*Ingeniero de Telecomunicaciones, Master y Doctor por el MIT, Secretario de la Asociación para el Estudio de los Recursos Energéticos (AEREN)*

---

<sup>18</sup> H. Nifenecker, D. Heuer, J.M. Loiseaux, O. Meplan, A. Nuttin, S. David y J.M. Martin, "Scenarios with an Intensive Contribution of Nuclear Energy to the World Energy Supply", *International Journal of Global Energy Issues* (IJGEI), vol. 19, nº 1, 2003.