



DOCUMENTO DE TRABAJO

15/2015

COMISIÓN PERMANENTE DE INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA

Emilio Mínguez

Catedrático de Tecnología Nuclear – Instituto de Fusión Nuclear. Director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UPM)

EL FUTURO DE LA ENERGÍA NUCLEAR HACIA 2020

Resumen

En los próximos cuarenta años los países avanzados necesitarán más potencia eléctrica instalada para hacer frente a los nuevos desarrollos industriales.

Así mismo, otros países en vías de desarrollo, y con una capacidad eléctrica reducida van a demandar nuevas instalaciones para hacer frente a su desarrollo. En este escenario la energía nuclear se va a considerar necesaria en el mix energético junto a energías renovable.

En este momento, gran parte del parque nuclear mundial va a desmantelarse en los próximos 20-30 años debido a llegar al máximo marcado de su vida útil. Es preciso establecer un programa de nuevas instalaciones si se quiere que la energía nuclear tenga una participación similar a la actual.

Para ello existen nuevos reactores, ya instalados bajo el concepto de Generación III. Posteriormente otro grupo de reactores, Generación IV ahora en desarrollo, contribuirán a la generación eléctrica, así como mediante la energía de fusión.

En este artículo se analiza el estado de la energía nuclear en varios países, viendo las propuestas de construcción de nuevas centrales.

A pesar de Fukushima, la energía nuclear, va a ser un factor importante en la generación eléctrica de los próximos años.

Palabras clave

Fisión, fusión, energía nuclear, reactores nucleares, centrales nucleares.

Abstract

In the next 40 years the advanced countries will need more electrical power installed for the new industrial development. Underdevelopment countries without an important electrical power installed will need new power plants to attend the future demand of energy. The nuclear power will be considered in the mix of energies in all countries, competitively with other carbonless sources of energies.

Because most of the present nuclear power plants will be decommissioned in about 20-30 years from now, it is necessary to prepare a program for installing new ones maintaining the same percentage of energy production in the world. In a short term, this replacement will take place using advanced concepts of reactor, called Generation III.

Later on, a group of reactors now under development called Generation IV will be installed. Additionally the nuclear fusion, using laser technology, will contribute to produce electricity.

In this paper, a review of the nuclear power generation in several countries has been presented, and also the new concepts of reactors now under development. Beside Fukushima accident, nuclear power will contribute actively in the mix of energies in the next 50 years.

Keywords

Nuclear energy, nuclear reactors, nuclear power plants, fusion energy, fusion energy.

EL FUTURO DE LA ENERGÍA NUCLEAR HACIA 2020

INTRODUCCIÓN

La energía nuclear es una fuente energética que garantiza el abastecimiento de energía eléctrica, frena las emisiones contaminantes, reduce la dependencia energética exterior y produce electricidad de forma constante con precios bajos estables y predecibles.

El empleo de la energía nuclear para producir energía eléctrica comenzó a finales de los años 50 y creció hasta los 90. La tecnología nuclear se ha desarrollado durante más de 60 años y actualmente se sigue innovando en los nuevos conceptos de reactores en los que se está incorporando todo el desarrollo y conocimientos alcanzados.

En la segunda mitad de la década de los sesenta, Estados Unidos lanzó el primer programa nuclear destinado a la generación de electricidad. Aunque cuatro años antes, el Reino Unido inauguró Calder Hall, la primera central nuclear del mundo. Poco después, otros países industrializados siguieron el ejemplo llevando a cabo sus propios programas de construcción y operación de centrales nucleares. La estabilidad económica, el fuerte crecimiento de la demanda eléctrica y las prometedoras expectativas económicas de muchos países fueron el motor del desarrollo de esta fuente energética.

A principios de los años setenta la crisis energética del petróleo proporcionó el impulso definitivo a la energía nuclear dentro de los planes energéticos de los países industrializados, como Alemania, Canadá, Francia y Japón, entre otros. Destaca la fuerte apuesta por el desarrollo de la energía nuclear que realizó Francia, abandonando los reactores de grafito-gas por la tecnología americana de agua a presión. A su vez, otros países como Méjico, Brasil, Taiwan y Corea se prepararon para iniciar sus programas nucleares.

En los próximos años los grandes países industrializados van a necesitar mayor potencia eléctrica instalada para hacer frente a los retos industriales, y gran parte de la expansión futura de la electricidad tendrá lugar en países subdesarrollados, que anteriormente no han tenido acceso a la electricidad, o ha sido muy escasa. Estos países están teniendo crecimientos muy rápidos en los últimos años.

El número de centrales actualmente en operación en el mundo es de 439, con una potencia instalada de 376.931 MWe, y participan en el mix de energías para producir electricidad en el mundo con un porcentaje del 14% y es del 21% en los países de la OCDE. El interés por la energía nuclear es creciente a pesar del accidente de Fukushima Daichi. Se están considerando varias alternativas, bien mediante

el aumento de potencia y extensión de la operación de las centrales en operación hasta 60 años, o mediante nuevas centrales, algunas ya en construcción u otras en diseño en algunos países. El accidente mencionado en marzo de 2011 produjo una ralentización del renacer nuclear, y condujo a toma de decisiones en algunos casos necesarias para revisar la seguridad de las instalaciones, como en Japón, y en otras se tomaron decisiones erróneas al decidir una moratoria, y sin embargo algunos de los que decidieron retrasar la construcción de nuevas centrales, ahora se están pensando en iniciar esos proyectos de nuevo.

En 2014 se ha iniciado la construcción de 3 nuevos reactores, se han conectado a la red 5 nuevos y solo 1 se ha parado definitivamente. Los 3 nuevos reactores están en Emiratos Árabes, en Argentina y en Bielorrusia, y 5 nuevos se han conectado en Argentina (1), China (3) y Rusia (1). Además en lo que va de año 2015, se ha conectado un nuevo reactor a la red en China. (CN de Fangjiashan 2) En total hay unos 69 reactores en construcción, de los cuales hay: 25 en China, 9 en Rusia, 6 en India, 5 en Corea y 5 en Estados Unidos.

En Japón la empresa Tepco propietaria de Fukushima ha decidido dismantelar las unidades 5 y 6, mientras que el Organismo regulador japonés ha concedido la aprobación a 4 centrales para continuar operando, y el gobierno japonés tiene el deseo de iniciar la apertura de la operación de aquellas centrales que cumplan las condiciones de seguridad impuestas tras el accidente de Fukushima.

Actualmente existen 25 unidades en construcción en China. La República de Corea y la Federación Rusa tienen varios proyectos en diseño, en la India y en Estados Unidos hay dos centrales en construcción. En Europa, el Reino Unido tiene previsto construir en los próximos años 4 unidades, Francia y Finlandia tienen una unidad cada una en proceso de construcción; la República Checa está relanzando su programa con nuevas centrales y Lituania sustituirá una central cerrada hace 2 años, con una nueva para después del 2020. Países que no han tenido hasta ahora centrales nucleares han iniciado proyectos, como Turquía, Emiratos Arabes, Jordania, Arabia Saudí, Vietnam y Tailandia.

Estas decisiones están adecuadamente enfocadas, ya que tanto la energía nuclear como la hidráulica que tienen un funcionamiento en base, son las únicas no productoras de CO₂, permitiendo asegurar el abastecimiento ante la demanda, y con costes de la energía producida muy competitivos, y menos cambiantes que los de otras energías como petróleo y gas. Las renovables tampoco producen CO₂ pero no garantizan su abastecimiento y sus costes son elevados.

El objetivo de los estados miembro de la UE de disminuir la producción de CO₂ ha conducido a realizar un ambicioso plan unilateral, consistente en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) entre el 80 y el 95% para el 2050, por debajo de los niveles existentes en el 1990.

Así pues, en los últimos años se han establecido multitud de iniciativas, que en lugar de solucionar el problema han generado confusión y la creación de políticas energéticas perjudiciales para cumplir los objetivos básicos de responsabilidad social.

En el plan de la UE para el año 2050, se reconoce la contribución potencial de la energía nuclear para cumplir los objetivos de reducción de los GHG, y para garantizar el suministro de energía. Además, se demuestra que los costes de la energía asociada a escenarios, donde se considera la energía nuclear, son los más bajos. A pesar de esto no hay una decisión tomada, ya que para el proyecto Horizonte 2020 se sigue apostando firmemente por el ahorro y la eficiencia energética y por las renovables.

En una economía globalizada, Europa debería mantener su competitividad y, por tanto, no puede ni debe continuar con soluciones no sostenibles, y con costes de la energía que son los más caros del mundo. La competitividad debe ser de suma importancia.

Además, es importante también incrementar la seguridad de suministro, que requiere una reducción en la dependencia de los combustibles fósiles y de las tecnologías importadas, necesitándose una mayor diversificación, y con factores de operación mucho mayores que los de otras centrales.

La sostenibilidad de la política energética es inseparable, en estos momentos, de la política del cambio climático. El esquema del escenario energético para el 2030 debería permitir que todas las tecnologías con baja emisión de CO₂ compitiesen en precio, sin que existan subsidios, y que permitan reducciones en el coste efectivo.

Para la energía nuclear se estima que los costes de capital de una central están entre el 59% y el 72% del coste de la electricidad generada, y el objetivo es reducir este coste, mediante diseños avanzados, modulares y con sistemas más simples.

De las centrales operando en Europa, el 40% alcanzarán los 40 años de operación en los próximos 5 a 10 años. Una forma de hacer más competitiva la energía nuclear consiste en hacer alargamientos de la vida de estas centrales, pasando de 40 a 60 años. Otra forma consiste en apostar por la construcción de nuevas centrales.

La mayor parte de los reactores que ahora están en construcción o han empezado la operación recientemente son del tipo de la Generación III o III+. Estos reactores se desarrollaron en los años 90 y en los últimos años han incorporado mejoras en tanto la seguridad, el diseño del combustible, en la eficiencia. Estos nuevos reactores de Generación III+ son: ABWR, AP1000, ACR1000, APWR, ESBWR y EPR. Se espera que esta generación de reactores se construya durante una gran parte de este siglo, en su forma actual o con mejoras esperadas.

Los reactores denominados de la Generación IV, se diseñaran para incorporar mejoras muy significativas en la seguridad, en el coste total de la central, en la resistencia a la proliferación y en la reducción de residuos radiactivos producidos. Tendrán como finalidad hacer un mejor uso de las fuentes de combustible, tanto del U como del

Pu y en cierta medida el empleo del torio. Otra característica de estos reactores es la capacidad para realizar la transmutación de ciertos actínidos minoritarios, con lo que el rendimiento energético y la recuperación del combustible serán mucho mayores que la actual.

Varios países componen el GIF (Generation IV International Forum): Francia Reino Unido, Estados Unidos, Unión Europea, China, Japón, Canadá y Sudáfrica, República de Corea, Rusia y Suiza, y desarrollan 6 tipos de reactores, de los que su tecnología es conocida. Existen áreas de importante desarrollo en todos ellos, sobre todo en materiales, seguridad, combustible y en el empleo de estos reactores para producir no solo electricidad, sino también productos como hidrógeno o calor para otros usos industriales.

Además se han desarrollado los denominados SMR (Small Modular Reactors), que no caen en los grupos anteriores, pero que con ellos se puede abastecer el mercado en países o en sistemas eléctricos sin necesidad de una gran inversión, y con tiempos de construcción más reducidos, sin perder la posibilidad de su ampliación según la economía de escala.

Si se piensa en la sostenibilidad de la energía nuclear, esta es inseparable de la tecnología de los reactores rápidos y la del ciclo cerrado del combustible. Permite alcanzar valores energéticos muy encima de los obtenidos actualmente, lo que implica proceder al reciclado del U y sobre todo del Pu de los reactores LWR actuales. Esto permite reciclar el 96% del combustible gastado, con ahorros de recursos naturales de U del 30% y con una estimación del coste del KWh más bajo, del orden del 6%, con una reducción del volumen de residuos del 5% y una menor toxicidad del orden del 10%.

Este proceso es más eficiente usando reactores rápidos, y por ese motivo de los 6 tipos de reactores de la Generación IV, el diseño de 4 tipos está basado en usar neutrones que trabajan con espectros rápidos. Existen ya varios prototipos en Rusia (BN-800), en India (500 MWe) y China (60 Mwt).

LA ENERGÍA NUCLEAR EN VARIOS PAÍSES EN ESTOS ÚLTIMOS AÑOS

Durante 2013, los 9 reactores nucleares en funcionamiento en Alemania produjeron 92,14 TWh, el 15,45% del total de la electricidad consumida.

La transformación del sistema energético alemán, considerando que esa producción eléctrica de origen nuclear desaparecerá con el llamado “apagón nuclear”, y con el apoyo masivo a las renovables, junto con el uso continuado del carbón, podría costar un billón de euros al país hasta el final de la década de 2030, según fuentes oficiales. Sólo las primas y subvenciones para apoyar la adopción de las renovables (las eólicas y fotovoltaicas) supondrán unos 680.000 millones de euros hasta 2020.

Los 7 reactores nucleares en funcionamiento en Bélgica produjeron 40,63 TWh en 2013, el 52,08% del total de la electricidad consumida. La prolongada parada de dos unidades, con un total de 2.111 MW (que producen una sexta parte de la generación total del país), ha supuesto un importante problema en el abastecimiento eléctrico de Bélgica durante el invierno, dando lugar a importaciones y restricciones de suministro.

En Eslovaquia los 4 reactores funcionando han producido en 2013 unos 13,95 TWh, el 51,67% del total de la electricidad consumida. En el mes de julio pasado, el gobierno eslovaco aprobó la construcción de las unidades 3 y 4 de la central nuclear de Mochovce. Las dos unidades son del tipo VVER V-13 de diseño ruso, de 440 MW.

Durante 2013, los 4 reactores nucleares en funcionamiento en Finlandia han producido 22,69 TWh, el 33,30% del total de la electricidad consumida. El consorcio finlandés Fennovoima ha tomado importantes decisiones sobre la central nuclear que proyecta construir en Hanhikivi de 1.600 MWe, manteniendo negociaciones directas con la japonesa Toshiba para la construcción de un reactor avanzado de agua en ebullición ABWR. Fennovoima también ha estudiado la posible conveniencia de construir una unidad más pequeña, del orden de 1.000 a 1.300 MW, para lo que considera como posibles suministradores a Toshiba, Areva o Rosatom, estando dispuesta a adoptar varias posibilidades de financiación, según el proveedor elegido, incluyendo su posible participación en el consorcio.

Finlandia proyecta continuar su plan de reducción de CO₂, llegando en 2020 a más del 30% de producción nuclear y al 38% de otras tecnologías limpias, incluyendo la hidráulica y las renovables. Después de esa fecha, continuaría el plan de sustitución de la generación fósil, con metas muy ambiciosas para los años posteriores y una participación nuclear que podría llegar al 60% en 2025.

Durante 2013, los 58 reactores nucleares en funcionamiento en Francia han producido 403,70 TWh, el 73,28% del total de la electricidad consumida.

Particularmente en el sector eléctrico, Francia tiene hoy un parque nuclear que produce el 75% de la electricidad consumida, junto con el 15% producido por renovables y sólo 10% por combustibles fósiles, con lo que cumple las condiciones de competitividad, seguridad de suministro y bajas emisiones de dióxido de carbono.

A lo largo del año 2013 ha concluido el debate sobre la transición energética que comenzó tras la elección del Presidente François Hollande en 2012. No se han llegado a conclusiones claras respecto a la estructura energética recomendada.

El Presidente Hollande propuso en su campaña electoral una reducción del componente nuclear hasta el 50% en 2025, comenzando con la retirada del servicio de la central nuclear más antigua, la de Fessenheim, en 2016. La política actual apunta al mantenimiento de las centrales

En España, la energía nuclear ha sido en el 2014 la primera tecnología en el sistema eléctrico, contribuyendo con solo un 7,27% a la potencia instalada, ha producido más electricidad que otras energías con un factor de funcionamiento del 88,23%. Aporta el 22% de la energía generada superando a la eólica (20,3%) y a las demás. Estos datos hacen reflexionar sobre la necesidad de extender la operación de las centrales por encima de su vida útil, hasta los 60 años.

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN REACTORES DE FISIÓN NUCLEAR

La mayor parte de los reactores en operación pertenecen a la denominada Generación II, cuyos diseños incorporan la tecnología de los años anteriores a los 70, aunque periódicamente se fueron incorporando modificaciones para mejorar la seguridad, disminuir las paradas del reactor, obtener más energía del combustible y para reducir las dosis radiológicas.

Posteriormente se desarrollaron reactores denominados evolutivos, en los ochenta, con estructuras modulares para reducir el tiempo de construcción y el coste de inversión. Estos se incorporaron en la Generación III, y entre ellos se destaca el reactor Combustión 80+, el ABWR (reactor avanzado de agua en ebullición) de General Electric y el VVER 1000 de Rosatom.

A partir de los noventa se comienza con una nueva serie de reactores englobados en la Generación III+ y que incorporaban conceptos como seguridad pasiva, lo cual disminuye el número de componentes y por tanto el coste de la central. La seguridad pasiva evita emplear sistemas auxiliares que actúan en caso de accidente mediante sistemas eléctricos, e incorpora sistemas que actúan insertando agua por gravedad en caso de pérdida de refrigerante, y se refrigeran en caso de accidente mediante circulación natural.

Entre estos reactores se tienen el AP1000 y APWR de Westinghouse, que son reactores de agua a presión; el ESBWR, reactor de agua en ebullición, el EPR de Areva y el VVER 1000 de Rosatom, en una versión avanzada.

Además de la seguridad pasiva, son reactores que tienen una estructura modular lo cual es beneficioso para el montaje y mantenimiento y reducen errores y costes. La vida útil de estos reactores está ya en el orden de los 60 años. Tienen una mayor resistencia a los posibles accidentes severos, y el combustible está diseñado para alcanzar altos quemados, reduciéndose los residuos radiactivos y obteniendo mayor energía final.

En este grupo también se encuentran los denominados SMR (Small Modular Reactors) de potencias del orden de 300 MWe que permiten su construcción en países sin centrales y con líneas de distribución de energía eléctrica muy limitadas.

Posteriormente en el año 2000 se inició la GIF (Generation IV International Forum), con el fin de desarrollar reactores que estuvieran disponibles a partir de 2025. Son reactores cuyos objetivos son: sostenibilidad, economía, seguridad y defensa a la proliferación. La sostenibilidad se centra en la reducción de residuos radiactivos, empleo de combustible reciclado mejorando el empleo de recursos naturales de combustible. Son reactores en los que se emplea exclusivamente la seguridad pasiva, reduciéndose el número de componentes y por tanto el tiempo de mantenimiento. Relacionado con lo anterior está el coste de la central que suele ser más bajo al no tener

componentes redundantes y que las instalaciones pueden tener rangos de potencia instaladas muy flexibles. Finalmente, el empleo del ciclo cerrado de combustible, en casi todos los diseños, obliga a tener un control sobre la dispersión del combustible para otros fines diferentes de la producción eléctrica.

Se realizó un análisis exhaustivo de varios conceptos posibles, y se decidió en el GIF centrarse en el diseño de 6 tipos de reactores: GCR (Gas Cooled Reactor), SFR (Sodium Fast Reactor), LFR (Lead Fast Reactor), MSR (Molten Salt Reactor), SCWR (Super Critical Water Reactor) y VHTR (Very High Temperature Reactor)

Para todos estos reactores se están analizando de forma horizontal aspectos como: comportamiento de materiales estructurales, combustibles y su ciclo, residuos producidos, seguridad, coste, y sobre todo las diversas potencias o rango de potencias y las posibles aplicaciones distintas de la producción eléctrica, como son: generación de calor para uso urbano o industrial, cogeneración, producción de hidrógeno, etc.

De todos ellos posiblemente el SFR sea el reactor que está más desarrollado y el que dispone de experiencia pasada ya que en Francia, Estados Unidos, Inglaterra, Rusia, Japón e India han tenido reactores de este tipo, algunos han sido prototipos de baja potencia, y otros de alta potencia como el Superphenix, y los reactores rusos BN. También los GCR son una alternativa y ya existen diseños conceptuales en los que están interesados los suministradores. Los reactores de plomo fundido o aleaciones de plomo-bismuto han operado en Rusia en submarinos y por tanto es tecnología no desconocida. Los de sales fundidas son también conocidos y con el desarrollo de nuevas sales que no se descomponen por la radiación y son menos corrosivas pueden ser candidatos en el futuro. Los de muy alta temperatura se ha dispuesto de conocimiento y ahora hay dos prototipos de poca potencia, uno en China y otro en Japón. Son los reactores más adecuados para la producción de hidrógeno, debido a la alta temperatura del refrigerante. (Helio)

Las características del GFR (Reactor rápido refrigerado por gas) se pueden resumir en:

- Diseño de un reactor de 2400 MWt capaz de alcanzar una razón de reproducción superior a la unidad.
- Gestión segura de accidentes de pérdida de refrigerante y extracción de calor residual sin suministro de potencia externa.
- Avances en las tecnologías del combustible, mediante un experimento piloto.
- Estudios de diseño de pequeños reactores experimentales: ALLEGRO. ALLEGRO es un proyecto de reactor experimental en el que participan. Hungría, República Checa, Polonia y Eslovaquia. Será el primer reactor rápido refrigerado por gas y servirá como base para el reactor de alta temperatura con combustible de alta densidad de potencia, necesario para un reactor comercial.

Las características del LFR (Reactor rápido refrigerado por metales- plomo) son:

- Diseño de un prototipo para después del 2020, BREST-300 en Rusia.
- Este prototipo incluirá diseño de detalle y actividades de licenciamiento.
- Análisis preliminar de transitorios accidentales incluyendo terremotos y roturas de tuberías de generador de vapor.
- Los esfuerzos de I+D están centrados en:
 - Gestión actínidos.
 - Tecnología de manejo de combustible.
 - Instrumentación in-core.
 - Corrosión materiales, etc.

Los sistemas identificados son variados. Hay una opción en Estados Unidos de un reactor de 10-100 MWe (Small Secure Transportable Autonomous Reactor – SSTAR); hay otro intermedio (BREST 300 en Rusia) y uno mayor, de 600 MWe. (European Lead Fast Reactor – ELFR)

Finalmente las características del SFR (Reactor rápido refrigerado por sodio) son:

- Diseños conocidos
- Desarrollo de un reactor: ASTRID con participación del CEA y la Industria.
- Empleo de óxidos mistos.
- Producción de nuevo combustible con razón de reproducción superior a 1.

SINERGIAS FUSIÓN - FISIÓN

Las sinergias entre la fusión y la fisión de están incrementando, a medida que la fusión progresa hacia su fin último: la generación eléctrica, y está considerado en el grupo de la energía nuclear. En una primera fase del JET representó un importante paso mediante el empleo del tritio, el manejo remoto y la gestión de residuos y los planes de desmantelamiento, y algunas acciones relacionadas con la seguridad.

Actualmente el proyecto ITER representa un mayor paso con un mayor uso del tritio y bórico en el proceso de licenciamiento. Una parte importante es el diseño de los módulos del manto reproductor (TBM) y su similitud con los reactores de Generación IV.

En paralelo, la fusión y la fisión están interesadas en el desarrollo de materiales estructurales para los nuevos diseños de reactores, en regiones extremas de funcionamiento, como son la temperatura, radiación y baja activación.

Existe un interés común entre fusión y fisión sobre el refrigerante, y parece ser que el He es un buen refrigerante para el ITER y para alguno de los seis conceptos de Gen IV, así como también el refrigerante líquido: sodio y eutéctico Pb-Bi.

Por tanto hay un elevado número de áreas donde existe un cierto solapamiento.

CONCLUSIÓN

A pesar de las distintas etapas por las que ha pasado la energía nuclear en su producción de energía eléctrica, entre las que deben destacarse los dos accidentes conocidos: Chernóbil y Fukhusima, y que han cuestionado la seguridad de las centrales nucleares, sin embargo la necesidad de dicha energía siempre sale hacia delante por múltiples razones, y no por la falta de seguridad de las centrales. Mientras que Chernóbil fue un accidente motivado por ser un diseño inseguro y que nunca se debieron construir centrales de ese tipo. En los países occidentales nunca se decidió construir ya que se conocía su física y su inestabilidad. Si además se añade una desidia en la operación motivada por la falta de calidad del sistema soviético, el accidente era casi seguro.

Fukushima fue un accidente provocado por un terremoto y sobre todo por el posterior tsunami, que concatenó una serie de secuencias que llevaron a la inoperabilidad de la central. También se ha cuestionado la rigidez de la cultura japonesa y el exceso de la dependencia y respeto a la autoridad sin capacidad de crítica hacia los superiores.

A raíz de este accidente se cuestionaron la seguridad de las centrales nucleares ante agentes externos, como terremotos, tsunamis, riadas o grandes inundaciones. En este sentido se hicieron unos estudios en todas las centrales y el resultado conocido de las centrales europeas fue muy favorable en el lado de la seguridad. En España las centrales cumplieron muy satisfactoriamente con los test realizados.

Por tanto, la energía nuclear es y debe ser un pilar importante en el mix energético de un país desarrollado, y con una gran experiencia en la operación y construcción de centrales, como es España. Esta energía es competitiva, sobre todo porque el precio del combustible se ha mantenido siempre muy estable, hay recursos muy repartidos y existen soluciones que aseguran combustibles abundantes para más de 200 años.

BIBLIOGRAFÍA

- IAEA/NEA (2010), Uranium 2009: Resources, Production and Demand, published biennially by the OECD/NEA and the IAEA, OECD, Paris, France.
- IEA (2010), Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios and Strategies to 2050, IEA, Paris, 2010.
- IEA/NEA (2010), Nuclear Energy Technology Roadmap, jointly produced by the International energy Agency and the OECD/NEA. Available at www.oecd-ea.org/ndd/reports/2010/nea6962-nuclear-roadmap.pdf.
- NEA (2008), Introduction to Generation IV Nuclear Energy Systems and the International Forum, available at www.gen-4.org/PDFs/GIF_introduction.pdf.
- NEA (2010), The Security of Energy Supply and the Contribution of Nuclear Energy, Nuclear Energy Agency, OECD, París, France. Executive summary available at www.oecd-nea.org/pub/security-energy-exec-summary.pdf.
- Resultados y perspectivas nucleares para el año 2014. Un año de energía nuclear. Foro de la Industria Nuclear Española. Disponible en: <http://www.nuclenor.org/public/otros/resultados2014.pdf>.