



¿Es competitiva a la larga la energía nucleoelectrica?

por Fatih Birol

Las últimas perspectivas mundiales del sector energético presentan un futuro incierto.

El mundo se encuentra ante una doble amenaza energética: la de carecer de suministros de energía suficientes, seguros y a precios asequibles, y la de los daños medioambientales que el uso de la energía produce. El vertiginoso aumento de los precios y los recientes acontecimientos geopolíticos nos han recordado el papel fundamental que la energía desempeña en el crecimiento económico y el desarrollo humano, así como la vulnerabilidad del sistema energético mundial a las interrupciones de suministro.

Una vez más, salvaguardar los suministros energéticos es la máxima prioridad de la agenda política internacional. Sin embargo, el patrón actual del suministro energético conlleva la amenaza de daños medioambientales graves e irreversibles. Conciliar los objetivos de seguridad del suministro energético y de la protección del medio ambiente requiere medidas gubernamentales firmes y coordinadas, así como el respaldo del público en general.

Estas inquietudes han reactivado el debate sobre el papel de la energía nucleoelectrica. En los dos últimos años, algunos gobiernos han hecho declaraciones a favor de un mayor papel de esta energía en el conjunto energético futuro, y algunos de ellos han adoptado medidas para construir una nueva generación de reactores seguros y rentables.

A lo largo de los dos próximos decenios y medio, la energía nucleoelectrica, junto con la mejora de la eficiencia energética y las energías renovables, podría contribuir a apaciguar la preocupación que provoca la excesiva dependencia de los combustibles fósiles en la producción de electricidad, y, sobre todo, los temores derivados del cambio climático y la creciente dependencia de las importaciones de gas:

✓ La energía nucleoelectrica es una fuente de electricidad de muy baja emisión de CO₂. Producir una capacidad de

1 GW de energía nucleoelectrica en lugar de producirlo con carbón evita la emisión de 5,6 millones de toneladas de CO₂ al año. Las centrales nucleares no emiten ningún tipo de contaminantes como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno o partículas.

✓ Gracias a las centrales nucleares se puede reducir la dependencia de las importaciones de gas y, a diferencia de éste, los recursos de uranio están muy repartidos por todo el mundo. Con las políticas actuales, para el año 2030 esta dependencia habrá aumentado en todas las regiones de la OCDE (la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) y en los principales países en desarrollo, siendo este aumento imputable, fundamentalmente, al sector de la energía.

✓ Las centrales nucleares producen electricidad a costos relativamente estables, ya que el costo del combustible representa una pequeña fracción del costo total de producción. El uranio en bruto representa 5% y, una vez tratado, 15%. En las centrales de gas el combustible representa en torno a 75% del costo total de producción.

Perspectivas para la energía nucleoelectrica

El *World Energy Outlook de 2006*, la publicación emblemática de la Agencia Internacional de la Energía, contempla dos escenarios políticos.

● El **escenario de referencia** da por sentado que las políticas gubernamentales actuales permanecerán en general inalteradas y proseguirán con sus programas en curso de expansión o eliminación gradual de la energía nucleoelectrica. Se supone que los objetivos marcados para la producción de

energía nucleoelectrica no serán alcanzados si son considerados irrealistas. Los supuestos macroeconómicos, técnicos y financieros en que se basan los objetivos de muchos países son a menudo distintos de los utilizados en la publicación.

● El **escenario de políticas alternativas** supone que se introducirán otras políticas para combatir el calentamiento global y asegurar los suministros, incluso medidas para impulsar el papel de la energía nucleoelectrica. Da también por supuesto que los gobiernos de los países que ya poseen centrales nucleares apoyarán prolongaciones de la vida útil de los reactores existentes o la construcción de otros nuevos y que todos los países que cuentan con políticas de supresión gradual cerrarán sus reactores más tarde de lo previsto para contener las emisiones de CO₂, hacer frente a las inquietudes sobre la seguridad del suministro y retrasar la necesidad de hacer nuevas inversiones. En el escenario de referencia descrito en el *World Energy Outlook 2006* se prevé que la capacidad mundial de energía nucleoelectrica aumente, pasando de los 368 GW actuales a 416 GW en 2030, y en el escenario de políticas alternativas, a 519 GW.

Escenario de referencia. En este escenario se prevé que la producción mundial de energía nucleoelectrica aumente de 2 789 TWh en 2005 a 3 304 TWh en 2030. Estas cifras representan una tasa media de crecimiento anual de 0,7%, frente a 2,5% anual para el total de la electricidad generada. La capacidad instalada aumentará de 368 GW a 416 GW. Se supone que los factores de capacidad nucleoelectrica mejorarán con el paso del tiempo, principalmente en los países que ahora se encuentran por debajo de la media mundial. En general, el factor medio de capacidad mundial pasará de 85% en 2005 a 91% en 2030.

Los aumentos más significativos de la capacidad instalada están previstos en China, Japón, India, Estados Unidos, Rusia y la República de Corea. La capacidad nucleoelectrica en los países europeos de la OCDE se reducirá de 131 GW a 74 GW. Las supresiones de la energía nucleoelectrica por etapas en Alemania, Suecia y Bélgica representarán 35 GW. Se da por sentado que todas las centrales nucleares de estos tres países estarán cerradas antes de 2030.

La proporción de la energía nucleoelectrica en la producción mundial de electricidad descenderá de 15% a 10%. La reducción más drástica de la proporción de energía nucleoelectrica tendrá lugar en los países europeos de la OCDE, donde descenderá de 29% en 2005 a 12% en 2030.

Escenario de políticas alternativas. En este otro escenario, la producción mundial de energía nucleoelectrica llegará a 4 106 TWh en 2030, y aumentará a un ritmo medio anual de 1,6%. La proporción de la energía nucleoelectrica en el total de la producción mundial de electricidad descenderá ligeramente del 15% actual y permanecerá en torno a 14% a lo largo del período contemplado. La capacidad nucleoelectrica instalada alcanzará 519 GW en 2030. La mayor diferencia entre los dos escenarios surge después del año 2020, debido a los largos plazos de entrega de las centrales nucleares.

La capacidad instalada aumentará en todas las regiones principales, salvo en los países europeos de la OCDE, donde

se prevé que las nuevas construcciones no serán suficientes para compensar el cierre de las antiguas centrales. Modificar este panorama en los mercados competitivos de Europa requerirá probablemente claras señales del mercado derivadas de los compromisos a largo plazo de reducir las emisiones de CO₂. A mediados de 2006 no existían objetivos concretos sobre el alcance de los recortes en las emisiones de CO₂ después de 2012. Se supone que las políticas de supresión por etapas seguirán en vigor, pero se verán postergadas unos diez años. Sobre esta base, en el año 2030 Alemania se quedaría con un solo reactor, mientras que los reactores de Bélgica y Suecia todavía seguirían en funcionamiento ese mismo año. En el Reino Unido, todos los reactores menos uno estarían retirados y no serían reemplazados.

Los mayores aumentos de la capacidad de producción de energía nucleoelectrica se prevén en China, Estados Unidos, Japón, la República de Corea, India y Rusia, que poseerán dos tercios de la capacidad nucleoelectrica mundial en 2030.

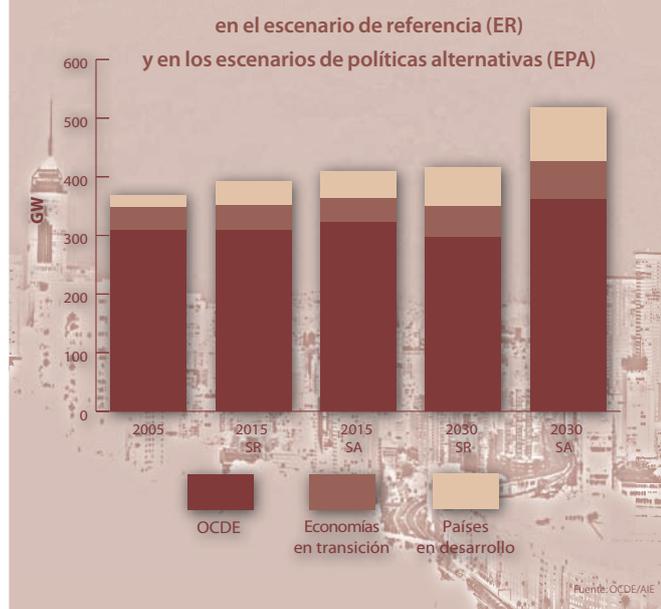
Los mayores aumentos de la capacidad de producción de energía nucleoelectrica se prevén en China, Estados Unidos, Japón, la República de Corea, India y Rusia. Se prevé que estos seis países poseerán en 2030 dos tercios de la capacidad nucleoelectrica mundial, frente a la mitad que poseen actualmente. Los factores de la capacidad nucleoelectrica son los mismos que los empleados en el Escenario de Referencia.

El mayor aumento de la proporción de energía nucleoelectrica en la producción de electricidad está previsto en los países del Pacífico miembros de la OCDE, donde alcanzará 41% en 2030, frente a 25% hoy. En los países de América del Norte miembros de la OCDE, la energía nucleoelectrica mantendrá su proporción actual. En los países de Europa miembros de la OCDE, la proporción de energía nucleoelectrica descenderá a 20% para 2030. Esta proporción es más elevada que la del Escenario de Referencia, aunque sigue siendo inferior a la proporción actual de 29%. En las economías en transición, la proporción de energía nucleoelectrica pasará de 17% a 23%. En China e India estas proporciones alcanzan 6% y 9% en 2030, siendo los porcentajes actuales de 2% y 3%, respectivamente.

La economía de la energía nucleoelectrica en los mercados competitivos

¿Cuáles son los fundamentos económicos de las nuevas centrales nucleoelectricas en comparación con las tecnologías competidoras consolidadas, a saber, las turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT), el carbón-vapor, las centrales de ciclo combinado de gasificación integrada (IGCC) y las turbinas eólicas en tierra?

Capacidad nucleoelectrica mundial



Los supuestos de los costos están basados en las expectativas para los diez o quince próximos años. El costo de construcción de las centrales de ciclo combinado de gasificación integrada (IGCC) y de las granjas eólicas será entre 10 y 15% inferior a su costo actual. Se supone que los precios del gas natural oscilarán entre 6 y 7 dólares por MBtu hasta el año 2030. El precio del carbón se refiere al precio del mercado internacional del carbón importado en los países de la OCDE (55 dólares por tonelada en 2015 y 60 dólares por tonelada en 2030), pero algunos países, entre ellos Estados Unidos y Canadá, tendrían acceso a su propio carbón, más barato, con lo que la producción de energía por carbón sería más competitiva. Para las centrales nucleares se ha empleado una serie de costos de construcción que reflejan la incertidumbre de las estimaciones de los costos de los reactores que entrarían en servicio comercial en 2015. Se trata de costos de construcción para reactores nucleares construidos en emplazamientos ya existentes. Los proyectos "Greenfield" probablemente resultarían más costosos. La mayoría de los reactores de los países de la OCDE se construirán probablemente, en emplazamientos ya existentes, al menos en los diez o quince próximos años.

Según el alcance de los riesgos asumidos por los inversores en la central eléctrica, si son accionistas de la empresa operadora o agentes financieros ajenos a la misma tendrán expectativas distintas en cuanto al rédito del capital invertido. Los dos casos analizados aquí son:

- ✓ El caso de un tipo de descuento bajo, correspondiente a una situación de inversión de riesgo moderado, en la que los riesgos de construcción y funcionamiento se comparten entre el comprador de la central, el vendedor de la central, agentes financieros ajenos y usuarios de la red eléctrica, a través de distintos sistemas, como los acuerdos de compra de energía a largo plazo, etc.
- ✓ El caso de un tipo de descuento alto representa un marco de inversión más arriesgado, en el que el comprador

de la central, junto con inversores y prestamistas, asumen una mayor proporción de los riesgos de construcción y funcionamiento.

En el *World Energy Outlook 2006* se comparan los costos de producción de energía nucleoelectrica con las principales alternativas de carga básica en el supuesto del tipo de descuento bajo. En el supuesto del costo de construcción elevado (2500 dólares/kW) la energía nucleoelectrica es competitiva con las centrales de turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT), oscilando el precio del gas en torno a los seis dólares por MBu (similar al precio medio de la OCDE en 2005 y dentro de la franja de precios asumida de 6 a 7 dólares por MBtu a lo largo de todo el período de proyección), pero resulta más cara que el carbón, que estaría a 55 dólares por tonelada. En el supuesto del costo de construcción bajo (2000 dólares/kW), la energía nucleoelectrica es competitiva con el carbón (ver gráfico, Costos de Producción de Electricidad).

En la publicación se examinan también los costos de producción en el supuesto del tipo de descuento alto. Las estimaciones de los costos de producción de energía nucleoelectrica en los supuestos de costo de construcción alto y bajo serían, respectivamente, de 5,7 céntimos y 4,9 céntimos por kWh. En el caso del tipo de descuento alto, las tecnologías de capital intensivo, como la energía nucleoelectrica y la eólica, no son competitivas con las centrales de turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT) o de carbón. En este caso, los costos de producción de la energía nucleoelectrica oscilan entre 6,8 y 8,1 céntimos por kWh (ver gráfico, Costo de Producción de Electricidad).

Existen muchas incógnitas acerca de la magnitud de los parámetros empleados en las estimaciones de los costos aquí presentados. Los factores más importantes que afectan a la competitividad de la energía nucleoelectrica son los costos de inversión, el tipo de descuento y el ciclo de vida económica de la central. Los aumentos en los precios del gas y del carbón o la introducción de un valor sobre el CO₂ mejoran la posición competitiva de la energía nucleoelectrica frente a las demás alternativas. La ubicación y el tamaño también influyen en los costos.

Los costos del combustible constituyen una pequeña fracción de los costos de producción de la energía nucleoelectrica. Un aumento de 50% (respecto a los supuestos de base) de los precios del uranio, el gas o el carbón aumentaría los costos de producción de la energía nucleoelectrica en torno a 3%, los costos de producción con carbón en 21% y los costos de producción por turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT) en 38%, lo que pone de manifiesto la mayor resistencia de la producción nucleoelectrica a los riesgos de subidas de precio de los combustibles.

¿Qué repercusión tendrían los precios del CO₂ en los costos de producción de energía nucleoelectrica, por carbón y por gas en el supuesto del tipo de descuento bajo? Un precio en torno a los 10 dólares por tonelada de CO₂ haría que la energía nucleoelectrica fuese competitiva con las centrales eléctricas de carbón, aun en el supuesto del costo de construcción alto. Este precio reducido del CO₂ indica que la energía nucleoelectrica es una opción de mitigación

económica. El precio medio del CO₂ en el Régimen de la UE para el Comercio de Derechos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero en la Comunidad ha sido muy superior en muchas ocasiones. En 2005, el precio medio del CO₂ era de 18,3 euros por tonelada (en torno a 23 dólares), y ascendió a 22,9 euros (33 dólares) en 2006 hasta finales de abril, cuando el precio se desplomó. Desde la bajada de abril de 2006 hasta finales de agosto de 2006, los precios medios del CO₂ han estado en torno a los 15,5 euros (19 dólares). En el caso del tipo de descuento alto, el precio del CO₂ tendría que oscilar entre 10 y 25 dólares para que la energía nucleoelectrónica fuese competitiva con el carbón en los supuestos del costo de capital alto y bajo, respectivamente, y entre 15 y 50 dólares para que fuese competitiva con las centrales de gas (ver gráfico, Repercusión del precio del CO₂ en los costos de producción).

La energía nucleoelectrónica requiere mucho más capital de inversión que las tecnologías alternativas de carga básica de combustibles fósiles, como, por ejemplo, las centrales de turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT) y las de carbón. De los tres componentes principales del costo de producción de la energía nucleoelectrónica – capital, combustible, funcionamiento y mantenimiento – el componente del costo del capital constituye en torno a las tres cuartas partes del total. En el caso de las centrales de turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT), el costo del capital solamente representa en torno a 20% del costo total. Las centrales nucleares requieren una inversión inicial entre 2 000 y 3 500 millones de dólares por cada reactor. Una inversión de capital importante y por adelantado puede resultar más difícil de financiar.

Las centrales nucleares tienen plazos largos de entrega, debido tanto a la fase de planificación y de obtención de licencias como a la de construcción. Los países que ya tienen establecida toda la infraestructura pueden contar con un plazo total de entrega, entre la toma de decisión y el funcionamiento comercial, de 7 a 15 años. Los plazos de construcción de las centrales nucleares son mucho mayores que los de las centrales de turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT) (generalmente entre 2 y 3 años), las centrales eólicas (de uno a dos años) y, en menor medida, las centrales de carbón (cuatro años).

En algunos países los plazos de construcción de las centrales nucleares han sido muy largos, en particular en los Estados Unidos y el Reino Unido. En Japón, las centrales nucleares se construyeron en menos de cuatro años. En China y la República de Corea, se terminó la construcción de algunas centrales nucleares antes de lo previsto.

Los costos del combustible nuclear se dividen en costos iniciales y finales. Los iniciales son el costo del uranio (en torno a 25% del costo total del combustible), su conversión (5%), el enriquecimiento en reactores de agua ligera (30%) y la fabricación de los elementos combustibles (15%). Los costos finales (aproximadamente 25% del costo total del combustible) comprenden la eliminación directa o el reprocesamiento de los desechos seguido por el reciclado del material fisible para su reutilización. Los costos de la eliminación directa, tal y como los sufragan actualmente por los servicios públicos, se dividen en el costo de

almacenamiento *in situ*, más la provisión aplicable en algunos países por la eliminación final de los desechos. Estos costos sólo representan un pequeño porcentaje del costo total de producción.

Los costos comunicados de la clausura de centrales nucleares existentes oscilan entre 200 y 500 dólares/kW para los Reactores de Agua a Presión (PWR) occidentales (en dólares del año 2001), 330 dólares para los reactores rusos tipo VVER, entre 300 y 550 dólares para los Reactores de Agua en Ebullición (BWR), entre 270 y 430 dólares para los reactores canadienses tipo CANDU, y hasta 2 600 dólares para algunos reactores Magnox del Reino Unido refrigerados por gas. Los costos de la clausura definitiva de las centrales construidas hoy en día se calculan entre 9% y 15% del costo del capital inicial, pero, una vez descontados, solamente representan un pequeño porcentaje del costo de inversión. En general, la clausura supone tan sólo una pequeña fracción de los costos totales de producción de energía nucleoelectrónica. En Estados Unidos, las empresas energéticas reservan entre 0,1 y 0,2 céntimos por kWh para financiar la clausura.

Implicaciones de las políticas

El análisis aquí presentado muestra que las nuevas centrales nucleoelectrónicas pueden generar electricidad a precios competitivos – siempre que los precios del gas y del carbón se encuentren suficientemente altos y que los riesgos de construcción y funcionamiento de las centrales nucleares sean debidamente gestionados por el vendedor de la central, la empresa operadora y/o las autoridades reguladoras (allá donde haya una reglamentación del mercado), manteniendo



el costo del capital o el tipo de descuento suficientemente bajo. En el supuesto del tipo de descuento bajo, los costos de producción de la energía nucleoelectrica oscilan entre 4,9 y 5,7 céntimos de dólar por kWh, lo que hace de la energía nucleoelectrica una opción potencialmente económica para reducir las emisiones de CO₂, diversificando la mezcla energética y reduciendo la dependencia de las importaciones de gas.

La economía no es más que un factor. Hay otras muchas dificultades que solventar para facilitar la inversión en la energía nucleoelectrica. La índole del proceso reglamentario que conduce a la obtención de la autorización para construir y poner en funcionamiento una central nuclear es un factor clave. Hay que reducir la incertidumbre y los costos del

proceso de determinar el emplazamiento y conseguir el permiso. Algunos países que ahora están debatiendo el papel de la energía nucleoelectrica no han construido una central nuclear en mucho tiempo. El gobierno de Estados Unidos ha adoptado medidas para revisar y agilizar el proceso reglamentario. También ofrece incentivos económicos para nuevas centrales. En la Revisión Energética del Reino Unido, el gobierno ha expresado su intención de agilizar el proceso de reglamentación y de planificación.

La seguridad tecnológica, la eliminación de los desechos nucleares y el riesgo de proliferación son temas que influyen en la aceptación del público y deben ser abordados de forma convincente. En los mercados liberalizados, los inversores privados correrán con el costo de la retirada de servicio y de la gestión de desechos de las centrales nucleares de nueva construcción y tendrán que poder evaluar los acuerdos establecidos para hacer frente a esos costos. La cooperación internacional (por ejemplo, compartir la capacidad y la infraestructura para la eliminación de los desechos) puede representar una ayuda. El miedo a la proliferación derivada de las actividades nucleares civiles sólo puede mitigarse con la plena participación y el cumplimiento estricto y comprobado de las convenciones internacionales relativas al uso de la energía nucleoelectrica.

Los gobiernos que estén decididos a garantizar la seguridad energética, reducir las emisiones de CO₂ y mitigar la excesiva presión sobre los precios de los combustibles fósiles, pueden optar por participar en la eliminación de obstáculos en el camino que conduce a la energía nucleoelectrica, facilitando la gran inversión inicial que requieren las centrales nucleares – entre 2000 y 3500 millones de dólares por unidad – y allanar el terreno para el desarrollo de una nueva generación de reactores. Estos objetivos se han hecho más explícitos en los últimos años, y los factores económicos se han inclinado a favor de la energía nucleoelectrica, pero ha habido pocas medidas concretas hasta ahora.

Fatih Birol es Economista Jefe en la Agencia Internacional de la Energía, perteneciente a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (www.iea.org), París (Francia). Correo-e: weo@iea.org

Para más información sobre la publicación World Energy Outlook 2006, consulte la página web: www.worldenergyoutlook.org..

