
Solo para uso oficial

Punto 6 a) del orden del día provisional de la Junta
(GOV/2012/34)

Punto 16 del orden del día provisional de la Conferencia
(GC(56)/1 y Add.1)

Situación y perspectivas internacionales de la energía nucleoelectrónica – 2012

Informe del Director General

Resumen

- En su resolución GC(55)/RES/12 la Conferencia General pidió a la Secretaría que actualizara en 2012 su informe sobre Situación y perspectivas internacionales de la energía nucleoelectrónica (documento GC(54)/INF/5, publicado en 2010), en el que se presenta una visión amplia de la situación y las perspectivas internacionales de la energía nucleoelectrónica. El presente informe se ha elaborado en respuesta a esa resolución.

Situación y perspectivas internacionales de la energía nucleoelectrica – 2012

Informe del Director General

A. Novedades desde 2010

1. Al cabo de dos años de pequeñas reducciones, la capacidad mundial de energía nucleoelectrica aumentó por primera vez en 2010 en 4 GW(e) llegando a 375 gigavatios (GW(e)) y cayó a continuación en 2011 a 368 GW (e) tras el accidente acaecido en la central nuclear de Fukushima Daiichi. En 2010 se conectaron a la red cinco nuevos reactores y se retiró uno con carácter permanente. En 2011 se conectaron siete nuevos reactores, pero se retiraron permanentemente trece. De estas trece retiradas de servicio, doce eran directamente imputables al accidente de Fukushima Daiichi. El número de construcciones de nuevos reactores iniciadas aumentó en 2010 por séptimo año consecutivo a 16, pero descendió a 4 en 2011.
2. A escala mundial, se prevé que el accidente de Fukushima Daiichi ralentice el crecimiento de la energía nucleoelectrica, pero no que invierta esa tendencia. En la proyección baja actualizada del Organismo en 2011, la capacidad nucleoelectrica mundial alcanza 501 GW(e) en 2030, frente a una capacidad de 370 GW(e) en la actualidad¹, un 8% por debajo de la proyección de 2010. En la proyección alta actualizada, esa capacidad se eleva a 746 GW(e) en 2030, lo que supone un 7% menos que la proyección de 2010.
3. Los países que están implantando la energía nucleoelectrica siguen estando muy interesados. De los países que aún no la tienen y que, antes del accidente de Fukushima Daiichi, habían indicado decididamente su intención de establecer programas nucleoelectricos, algunos anularon o revisaron después sus planes y otros adoptaron un enfoque de “espera”, pero la mayoría prosiguieron con sus planes. En septiembre de 2011 empezó a funcionar una central nuclear en la República Islámica del Irán.
4. La edición de 2011 del “Libro Rojo” – *Uranio: Recursos, producción y demanda*, preparada conjuntamente por la Agencia de Energía Nuclear (AEN) de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y el OIEA, estimaba los recursos convencionales identificados de uranio a menos de 130 dólares/kg de U en 5,3 Mt U, un descenso de 1,4% en comparación con la edición de 2009. Al ritmo de consumo proyectado en 2012, la vida útil prevista de las 5,3 Mt U es de unos 78 años.
5. En diciembre de 2010, la Junta de Gobernadores del Organismo aprobó la creación de un banco de uranio poco enriquecido (UPE) del OIEA que se financiaría con 150 millones de dólares en

¹ 30 de junio de 2012.

contribuciones voluntarias. El Organismo aceptó la oferta del Kazajstán de facilitar la sede del banco. En febrero de 2011 entró en vigor el acuerdo entre el Gobierno de la Federación de Rusia y el Organismo por el que se creó una reserva de uranio poco enriquecido (UPE) en Angarsk (Federación de Rusia). En marzo de 2011, la Junta de Gobernadores aprobó la propuesta de “garantía del combustible nuclear” formulada por el Reino Unido y copatrocinada por la Unión Europea (UE), la Federación de Rusia y los Estados Unidos de América. En agosto de 2011 pasó a estar disponible en los EE.UU. el Suministro de combustible garantizado estadounidense, que comprende 230 toneladas de UPE con un enriquecimiento del 4,95%.

6. En Finlandia, la construcción en la instalación subterránea de caracterización de rocas ONKALO, precursora de un repositorio de combustible gastado, alcanzó su profundidad definitiva para la disposición final en 2010. Posiva, la empresa de gestión de desechos nucleares, se propone presentar a finales de 2012 la solicitud de licencia para la construcción del repositorio e iniciar la disposición final en 2020. La Compañía Sueca de Gestión del Combustible y los Desechos Nucleares (SKB) presentó en marzo de 2011 una solicitud de licencia para la construcción de un repositorio de combustible gastado en Forsmark y estima que la disposición final podría iniciarse en 2025. El Consejo de la UE aprobó la “Directiva 2011/70/Euratom del Consejo, de 19 de julio de 2011 por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos”, que estableció unas normas armonizadas para todos los países miembros de la UE y les pidió que crearan programas nacionales e informaran de los avances a la Comisión Europea (CE) antes de agosto de 2015 y, a continuación, cada tres años.

7. Los avances tecnológicos se reflejaron en 2011 en la conexión a la red, en China, del Reactor Experimental Rápido de China (CEFR) tipo piscina de 65 MW(t) (20 MW(e)). En 2011 en la Argentina se inició la excavación del emplazamiento para el prototipo de central CAREM de 27 MW(e), un pequeño reactor de agua a presión (PWR) con todos los componentes primarios situados en el interior de la vasija del reactor. En Sudáfrica se interrumpieron en 2010 los planes para entrar en la fase de construcción del reactor modular de lecho de bolas (PBMR), como resultado, entre otras cosas, de limitaciones de financiación debidas a la crisis financiera mundial. El proyecto sigue sometido a un plan de “atención y mantenimiento” para proteger la propiedad intelectual y los bienes en cuestión.

B. Situación actual de la energía nucleoelectrica

B.1. Utilización de la energía nuclear

8. En 2011, la energía nuclear produjo el 12,3% del suministro eléctrico mundial y alrededor del 5,1% del total de la energía primaria utilizada en todo el mundo. La mayor parte de la producción de electricidad sigue obteniéndose de combustibles fósiles.

9. La energía nucleoelectrica viene usándose para producir electricidad para su distribución pública desde 1954, y desde entonces se han explotado centrales nucleares en 33 países². En la actualidad 30

² Alemania, Argentina, Armenia, Bélgica, Brasil, Bulgaria, Canadá, China, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Finlandia, Francia, Hungría, India, Italia, Japón, Kazajstán, Lituania, México, Países Bajos, Pakistán, Reino Unido, República Checa, República de Corea, República Islámica del Irán, Rumanía, Sudáfrica, Suecia, Suiza y Ucrania.

países tienen en funcionamiento 435 reactores, con una capacidad total de 370 GW(e)³. Se están construyendo otras 62 unidades, que suman un total de 59,2 GW(e)⁴. Durante 2011, la energía nucleoelectrónica produjo 2 517 000 millones de kW•h de electricidad. Actualmente, la industria cuenta con más de 14 700 años-reactor de experiencia.

10. La contribución de la energía nuclear a la producción total de electricidad varía considerablemente de una región a otra, como se muestra en el cuadro B-1. En 2011, la mayor parte de la electricidad de producción nuclear correspondió a Europa occidental, con 25,7%. Los porcentajes más bajos fueron 1,8% en Oriente Medio y Asia Meridional, y 0% en Asia suroriental y la región del Pacífico. El porcentaje de la electricidad producida con energía nucleoelectrónica ha descendido a nivel mundial del 16% en 2002 al 12,3% en 2011.

Cuadro B-1. Uso (en EJ) y contribución porcentual (%) de los diferentes tipos de fuentes de energía a la producción de electricidad en 2011.

Región	Térmica a)		Hidráulica		Nuclear		Renovables (b)		Total	
	Uso (EJ)	%	Uso (EJ)	%	Uso (EJ)	%	Uso (EJ)	%	Uso (EJ)	%
América del Norte	30,2	63,0	2,6	15,6	9,6	18,8	1,0	2,6	43,4	100
América Latina	5,5	39,5	2,8	57,4	0,3	2,2	0,4	0,9	9,0	100
Europa occidental	14,4	51,3	1,9	16,8	8,7	25,7	1,1	6,3	26,1	100
Europa oriental	17,8	65,6	1,0	15,5	3,7	18,7	0,03	0,2	22,5	100
Africa	6,1	80,9	0,4	16,5	0,1	2,0	0,06	0,5	6,6	100
Oriente Medio y Asia meridional	22,9	87,3	0,7	10,9	0,4	1,8	0,0	0,02	24,0	100
Asia Suroriental y el Pacífico	7,5	88,4	0,3	9,3			0,4	2,3	8,2	100
Lejano Oriente	48,6	78,0	3,1	13,9	4,7	6,9	0,7	1,1	57,0	100
Total	152,9	68,2	12,8	17,4	27,5	12,3	3,7	2,1	196,8	100

a) La columna titulada "Térmica" representa el total de sólidos, líquidos, gases, biomasa y desechos.
 b) La columna titulada "Renovables" comprende la energía geotérmica, la eólica, la solar y la de las mareas.

B.2. Tecnología de reactores disponible

11. De los reactores comerciales en funcionamiento, alrededor del 82% son reactores moderados y refrigerados por agua ligera, un 11% son reactores moderados por agua pesada y refrigerados por agua pesada, un 3% son reactores refrigerados por gas, y otro 3% son reactores refrigerados por agua y moderados por grafito. Dos reactores son moderados y refrigerados por metal líquido. En el cuadro B-2 se indican el número, los tipos y la potencia eléctrica neta de las centrales nucleares actualmente en explotación.

³ En estos totales están comprendidos 6 reactores en Taiwán, China, con una capacidad total de 5018 MW(e).

⁴ A no ser que se diga otra cosa, todas estas estadísticas eran válidas al 30 de junio de 2012.

Cuadro B-2. Distribución actual de los tipos de reactor⁵.

País	PWR		BWR		GCR		PHWR		LWGR		FBR		Totales	
	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)
ALEMANIA	7	9 496	2	2 572									9	12 068
ARGENTINA							2	935					2	935
ARMENIA	1	375											1	375
BÉLGICA	7	5 927											7	5 927
BRASIL	2	1 884											2	1 884
BULGARIA	2	1 906											2	1 906
CANADÁ							18	12 604					18	12 604
CHINA	13	10 496					2	1 300			1	20	16	11 816
EE.UU.	69	67 368	35	34 097									104	101 465
ESLOVAQUIA	4	1 816											4	1 816
ESLOVENIA	1	688											1	688
ESPAÑA	6	6 057	2	1 510									8	7 567
FINLANDIA	2	976	2	1 760									4	2 736
FRANCIA	58	63 130											58	63 130
HUNGRÍA	4	1 889											4	1 889
INDIA			2	300			18	4 091					20	4 391
IRÁN, REP ISL	1	915											1	915
JAPÓN	24	19 284	26	24 931									50	44 215
MÉXICO			2	1 300									2	1 300
PAÍSES BAJOS	1	482											1	482
PAKISTÁN	2	600					1	125					3	725
REINO UNIDO	1	1 191			15	8 055							16	9 246
REP.CHECA .	6	3 766											6	3 766
REP.COREA	19	17 886					4	2 785					23	20 671
RUMANIA							2	1 300					2	1 300
RUSIA	17	12 864							15	10 219	1	560	33	23 643
SUDÁFRICA	2	1 830											2	1 830
SUECIA	3	2 816	7	6 509									10	9 325
SUIZA	3	1 700	2	1 563									5	3 263
UCRANIA	15	13 107											15	13 107
MUNDO^a	272	250 289	84	77 720	15	8 055	47	23 140	15	10 219	2	580	435	370 003

a. Nota: Los totales mundiales comprenden los siguientes datos de Taiwán, China: 2 PWR por un total de 1 840 MW(e) y 4 BWR por un total de 3 178 MW(e), para un total general de 6 reactores y 5 018 MW(e).

12. La mayoría de los reactores en funcionamiento fueron diseñados a finales del decenio de 1960 y en el de 1970, y no se encuentran hoy en el mercado. Los diseños de los reactores aumentaron progresivamente de tamaño, aprovechando las economías de escala. Muchos de los primeros reactores, cuya explotación comercial se inició en los años cincuenta, tenían a lo sumo una potencia de 50 MW(e). La potencia de los reactores en funcionamiento actualmente varía entre 100 MW(e) y 1 500 MW(e). La potencia media de los reactores en funcionamiento al 30 de junio de 2012 era de 851 MW(e).

13. La tecnología de reactores disponible hoy se basa fundamentalmente en diseños anteriores, si bien teniendo en cuenta 1) una vida útil de sesenta años, 2) un mantenimiento simplificado – en línea o durante interrupciones del suministro, 3) una construcción más fácil y breve, 4) la incorporación de consideraciones de seguridad y fiabilidad en las primeras fases del diseño, 5) las tecnologías modernas en el control digital y la interfaz hombre-máquina, 6) un diseño del sistema de seguridad dirigido por la evaluación de riesgos, 7) simplicidad, gracias a la reducción del número de componentes rotativos, 8) una mayor dependencia de los sistemas pasivos (gravedad, circulación natural, presión acumulada, etc.), 9) incorporación de equipo para atenuar los accidentes muy graves, y 10) diseños completos y normalizados con un proceso previo a la concesión de la licencia.

14. Aunque históricamente la industria ha fomentado las economías de escala, prosigue la explotación de reactores de pequeña y mediana potencia (RPMP). “Pequeña potencia” significa

⁵ Al 30 de junio de 2012. Fuente: OIEA (PRIS).

inferior a 300 MW(e). “De mediana potencia” significa entre 300 MW(e) y 700 MW(e). Los RPMP se fabrican para su uso en zonas aisladas o en pequeñas redes con escasas interconexiones, como las que existen en algunos países en desarrollo, y para permitir inversiones más pequeñas con objeto de reducir los riesgos financieros. Se han propuesto reactores pequeños y transportables para poder entregar centrales nucleoelectricas en forma de paquetes prefabricados.

B.3. Recursos humanos

15. El crecimiento proyectado de la energía nucleoelectrica que se examina en la Sección 4.C requerirá un aumento de la fuerza de trabajo con las aptitudes necesarias. Ahora bien, incluso en algunos países con centrales nucleares en funcionamiento, la enseñanza y la capacitación en materia nuclear han sufrido reducciones y muchos países se encuentran ante desafíos considerables para hacer frente a la disminución prevista de la fuerza de trabajo existente incluso para los reactores que ya están funcionando. Para los EE.UU., la *Nuclear Pipeline Survey* 2011 del Instituto de Energía Nuclear indica una tasa potencial de eliminación natural del 39% durante los cinco próximos años, lo que equivale a unas 22 300 personas. El Observatorio europeo de recursos humanos en el sector nuclear, creado por la Comisión Europea para observar la oferta y la demanda de expertos nucleares en la Unión Europea, indica cifras similares para Europa. La publicación *Nuclear Education and Training: From Concern to Capability* de la AEN/OCDE para 2012 señala que los gobiernos han reconocido la dificultad y que España, los Estados Unidos de América, Finlandia, Francia y el Reino Unido, entre otros, han efectuado estudios para determinar las necesidades actuales y futuras. En general, aunque se han llevado a cabo unas cuantas iniciativas nacionales para aumentar la capacidad de enseñanza, la respuesta a las dificultades en materia de recursos humanos ha sido variable, y sigue siendo necesario realizar un esfuerzo internacional más coherente. En mayo de 2011, el Organismo inició una encuesta mundial sobre la fuerza de trabajo de la industria nucleoelectrica para conseguir estimaciones precisas de las cifras actuales del personal que apoya directamente las actividades nucleares. El acopio de datos ha sido lento, y la encuesta ha permanecido abierta hasta 2012 para recoger más datos.

16. Los países que están implantando la energía nucleoelectrica afrontan especiales desafíos en materia de recursos humanos y tendrán que depender en gran medida del apoyo de los países proveedores en materia de enseñanza y capacitación para sus primeras centrales nucleares. El Organismo puede favorecer la coordinación de los servicios prestados por los proveedores mediante acuerdos bilaterales y multilaterales, y puede complementar sus actividades con talleres, servicios de examen, validación y mejora de programas de enseñanza, y asistencia en estrategias de planificación de la fuerza de trabajo y de desarrollo de los recursos humanos. Los EE.UU. proporcionaron recientemente al Organismo, para que lo comparta con los Estados Miembros, en particular aquellos que contemplan la posibilidad de implantar la energía nucleoelectrica, un instrumento de elaboración de modelos sobre recursos humanos para la energía nucleoelectrica (NPHR), que estima las necesidades futuras de recursos humanos en función de los planes nacionales. Asimismo el Organismo ha fomentado las redes regionales de enseñanza en las regiones de Asia (ANENT), África (AFRA-NEST) y América Latina y el Caribe (LANENT), que representan una plataforma para la colaboración y el intercambio de las mejores prácticas.

B.4. El ciclo del combustible, los desechos y la clausura

17. El ciclo del combustible suele dividirse en actividades de la parte inicial (extracción de minerales, conversión, enriquecimiento y fabricación de combustible) para producir conjuntos combustibles para reactores, y actividades de la parte final, destinadas a gestionar el combustible nuclear gastado y los desechos nucleares (comprendidos el almacenamiento, el reprocesamiento y la disposición final).

B.4.1. Parte inicial

18. En la edición más reciente del “Libro Rojo”, *Uranio 2011: Recursos, producción y demanda*, de la AEN/OCDE y el OIEA, se estimaban los recursos convencionales identificados de uranio a menos de 130 dólares/kg de U en 5,3 Mt U, un descenso del 1,4% en comparación con la edición anterior, *Uranio 2009: Recursos, Producción y Demanda*. Como referencia, el precio al contado del uranio a 24 de julio de 2012 era también de 130 dólares/kg de U.

19. La producción de uranio en 2010, que es el año más reciente sobre el que se da información en el Libro Rojo, era de 54 670 t U, un aumento del 6% con respecto a 2009. La producción en Kazajstán, el mayor productor del mundo, aumentó en 27%. Australia, el Canadá y Kazajstán representaron el 62% de la producción mundial. Estos tres países, junto con los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, Namibia, el Níger y Uzbekistán, representaron el 92% de la producción. Las cifras provisionales indican que las definitivas para 2011, cuando estén disponibles, mostrarán un aumento de unas 57 230 t U con respecto a 2010.

20. El consumo de uranio en las centrales nucleares del mundo en 2010 fue de 63 875 t U. La Asociación Nuclear Mundial (WNA) estimó que, en 2011, el consumo se había reducido a 62 552 t U tras el accidente en la central nuclear de Fukushima Daiichi⁶, pero, según su proyección, volverá a aumentar en 2012 hasta 67 990 t U⁷. Al ritmo de consumo proyectado en 2012, la vida útil de las 5,3 Mt U sería de unos 78 años, lo cual es positivo si se compara con las reservas de 30 a 50 años de otros productos básicos (por ejemplo, el cobre, el zinc, el petróleo y el gas natural).

21. Los recursos de uranio no convencionales y el torio amplían aún más la base de recursos. Los recursos no convencionales comprenden el uranio potencialmente recuperable asociado a los fosfatos, los minerales no ferrosos, la carbonatita, el esquisto negro y el lignito, los recursos de los que el uranio solo se puede recuperar como producto secundario de poca importancia y el uranio presente en el agua de mar. En 2011, solo unos pocos países (Chile, Finlandia, Jordania, México, Perú, Sudáfrica y Suecia) mencionaron recursos de uranio no convencionales o informaron de ellos. Las estimaciones realizadas en el pasado del uranio potencialmente recuperable asociado a los fosfatos, los minerales no ferrosos, la carbonatita, el esquisto negro y el lignito son del orden de 10 Mt U. Los recursos mundiales de torio se han estimado en unos seis millones de toneladas. Aunque el torio se ha empleado como combustible en demostraciones, su mayor uso dependería de la utilización a escala comercial de reactores con combustible de torio, lo cual es un proceso gradual.

22. Hay plantas de conversión a escala comercial de octóxido de triuranio (U₃O₈) en hexafluoruro de uranio (UF₆) en funcionamiento en el Canadá, China, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, Francia y el Reino Unido. En la Argentina, el Japón y el Pakistán existen plantas de conversión más pequeñas. La capacidad de conversión mundial total se mantuvo estable en unas 75 000 toneladas de uranio natural anuales. La demanda total actual de servicios de conversión se sitúa entre 59 000 y 65 000 t U anuales.

23. La capacidad mundial total de enriquecimiento es de unos 65 millones de unidades de trabajo de separación (UTS) anuales, frente a una demanda total de aproximadamente 45 millones de UTS anuales. Existen plantas a escala comercial en funcionamiento en Alemania, China, Estados Unidos de América, Francia, Federación de Rusia, Países Bajos y Reino Unido. Hay plantas de enriquecimiento más pequeñas en funcionamiento en Argentina, Brasil, India, Japón, Pakistán y República Islámica del Irán.

⁶ WNA World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, 1 de enero de 2012 (<http://www.world-nuclear.org/info/reactors0112.html>). Consultado el 7 de mayo de 2012.

⁷ WNA World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, abril de 2012 (<http://www.world-nuclear.org/info/reactors0412.html>). Consultado el 7 de mayo de 2012.

24. Se han presentado varias propuestas en los últimos años para asegurar mejor el suministro ininterrumpido de combustible nuclear, en particular para los países que están implantando la energía nucleoelectrónica. La mayoría de ellas asignan una función central al Organismo. En diciembre de 2010, la Junta de Gobernadores del Organismo aprobó la creación de un banco de UPE del OIEA que se financiaría con 150 millones de dólares en contribuciones voluntarias prometidas al Organismo. El Organismo aceptó la oferta de Kazajstán de facilitar la sede del banco y en 2012 se iniciaron las negociaciones oficiales para concertar un acuerdo con el Estado anfitrión. En febrero de 2011 entró en vigor el acuerdo entre el Gobierno de la Federación de Rusia y el Organismo por el que se creó una reserva de UPE en Angarsk (Federación de Rusia). Esta reserva se compone de 120 toneladas de UPE y se encuentra en el Centro Internacional de Enriquecimiento de Uranio. En marzo de 2011, la Junta de Gobernadores aprobó la propuesta de “garantía de combustible nuclear” formulada por el Reino Unido y copatrocinada por la UE, la Federación de Rusia y los Estados Unidos de América. Se introdujo así un proyecto de “modelo de acuerdo de NFA” por el que el Estado suministrador de UPE o de servicios de enriquecimiento podría aceptar no interrumpir el suministro a destinatarios que cumplan las obligaciones internacionales y la normativa publicada relativa a la concesión de licencias de exportación. En agosto de 2011 pasó a estar disponible en los Estados Unidos: el Suministro de combustible garantizado estadounidense, que comprende 230 toneladas de UPE con un enriquecimiento del 4,95%.

25. La capacidad mundial de fabricación de combustible para reactores de agua ligera (LWR), que utilizan combustible con uranio enriquecido, es de unas 13 000 t U anuales (de uranio enriquecido en conjuntos combustibles). La demanda de ese combustible es actualmente de unas 7 000 t U anuales y se prevé que aumente a unas 9 500 t U anuales hasta 2020. La capacidad de fabricación de combustible de uranio natural para reactores de agua pesada a presión (PHWR) es de unas 4 000 t U anuales; la demanda anual se sitúa en unas 3 000 t U.

26. El reciclaje constituye una fuente secundaria de suministro de combustible nuclear mediante el uso de uranio reprocesado y combustible de mezcla de óxidos (MOX). La capacidad de fabricación actual de combustible de MOX es de unas 250 t de metal pesado (MP). A escala mundial, aproximadamente 30 LWR utilizan en la actualidad combustible de MOX.

B.4.2. Parte final

27. Algunos países consideran que el combustible gastado es un desecho de actividad alta (HLW) del que es preciso deshacerse. Otros consideran que es un recurso que debe someterse a reprocesamiento para su posible reutilización. Actualmente existe un mercado de reprocesamiento y reutilización, pero no de almacenamiento o disposición final.

28. Puesto que en estos momentos no existe ninguna instalación de disposición final de HLW en funcionamiento, los inventarios de combustible gastado van en aumento y buena parte de ese combustible tendrá que ser almacenado por períodos más prolongados de lo previsto en un principio, posiblemente durante más de 100 años. En 2011, unas 10 500 toneladas de metal pesado (MP) fueron descargadas como combustible gastado de todos los reactores nucleares de potencia. La cantidad total acumulada de combustible gastado descargado hasta diciembre de 2011 era de aproximadamente 350 500 t MP, de las que unas 240 000 t MP fueron almacenadas. El resto fue reprocesado. La capacidad mundial de reprocesamiento comercial era de unas 4 800 t MP anuales, repartida en cuatro países: Federación de Rusia, Francia, India y Reino Unido. En el Japón, la construcción de la planta de reprocesamiento comercial de 800 t MP anuales, situada en Rokkasho, estaba a punto de concluir cuando quedó interrumpida como consecuencia del terremoto y el tsunami del 11 de marzo de 2011.

29. Los países que han logrado los mayores progresos en materia de instalaciones de disposición final para HLW son Finlandia, Francia y Suecia. En Finlandia, la construcción de la instalación subterránea de caracterización de rocas ONKALO, precursora de un repositorio de combustible gastado, alcanzó su profundidad definitiva para la disposición final en 2010. Posiva, la empresa de gestión de desechos nucleares, se propone presentar a finales de 2012 la solicitud de licencia para la construcción del repositorio e iniciar la disposición final en 2020. En Francia, el organismo nacional de gestión de los desechos radiactivos Andra firmó en enero de 2012 un contrato para el diseño de su futuro repositorio geológico profundo, que está previsto poner en funcionamiento en 2025 en la región de Meuse/Haute Marne, en Francia oriental. La Compañía Sueca de Gestión del Combustible y los Desechos Nucleares (SKB) presentó en marzo de 2011 una solicitud de licencia para construir un repositorio de combustible gastado en Forsmark y estima que la disposición final podría iniciarse en 2025.

30. En la UE, en julio de 2011, el Consejo aprobó una directiva sobre combustible gastado y gestión de los desechos radiactivos en la que se establecen normas armonizadas para todos los países miembros de la UE y se les pide crear programas nacionales e informar de los avances a la Comisión Europea (CE) antes de agosto de 2015, y a continuación cada tres años.

31. Además del HLW asociado al combustible gastado, a lo largo del ciclo del combustible se generan desechos de actividad baja e intermedia (LILW). Las tecnologías de tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento a largo plazo de los LILW están comprobadas y se aplican normalmente en las instalaciones nucleares en las que se generan los desechos. Varios países tienen ya en funcionamiento instalaciones de disposición final de LILW a escala industrial, y otros están construyéndolas. No obstante, algunos países con centrales nucleares en funcionamiento no han podido aún determinar un emplazamiento ni construir ninguna instalación de disposición final de LILW, principalmente debido a la falta de aceptación política y pública.

B.4.3. Clausura

32. Cuando los reactores de potencia llegan al final de sus vidas útiles, se procede a su clausura, que consiste en desmantelarlos de forma controlada y gestionar y someter a disposición final los desechos radiactivos resultantes.

33. Existen tres opciones básicas: el desmantelamiento inmediato, el confinamiento seguro a largo plazo seguido del desmantelamiento, y el enterramiento, también denominado disposición final en el emplazamiento o *in situ*. Por lo general, el enterramiento se ha limitado a las instalaciones pequeñas. La elección entre el desmantelamiento inmediato y el confinamiento seguro a largo plazo depende de la disponibilidad de instalaciones de disposición final y de la incertidumbre sobre su disponibilidad futura, la existencia de fondos (de los que quizás no se disponga para reactores sometidos a régimen de parada antes de lo previsto o que no estaban obligados a acumular esos fondos durante su vida útil), los costos proyectados (que se reducen a medida que caen los niveles de radiación y mejora la tecnología), las preocupaciones por los empleos asociados a los reactores sometidos a régimen de parada, el uso futuro previsto del emplazamiento (posiblemente para nuevos reactores), las preferencias de los interesados directos y las leyes, los reglamentos y las estrategias de gestión de combustible gastado nacionales aplicables.

34. A diciembre 2011, 124 reactores de potencia estaban sometidos a régimen de parada, de los cuales, 16 habían sido plenamente desmantelados, 50 se encontraban en proceso de desmantelamiento, 49 en modalidad de confinamiento seguro, tres, sepultados, y en el caso de otros seis aún no se habían especificado estrategias de clausura.

B.5. Capacidad industrial

35. El número de reactores nucleares de potencia en construcción alcanzó su nivel más alto en 1979, con 233. Posteriormente, cayó a entre 30 y 40 en el decenio de 1995 a 2005, si bien desde entonces ha ascendido a 62, a 30 de junio de 2012 (Fig. B-1). La industria del suministro nuclear se ajustó al declive posterior al decenio de 1980 gracias sobre todo a la consolidación, especialmente en América del Norte y Europa. Por el contrario, las capacidades de China, la India y la República de Corea han crecido gracias a la localización y se prevé que contribuyan cada vez más a satisfacer las necesidades mundiales futuras de conocimientos especializados relativos a la construcción en el ámbito nuclear. En la presente sección se destacan algunas novedades recientes destinadas a ampliar la capacidad industrial de respuesta al crecimiento proyectado de la energía nucleoelectrica mencionado en la sección C.4.

36. Los proveedores de equipo industrial pesado se encuentran en China, Federación de Rusia, Francia, Japón, República Checa y República de Corea. Están construyendo nueva capacidad Japan Steel Works (JSW) y Japan Casting & Forging Corporation (JCFC) en el Japón, Shanghai Electric Group y sus filiales en China, Bharat Forge en la India, Doosan en la República de Corea, Le Creusot en Francia, Plzeň en la República Checa y OMZ Izhora y ZiO-Podolsk en la Federación de Rusia.

37. En el Canadá, se privatizó parcialmente en 2011 el anterior suministrador de reactores, de propiedad estatal, Atomic Energy of Canada Ltd. La parte de la empresa encargada de los servicios nucleares y de suministro de reactores nucleares de potencia fue vendida al grupo de ingeniería y construcción SNC-Lavalin, y rebautizada Candu Energy Inc. La parte restante de la empresa siguió llamándose AECL y actualmente se centra en actividades de investigación y desarrollo, diseño, ingeniería, tecnología especializada, gestión de desechos y clausura. Sigue siendo propietaria y encargándose del funcionamiento de los laboratorios nucleares de Chalk River.

38. En 2011 en China, la Corporación Estatal de Tecnología Nucleoelectrica (SNPTC) y el Instituto de Investigación y Diseño de Ingeniería Nuclear de Shanghai (SNERDI), junto con Westinghouse, finalizaron el diseño preliminar del reactor de potencia avanzado de China (CAP-1400), también conocido como central nuclear de PWR pasivo avanzado de grandes dimensiones (LPP). Se abre así la posibilidad de que China exporte este diseño con la cooperación de Westinghouse.

39. La República de Corea está desarrollando un reactor de potencia avanzado (APR+) de 1500 MW(e) y el EU-APR 1400 para el mercado europeo (véase el párr. 86), y en la Federación de Rusia el principal proveedor de componentes de reactores, OMZ, está duplicando su capacidad de producción de piezas forjadas grandes en su instalación Komplekt-Atom-Izhora para llegar a tres o cuatro vasijas de presión al año.

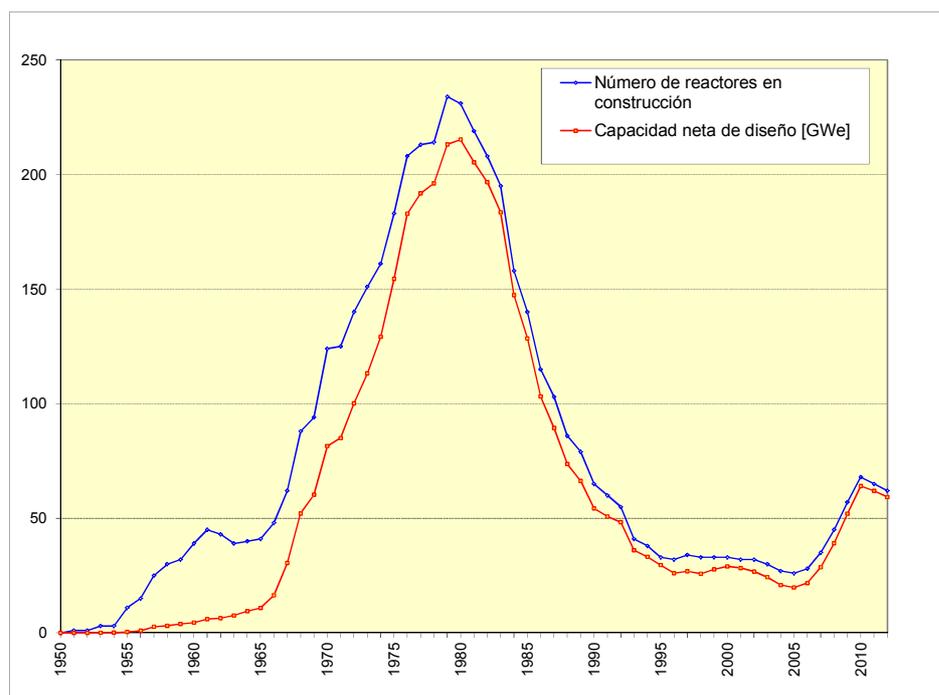


Fig. B-1. Número de reactores en construcción (y capacidad total) de 1951 a 2010. Fuente: OIEA (PRIS).

C. Perspectivas de la aplicación futura de la energía nuclear

C.1. Perspectivas en países que ya utilizan la energía nucleoelectrica

40. El cuadro C-1 resume la información disponible sobre los planes de expansión de los países que tienen actualmente centrales nucleares en funcionamiento más Lituania, que si bien tiene 43,5 años-reactor de experiencia operacional, desde que Ignalina-2 fue puesto en régimen de parada en 2009 ya no cuenta con ningún reactor en funcionamiento. El cuadro se basa en las presentaciones de los Estados Miembros ante la Conferencia General del OIEA de 2011 y otras declaraciones públicas de sus posturas.

C.2. Perspectivas en países que consideran la posibilidad de implantar la energía nucleoelectrica

41. Desde mediados del decenio de 2000, los países en desarrollo han manifestado un interés nuevo o renovado por la energía nucleoelectrica. Aunque a raíz del accidente de Fukushima Daiichi algunos países han cambiado de postura y otros han adoptado un enfoque de “espera”, entre los que consideran la posibilidad de implantar la energía nucleoelectrica, o tienen previsto hacerlo, el interés se mantuvo.

42. El cuadro C-2 presenta el número de países en distintas fases de examen o desarrollo de la energía nucleoelectrica. Algunos países, a veces citados como ‘los que se incorporan al ámbito nuclear’, como Bangladesh, Egipto y Viet Nam, llevan de hecho algún tiempo planificando su implantación. Otros, como Polonia, están revitalizando la opción de la energía nucleoelectrica, después de que los planes se recortaran, al cambiar los gobiernos y la opinión del público. Países como Jordania y el Uruguay están considerando la posibilidad de implantar la energía nucleoelectrica, o tienen previsto hacerlo, por primera vez. Lo que tienen en común es que todos están considerando,

planificando o iniciando la ejecución de programas de energía nucleoelectrica y no han conectado aún ninguna central nuclear a la red.

Cuadro C-1. Posturas de los países con centrales nucleares en funcionamiento más Lituania.

Categoría	Número de países
Nueva(s) unidad(es) en construcción y más unidades previstas/propuestas	11
Nueva(s) unidad(es) en construcción, pero no hay ninguna política a favor de construir más unidades	2
No hay ninguna unidad en construcción, pero existen planes/propuestas de construir nuevas unidades	10
No hay ninguna unidad en construcción y actualmente tampoco hay planes/políticas de construir nuevas unidades	4
Firme política de no construir nuevas unidades y/de cerrar las existentes	4

Cuadro C-2. Posturas de los países sin centrales nucleares en funcionamiento⁸.

Descripción del grupo	Número de países en 2012	Número de países en 2010	Número de países en 2008
Países que consideran la posibilidad de implantar un programa nuclear para atender necesidades energéticas concretas con una clara indicación de su intención de seguir adelante	14	14	14
Países que se preparan activamente para un posible programa nucleoelectrico sin haber tomado una decisión definitiva	6	7	7
Países decididos a implantar la energía nucleoelectrica y que han comenzado a preparar la infraestructura apropiada	6	10	5
Países que han encargado una nueva central nuclear	3	2	0
Países con una nueva central nuclear en construcción	0	1	1

43. De los 29 países que consideran la posibilidad de implantar la energía nucleoelectrica en 2012, o tienen previsto hacerlo, 10 son de la región de Asia y el Pacífico, 10 de la región de África, 7 de Europa (en su mayoría de Europa oriental) y 2 de América Latina.

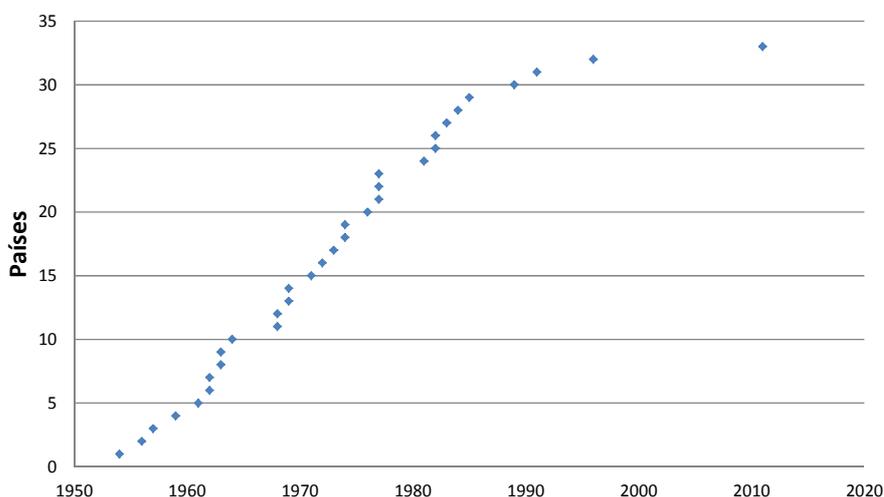
44. Incluso después del accidente de Fukushima Daichii, algunos países han tomado medidas concretas para implantar la energía nucleoelectrica. En los Emiratos Árabes Unidos, la Corporación de Energía Nuclear de los Emiratos llamó a licitación en 2011 con miras a la obtención de servicios de conversión y enriquecimiento de uranio para el combustible de los primeros reactores del país. En Turquía, la compañía de proyectos Akkuyu Nukleer Santral Elektrik Uretim presentó solicitudes para obtener permisos de construcción y una licencia para la generación de electricidad. Belarús firmó un contrato con la Federación de Rusia para la construcción de dos reactores, y Bangladesh un acuerdo

⁸ En ediciones anteriores de esta publicación se incluyeron otros dos grupos, que no se incluyen aquí porque no contribuyeron de manera considerable a comprender las crecientes expectativas respecto de la energía nucleoelectrica entre los países en desarrollo. Un grupo comprendía los países que no tenían previsto implantar la energía nucleoelectrica pero que estaban interesados en considerar las cuestiones conexas, aunque resultó difícil caracterizar las tendencias y hubo grandes fluctuaciones en los números de un año a otro. El segundo grupo comprendía los países que habían preparado una invitación a licitar para el suministro de una central nuclear, lo que resultó ser un problema ya que algunos países optaron por encargar la central mediante acuerdos bilaterales directos y no por licitación.

intergubernamental con la Federación de Rusia, también con respecto a dos reactores. Viet Nam firmó un acuerdo de préstamo con la Federación de Rusia respecto de la financiación de su primera central nuclear y anunció su intención de concertar un acuerdo similar con el Japón.

45. En septiembre de 2011 la República Islámica del Irán inició la puesta en servicio de su primera central nuclear en Bushehr, lo que representó la primera puesta en servicio en 15 años de una central nuclear en un país que se incorpora al ámbito nuclear.

46. El ritmo al que se fueron sumando nuevos países a la lista de los países que explotan centrales nucleares fue bastante constante durante los primeros años del decenio de 1980, como se muestra en la figura C-1. Hasta que se añadió la República Islámica del Irán en 2011, solo tres países habían conectado sus primeras centrales nucleares a la red en la era posterior a Chernóbil, a saber, China, México y Rumania. Los países que en la actualidad están haciendo planes para su primera central nuclear tienen que hacer frente a una brecha de experiencia de 15 años. De los países que están considerando la posibilidad de construir su primera central nuclear, o tienen previsto hacerlo, nueve han indicado explícitamente fechas objetivo para la puesta en funcionamiento antes de 2030.



Cuadro C-1. Número de países que tienen, o han tenido, centrales nucleares en funcionamiento
Fuente: OIEA (PRIS).

47. En general, los cuadros C-1 y C-2 son coherentes con las tendencias reflejadas en las proyecciones baja y alta del Organismo que se describen más adelante, es decir, que sigue habiendo una incertidumbre considerable en las proyecciones sobre energía nucleoelectrica, que se prevé que el aumento del uso de energía nucleoelectrica esté impulsado más por la expansión en los países que ya la utilizan que por los países que inician programas nucleoelectricos. Los nueve países que han indicado explícitamente fechas objetivo para la puesta en funcionamiento antes de 2030 figuran entre los siete países, según la proyección baja, y los 16, según la proyección alta, del Organismo que conectarían su primera central para 2030.

C.3. Factores que pueden impulsar la implantación de la energía nucleoelectrica

48. Los factores clave en los que se ha basado el creciente interés por la energía nucleoelectrica desde más o menos 2005 y el aumento del número de construcciones iniciadas que se muestra en la figura B-1 no han cambiado con el accidente de Fukushima Daiichi: la creciente demanda de energía,

especialmente de electricidad, los precios inestables de los combustibles fósiles, las presiones ambientales y las preocupaciones relativas a la seguridad energética.

C.3.1. Demanda

49. La demanda mundial de energía y de electricidad está destinada a crecer durante decenios. Ninguna evaluación energética creíble a corto o largo plazo indica otra cosa. El aumento de la población mundial y las aspiraciones de desarrollo del actual mundo en desarrollo, donde grandes partes de la población aún no tiene acceso a la electricidad, se traduce en un ritmo de crecimiento aún más rápido en el caso de la electricidad que en el de la demanda de energía primaria total. Todos los estudios coinciden en que el mayor crecimiento de la demanda se registrará en los países en desarrollo.

50. La variante media de las últimas proyecciones demográficas de las Naciones Unidas es de 1 500 millones de personas más para 2030 y de 1 000 millones más para 2050, con lo que la población mundial ascendería a unos 9 300 millones de personas⁹. Según proyecciones del Banco Mundial, el crecimiento anual medio de la economía mundial será del 3,1% hasta 2015 y del 2,5% entre 2015 y 2030¹⁰. Los países en desarrollo registrarán el crecimiento más rápido. Sobre la base de estos dos factores determinantes de la demanda de energía, la Agencia Internacional de Energía (AIE) de la OCDE prevé un aumento de la demanda de electricidad de 21 300 TWh en 2010 a entre 30 390 y 35 470 TWh para 2030, dependiendo de las políticas ambientales. El 80% del crecimiento se registraría en los países que no son miembros de la OCDE. Si se amplía el análisis hasta 2050 se obtiene un aumento de la demanda de electricidad de entre 37 660 y 46 190 TWh¹¹.

C.3.2. Precios y aspectos económicos de los combustibles fósiles

51. La inestabilidad de los precios de los combustibles fósiles en el mercado internacional entorno a los niveles muy elevados sigue siendo motivo de gran preocupación tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. En el caso de muchos países en desarrollo que dependen de las importaciones de energía, los elevados precios de los combustibles importados constituyen una sangría para sus limitados ingresos por las exportaciones y obstaculizan el desarrollo económico. Teniendo en cuenta el crecimiento de la demanda energética mundial y la reticencia de los principales productores a acelerar las inversiones en la prospección y una mayor capacidad de producción, debido en parte a las incertidumbres económicas, es poco probable que los elevados precios mundiales de los combustibles fósiles desciendan próximamente.

52. Sin embargo, la reciente comercialización en los Estados Unidos de grandes volúmenes de gas procedente de formaciones de esquisto ha dado un vuelco al aumento de los precios del gas natural y ha revertido la suposición de que los recursos fósiles no convencionales son necesariamente más costosos que los convencionales. Aunque las formaciones de esquisto se encuentran en cantidades abundantes en muchas partes del mundo, su contenido de gas varía considerablemente, por lo que las proyecciones respecto de la disponibilidad comercial de este gas son muy inciertas. También existen incertidumbres sobre la aceptación pública que se derivan de las preocupaciones acerca de los efectos para el medio ambiente y la salud de la extracción mediante fracturación hidráulica. Como se indica en

⁹ Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. 2010. World Population Prospects. The 2010 Revision. [En línea] Disponible en: <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>.

¹⁰ Banco Mundial. Perspectivas para la Economía Mundial - 2009: Los mercados de los productos básicos en la encrucijada, [En línea] disponible en: http://siteresources.worldbank.org/INTGEP2009/Resources/10363_WebPDF-w47.pdf.

¹¹ AIE (Agencia Internacional de Energía) 2010. Perspectivas sobre Tecnología Energética- 2010: Escenarios y estrategias hasta el año 2050. [En línea] disponible en: <http://titania.sourceoecd.org/vl=13668216/cl=27/nw=1/rpsv/~6673/v2010n11/s1/p1>.

la sección C.3.3, el uso del gas de esquisto también genera emisiones de dióxido de carbono, y cuando penetra en la atmósfera este gas se convierte en un gas de efecto invernadero (GEI) aún más potente.

53. El desarrollo económico requiere electricidad de demanda base fiable y asequible. A diferencia de la electricidad producida a partir de combustibles fósiles, en el caso de la energía nucleoelectrica el costo del combustible representa tan solo un pequeño porcentaje del costo de la electricidad. La duplicación o triplicación de los precios del uranio se traduce en un aumento de los costos de producción de apenas el 4 al 6%. En cambio, al producir electricidad a partir de fósiles, la duplicación de los costos del combustible eleva los costos totales de producción entre el 40 y 70%. Por lo tanto, la inestabilidad de los precios es fuente de mayor preocupación en el caso de la electricidad producida a partir de combustibles fósiles.

C.3.3. Medio ambiente

54. A lo largo de su ciclo de vida, la energía nucleoelectrica emite solamente unos pocos gramos de GEI por kWh. El ciclo de vida completo comprende la extracción y el tratamiento de uranio, su conversión y enriquecimiento, la fabricación de combustible, la construcción y explotación de una central nuclear, el reprocesamiento y acondicionamiento de combustible gastado, el almacenamiento provisional de desechos radiactivos y la construcción de repositorios de disposición final. Las emisiones a lo largo del ciclo de vida de la cadena de la energía nucleoelectrica son comparables a las de las cadenas de las mejores energías renovables y al menos un orden de magnitud inferiores a las de las cadenas de los combustibles fósiles, como se muestra en la figura C-2. Según estimaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en general la energía nucleoelectrica tiene el mayor potencial de reducción, y a más bajo costo, de los GEI dentro del sector de generación de electricidad (IPCC, 2007)¹².

55. Las emisiones tan bajas de GEI de la energía nucleoelectrica y su gran potencial desde el punto de vista de la reducción de las emisiones de este tipo procedentes del sector de la electricidad contribuyen al mayor interés por la energía nucleoelectrica. Ahora bien, a falta de un nuevo acuerdo internacional ambiental exhaustivo y vinculante a largo plazo que sustituya al Protocolo de Kyoto, prorrogado en diciembre de 2011 hasta al menos 2017, no todos los inversionistas en nuevas centrales nucleares pueden estar seguros de obtener beneficios financieros de las reducidas emisiones de GEI de la energía nucleoelectrica.

¹² IPCC, 2007: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of WGIII to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

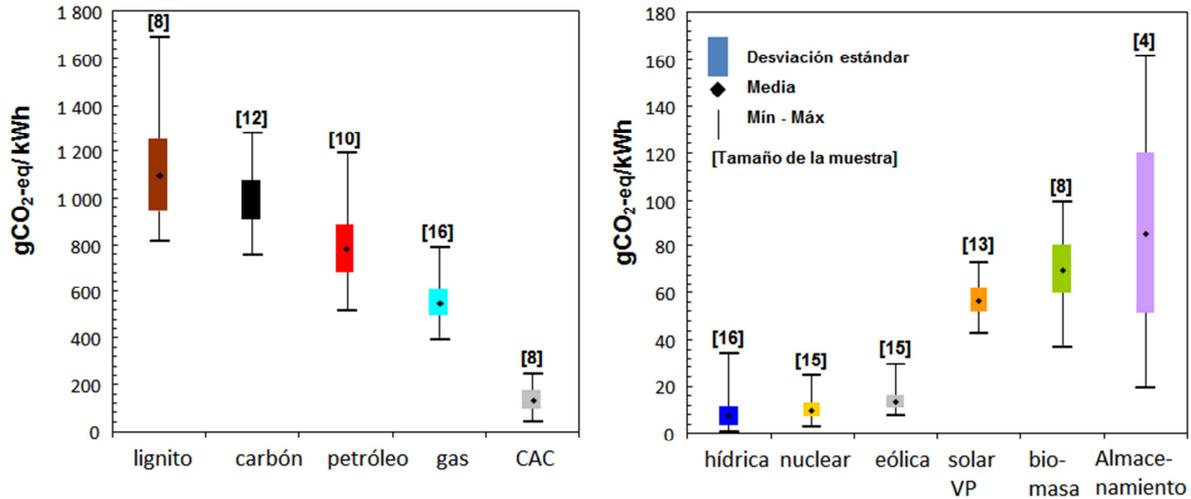


Fig. C-2. Emisiones de GEI durante el ciclo de vida de diferentes opciones de producción de electricidad. Obsérvese que la escala del cuadro de la derecha es un orden de magnitud inferior a la del cuadro de la izquierda.

56. Además de sus emisiones de GEI tan bajas, la energía nucleoelectrica no emite durante la explotación ningún gas tóxico que produzca contaminantes atmosféricos como óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂) y materia particulada que causen daño a la salud humana y sean responsables de la mala calidad del aire en las zonas urbanas y de la acidificación regional.

C.3.4. Seguridad energética

57. La tecnología, la diversificación de los combustibles y las fuentes de energía y el almacenamiento estratégico han sido durante mucho tiempo los principales pilares de la seguridad energética. La energía nucleoelectrica aumenta la seguridad energética cuando forma parte de la mezcla energética de un país y, en la mayoría de los países, la expansión nuclear aumentaría la diversidad del sector eléctrico.

58. Los recursos de uranio son cuantiosos y geográficamente diversos, como se indica en la sección B.4. Los recursos convencionales de uranio conocidos recuperables a un costo inferior a 130 dólares/kg de U son suficientes para unos 78 años al ritmo de consumo previsto para 2012. Los recursos recuperables a costos más altos y de otras categorías, p.ej., “recursos pronosticados e hipotéticos”, amplían la base de recursos estimados. Además, el reprocesamiento y reciclado y el desarrollo de la tecnología de reactores reproductores rápidos incrementarían la longevidad de los recursos de todas las categorías en un factor de 60 a 70.

59. La densidad energética del combustible nuclear es mucho más elevada que la del combustible fósil, por lo que se requieren menores volúmenes, lo que a su vez facilita el establecimiento de inventarios estratégicos. En la práctica, durante años la tendencia no ha consistido en crear esas reservas estratégicas sino en basar la seguridad en un mercado diversificado y eficiente de servicios de suministro de uranio y de combustible. Sin embargo, para los países que lo estimen importante, sigue abierta la opción de crear, a un costo relativamente bajo, inventarios estratégicos.

60. La longevidad de las centrales nucleares y los costos de producción de electricidad de demanda base estables son otros aspectos que también contribuyen a la seguridad energética.

C.4. Proyecciones relativas a la expansión de la energía nucleoelectrica

61. El Organismo publica anualmente dos proyecciones actualizadas sobre el crecimiento de la energía nucleoelectrica a escala mundial, a saber, una baja y una alta. Las actualizaciones de 2011 tienen en cuenta los efectos del accidente de Fukushima Daiichi. En la proyección baja actualizada, la capacidad nucleoelectrica mundial instalada pasa de 370 GW(e) en la actualidad¹³ a 580 GW(e) en 2030, un 8% por debajo de la proyección de 2010. En la proyección alta actualizada, esa capacidad se eleva a 746 GW(e) en 2030, lo que supone un 7% menos que la proyección de 2010. El cuadro C-3 indica que el mayor aumento, según las proyecciones, se dará en el Lejano Oriente. Otras regiones con programas nucleoelectricos importantes son Europa oriental, el Oriente Medio y Asia meridional.

Cuadro C-3. Estimaciones de la capacidad de producción de electricidad nuclear.

Región	2010	2020		2030		2050	
		Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
América del Norte	113,8	119	126	111	149	120	200
América Latina	4,1	6,4	6,4	9	18	15	60
Europa Occidental	122,9	93	126	83	141	60	170
Europa Oriental	47,4	66	80	82	108	80	140
África	1,8	1,8	1,8	5	16	10	48
Oriente Medio y Asia Meridional	4,6	13	22	30	53	50	140
Asia Suroriental y el Pacífico	0	0	0	0	6	5	20
Lejano Oriente	80,6	130	164	180	255	220	450
Total mundial	375,3	429	525	501	746	560	1228

62. La figura C-3 compara las proyecciones del Organismo con las de la AIE de la OCDE y la WNA. La proyección baja del OIEA, el escenario de políticas actuales de la AIE y el escenario de referencia de la WNA utilizan supuestos similares en los que nada cambia y ofrecen resultados comparables. Los escenarios altos de las organizaciones también son comparables, como lo son los escenarios nucleares bajos de la AIE y la WNA.

¹³ 30 de junio de 2012.

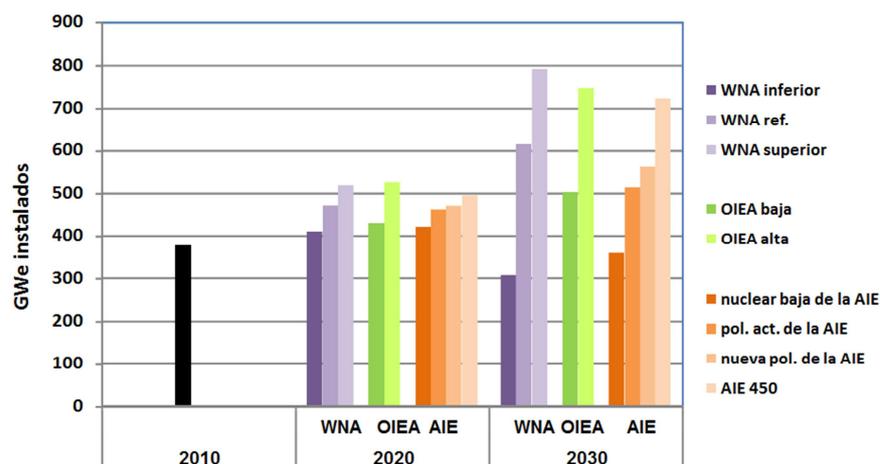


Fig. C-3. Comparación de las proyecciones de energía nucleoelectrica realizadas por el OIEA (azul), la WNA (violeta)¹⁴ y la AIE (naranja)¹⁵. “450” corresponde a un escenario en el que la concentración atmosférica de GEI se limita a 450 partes por millón.

63. La *Evaluación Energética Mundial* (GEA), dada a conocer por el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados, coordinador de esta evaluación, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en junio de 2012 (“Rio+20”), presenta también diversos escenarios energéticos futuros que incluyen la energía nucleoelectrica. Los escenarios de la GEA se basan en un solo escenario de desarrollo económico, pero en tres grupos distintos de transformaciones del sistema de energía. El Grupo GEA-Suministro (GEA-S) aumenta rápidamente todas las opciones por el lado del suministro. GEA-Eficiencia (GEA-E) destaca las mejoras de la eficiencia en todo el sistema energético y las soluciones, comprendidos cambios del estilo de vida, para limitar la demanda de energía. GEA-Mezcla (GEA-M) es una combinación de GEA-S y GEA-E. Dentro de estos grupos, la GEA desarrolló 60 vías alternativas que responden a múltiples análisis de sensibilidad. La figura C-4 muestra la evolución de la energía nucleoelectrica para los tres grupos en el tiempo. La mayoría de los análisis de la GEA quedaron concluidos antes del accidente de Fukushima Daiichi, y los límites más bajos de la capacidad nuclear se deben a análisis de sensibilidad que excluyen deliberadamente la energía nucleoelectrica para 2100. No obstante, las trayectorias nucleares bajas también se han interpretado como posibles consecuencias del accidente.

C.5. Aplicaciones no eléctricas

64. Las aplicaciones no eléctricas comprenden la producción de hidrógeno para, en primer lugar, mejorar los recursos de petróleo de baja calidad, como las arenas bituminosas, y compensar las emisiones de carbono asociadas al reformado de metano con vapor y, en segundo lugar, apoyar la producción en gran escala de combustibles líquidos sintéticos basados en la biomasa, el carbón u otras fuentes de carbono y, en tercer lugar, servir directamente como combustible para vehículos, muy probablemente para vehículos utilitarios ligeros híbridos enchufables con pilas de hidrógeno. La energía nuclear puede utilizarse asimismo en la industria del petróleo para la extracción de asfalto mediante drenaje por infiltración con vapor o destilación de esquistos bituminosos.

65. La figura C-5 ilustra las ventajas de la producción conjunta de electricidad y calor, y la figura sirve en principio para otras aplicaciones no eléctricas, como la desalación de agua marina y la producción de hidrógeno. Existen en la actualidad 79 reactores que funcionan en cogeneración, y las

¹⁴ *The Global Nuclear Fuel Market: Supply and Demand 2011–2030*, WNA, Londres, 2011.

¹⁵ *World Energy Outlook 2011*, AIE-OCDE, París, 2011.

posibilidades de aplicar más ampliamente esta tecnología son prometedoras. Cuanto más se pueda coordinar el desarrollo de las centrales nucleares y el de las instalaciones industriales próximas y otras, de forma que todas estas exploten el calor residual de las primeras, mayor será el beneficio de la central y con más provecho podrá funcionar. Además, cuando se dispone de agua de mar pero el agua potable escasea, la desalación del agua marina puede proporcionar tanto agua potable como agua industrial barata para la propia central nuclear.

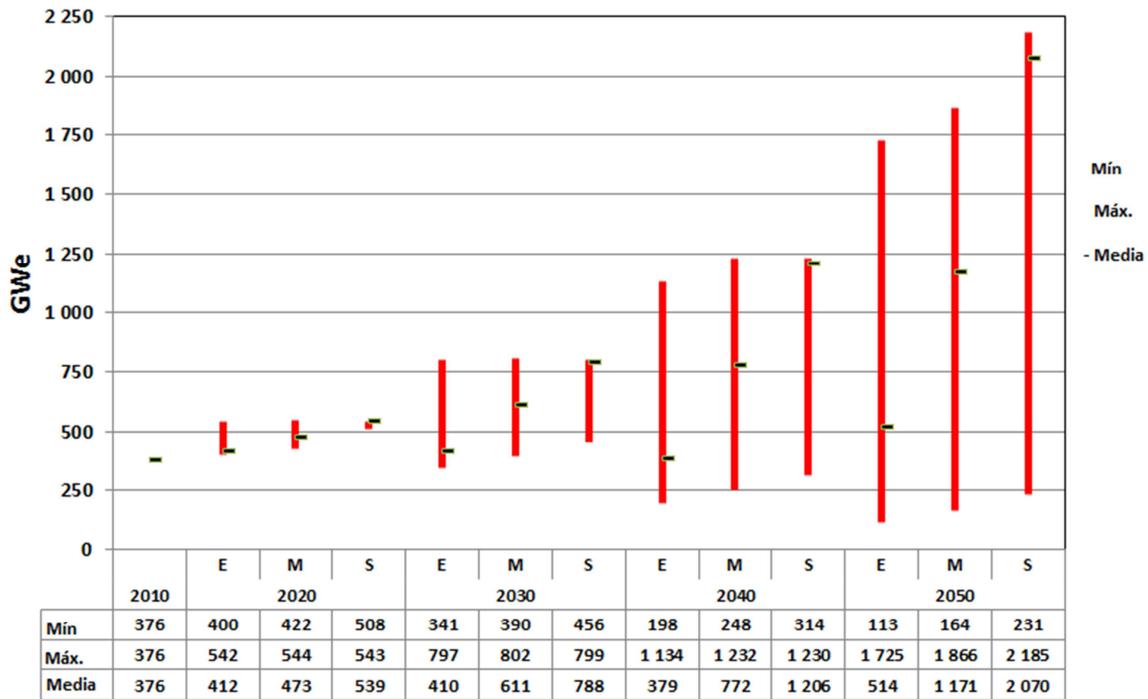


Fig. C-4: Desarrollo de la energía nucleoelectrica según GEA-S, GEA-E y GEA-M (Fuente: GEA, 2012).

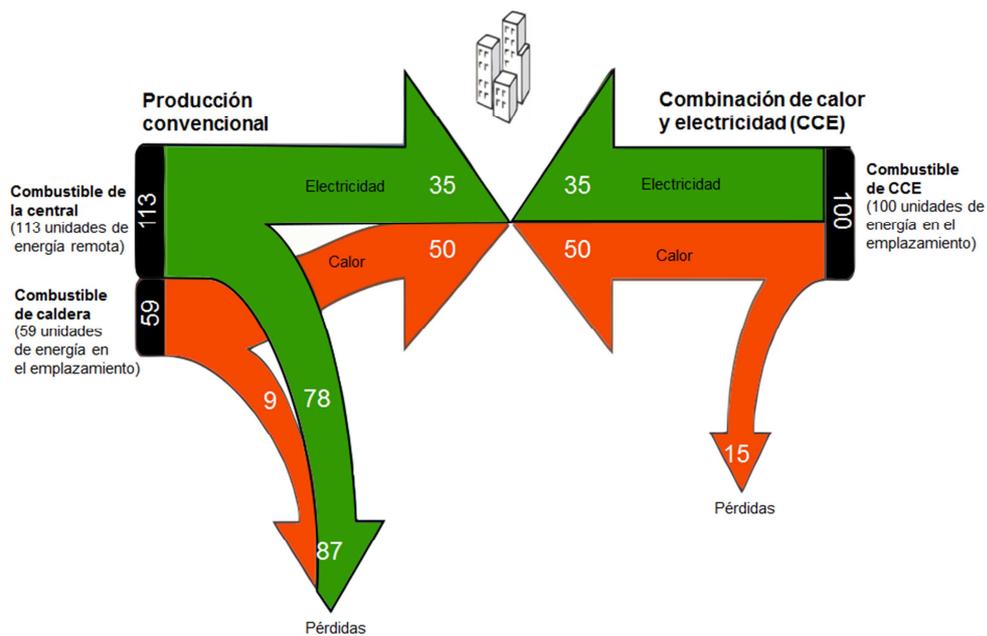


Fig. C-5. Ahorros de energía primaria gracias a la cogeneración frente a la producción convencional de energía por separado.

D. Desafíos de la expansión nuclear

D.1. Financiación

66. En comparación, sobre todo, con las centrales alimentadas con gas natural, la construcción de centrales nucleares es relativamente cara y su funcionamiento relativamente barato. Esta estructura de elevados costos iniciales coincide con la otras tecnologías cuyas emisiones de carbono son bajas, como la energía hidroeléctrica, eólica o solar.

67. Los elevados costos de capital iniciales de la energía nucleoelectrica, sus prolongados períodos para la planificación, la obtención de licencias y la construcción, y la susceptibilidad de los costos a los tipos de interés plantean dificultades financieras. En igualdad de condiciones, la energía nucleoelectrica es, pues, una inversión más atractiva si se dispone de una financiación que pueda esperar unos réditos a más largo plazo (lo que es más propio de los gobiernos que de la industria privada); asimismo, los riesgos financieros son menores debido a una demanda y unos precios de la electricidad más predecibles, estructuras de mercado estables y sólido apoyo político.

68. En parte por esas razones, la mayoría de los 62 reactores en construcción en todo el mundo están financiados por empresas eléctricas públicas que gozan de un sólido apoyo gubernamental, tienen acceso a los recursos y buena solvencia crediticia que permiten préstamos más asequibles y un acceso más fácil al mercado crediticio internacional. Se incluyen aquí los países en los que se centra la expansión actual y proyectada de la energía nuclear, es decir, China, la Federación de Rusia, la India y la República de Corea.

69. Grandes compañías eléctricas privadas con balances sólidos participan en la construcción y financiación de un número menor de nuevos reactores, por lo general como socios de coaliciones. Los proyectos de Olkiluoto-3 y Fennovoima en Finlandia son ejemplos de modelos de cooperación que combinan la financiación empresarial con la de los proyectos, en los que la propiedad y los fondos se comparten entre municipios, compañías eléctricas locales, consumidores de electricidad industrial y asociados estratégicos.

70. Las novedades que se han dado en los Estados Unidos y el Reino Unido reflejan la importancia de la previsibilidad y estabilidad para los inversores privados. La mayoría de reactores nuevos de los Estados Unidos se han propuesto en estados con mercados de electricidad regulados, en los que algunos de los costos pueden cargarse a los clientes de las compañías eléctricas incluso durante la construcción y en los que la regulación da un carácter más previsible a los precios de la electricidad. A fin de incrementar la inversión privada en energía nucleoelectrica en el Reino Unido, los inversores están estudiando mecanismos, como los “contratos por diferencia”, y el gobierno está presentando leyes al respecto, unos y otros concebidos para que los precios sean más previsibles.

71. En el caso de los países que inician programas nucleoelectricos, las fuentes de financiación se encuentran parcial o íntegramente en los países que suministran las centrales nucleares. Los cuatro nuevos reactores de los Emiratos Árabes Unidos están siendo financiados por el Gobierno de ese país y un consorcio coreano encabezado por la Corporación de Energía Eléctrica de Corea. En Turquía, la empresa del proyecto es propiedad de este país y la Federación de Rusia, y los costos de construcción, explotación y clausura correrán a cargo en su totalidad de la parte rusa. En Bangladesh, Belarús y el Viet Nam, los acuerdos también especifican que el grueso de la financiación procederá de la Federación de Rusia.

72. Ninguna de las proyecciones indicadas en la figura C-3 de la sección C.4 prevé que la energía nucleoelectrica se expanda con más rapidez que el resto del sector del suministro eléctrico en su conjunto, por lo que no habrá un gran desfase entre las necesidades de inversión del sector en general.

Los desafíos asociados a la ampliación de las actuales disposiciones financieras en centros de expansión como China, la Federación de Rusia, la India y la República de Corea serán probablemente menos que los asociados a garantizar la previsibilidad de la demanda y los precios de la electricidad, y un sólido apoyo político, elementos importantes para alentar las inversiones privadas en algunos otros países.

D.2. Seguridad y fiabilidad

73. Desde marzo de 2011, en los debates sobre la seguridad de las centrales nucleares ha predominado la necesidad de identificar y aplicar las enseñanzas aprendidas del accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi.

74. En junio de 2011 se celebró la Conferencia Ministerial del OIEA sobre Seguridad Nuclear para examinar una evaluación inicial del accidente, estudiar las enseñanzas que debían extraerse, ayudar a iniciar un proceso destinado a mejorar la seguridad nuclear en todo el mundo y analizar formas de fortalecer más la respuesta a accidentes y emergencias nucleares. Muchos Estados Miembros han realizado exámenes como parte de las evaluaciones de la seguridad nacional (a menudo denominadas “pruebas de resistencia”), y se han comprometido a finalizar sin demora cualquier evaluación pendiente y aplicar cualquier medida correctora necesaria.

75. En un primer momento tras el accidente se concluyó que era necesario que los reguladores y los explotadores de las centrales nucleares de todo el mundo revisaran y fortalecieran, según procediera: a) las medidas de protección contra peligros extremos como los tsunamis; b) las capacidades de electricidad y refrigeración en caso de accidentes muy graves; c) las disposiciones para gestionar accidentes muy graves; y d) las bases de diseño de las centrales, es decir, los supuestos sobre un conjunto predeterminado de accidentes que se deben tener en cuenta.

76. Aunque aún quedan enseñanzas por aprender, se han elaborado planes de acción a escala tanto nacional como internacional que aplican las enseñanzas preliminares del accidente. El Plan de Acción del OIEA sobre seguridad nuclear¹⁶ define un programa de trabajo para fortalecer el marco mundial de seguridad nuclear. Fue aprobado por la Conferencia General en septiembre de 2011 y establece doce medidas principales.

77. Desde el punto de vista operacional, el nivel de seguridad de las centrales nucleares en todo el mundo sigue siendo alto, como señalan los indicadores de seguridad recopilados por el OIEA y la Asociación Mundial de Operadores Nucleares. La figura C-6 muestra el número total de paradas de emergencia no previstas, tanto automáticas como manuales, por cada 7 000 horas de funcionamiento crítico de los reactores de potencia. Este indicador permite observar el desempeño en la tarea de reducir el número de paradas imprevistas totales de los reactores y suele utilizarse para indicar los progresos en la mejora de la seguridad de las centrales. Como se muestra en la figura C-6, en el último decenio se han logrado mejoras importantes, aunque no son tan espectaculares como las alcanzadas en el decenio de 1990. Sin embargo, la diferencia entre quienes obtienen los mejores y los peores resultados sigue siendo considerable, y queda margen para seguir mejorando. El aumento entre 2010 y 2011 guarda relación con el elevado número de paradas de emergencia desencadenadas por el terremoto de marzo de 2011 en el Japón.

D.3. Percepción por el público

78. La aceptación pública de la energía nucleoelectrica en distintos países y lugares refleja la relación entre las ventajas y los riesgos percibidos. Tras el accidente de Fukushima Daiichi se realizaron

¹⁶ <http://www.iaea.org/newscenter/focus/actionplan/>.

numerosas encuestas de opinión pública, comprendidas dos grandes encuestas en diversos países con preguntas similares, a saber, si los encuestados estaban a favor o en contra de la energía nucleoelectrica¹⁷ o si tenían una opinión favorable o no favorable al respecto¹⁸. Los porcentajes de aprobación variaron mucho entre países y regiones, desde casi el rechazo absoluto en algunos países a pronunciadas caídas iniciales de esos porcentajes de aprobación seguidas de rebotes hasta niveles anteriores al accidente de Fukushima en otros¹⁹. En muchos países con reactores en funcionamiento, los sondeos también hallaron diferencias de opiniones acerca de los reactores existentes, sobre los cuales la opinión era favorable, y los nuevos reactores, sobre los cuales era menos favorable.

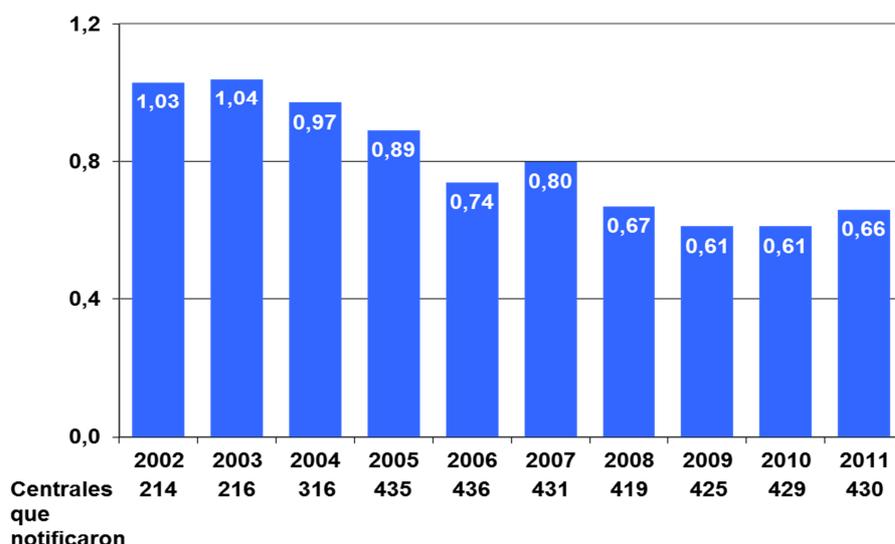


Fig. C-6. Número total de paradas de emergencia no previstas, tanto automáticas como manuales, por cada 7 000 horas de funcionamiento crítico de los reactores de potencia. Fuente: OIEA (PRIS).

79. Los resultados de los sondeos destacan la importancia de suministrar información accesible y transparente sobre las consecuencias de los accidentes, los preparativos para hacer frente a accidentes futuros, y todos los riesgos y las ventajas de la energía nucleoelectrica y otras alternativas energéticas. También es importante una sólida participación de los interesados directos, comprendidos los gobiernos locales, los servicios de emergencia, los reguladores, los sindicatos y las organizaciones comunitarias. Por último, el hecho de que el público sepa más sobre la radiación y la constante exposición a ella en la vida cotidiana es fundamental para tener una opinión equilibrada de las repercusiones de la energía nucleoelectrica en la salud.

D.4. Gestión y disposición final del combustible gastado y los desechos

80. Tal como se resumió en la sección B.4, no existen actualmente instalaciones de disposición final de HLW en funcionamiento, por lo que las existencias de combustible gastado son cada vez mayores.

¹⁷ IPSOS (Instituto de Investigaciones Sociales de IPSOS) 2011. Strong global opposition towards nuclear power. [En línea] Disponible en: <http://www.ipsos-mori.com/researchpublications/researcharchive/2817/Strong-global-opposition-towards-nuclear-power.aspx>.

¹⁸ Gallup. 2011. Impact of Japan Earthquake on Views about Nuclear Energy: Findings from a Gallup Snap Poll in 47 Countries by WIN-Gallup International. [En línea] Disponible en: http://www.nrc.co.jp/report/pdf/110420_2.pdf. Consultado el 26 de abril de 2012].

¹⁹ IPSOS (Instituto de Investigaciones Sociales de IPSOS). 2012. After Fukushima; Global Opinion on Energy Policy. [En línea] Disponible en: <http://www.ipsos.com/public-affairs/sites/www.ipsos.com/public-affairs/files/Energy%20Article.pdf>.

Todo el combustible gastado se almacena inicialmente bajo agua en las piscinas de almacenamiento que se encuentran en las instalaciones del reactor durante un período comprendido entre 9 meses y varios decenios, según la capacidad de almacenamiento de las piscinas. Si se va a reprocesar el combustible, se transporta a una instalación de reprocesamiento, donde se almacena en piscinas de almacenamiento intermedio antes de introducirlo en el proceso. El combustible que no está destinado a su reprocesamiento queda almacenado en las piscinas de almacenamiento del reactor original o se transporta a otras instalaciones de almacenamiento de combustible “fuera del emplazamiento del reactor” (AFR). Pese a su nombre, estas instalaciones pueden encontrarse en una zona del emplazamiento del reactor o en otros emplazamientos específicos. Actualmente existen unas 120 instalaciones comerciales de almacenamiento de combustible AFR en funcionamiento en todo el mundo; la mayoría son instalaciones de almacenamiento en seco en los emplazamientos de los reactores.

81. El desafío consiste en acelerar los progresos en la construcción de instalaciones de disposición final de HLW y ampliar el almacenamiento en AFR para dar cabida al aumento de las existencias de combustible gastado y a los períodos de almacenamiento más prolongados que se indican en la sección B.4. Los países que más han avanzado en materia de disposición final son Finlandia, Francia y Suecia, donde está previsto que las instalaciones entren en funcionamiento en 2020–2025. En el caso de otros países de la UE, como se señaló en la sección B.4, el Consejo de la UE aprobó en julio de 2011 una directiva en la que se pedía a todos los países miembros de la UE crear programas nacionales sobre la gestión del combustible gastado y los desechos radiactivos e informar de los avances a la CE antes de agosto de 2015, y a continuación cada tres años.

D.5. Relación entre las redes de electricidad y la tecnología de reactores

82. Por lo general se considera que, si se desean evitar problemas de estabilidad de la red, la potencia máxima de una central nuclear nueva debe estar alrededor del 10% de la red existente. Doce de los 29 países que están considerando o planificando la implantación de la energía nucleoelectrónica tienen redes de menos de 5 GW(e), es decir, demasiado pequeñas según el principio del 10% para la mayoría de los diseños de reactores existentes si no se mejoran las interconexiones internacionales entre redes. Aunque muchos diseños de menos de 600 MW(e) se encuentran en fase de desarrollo, la disponibilidad comercial es escasa. Las cuestiones relacionadas con las redes también pueden limitar las opciones tecnológicas para países con redes inferiores a 10 GW(e).

E. Desarrollo de la tecnología de los reactores y del ciclo del combustible

E.1. Reactores de agua ligera (LWR)

83. Los reactores de agua ligera (LWR) predominan en las nuevas construcciones. Cincuenta y cuatro de las 62 unidades actualmente en construcción son LWR.

84. Entre los 26 reactores que se están construyendo en China cabe citar el reactor europeo de agua a presión (EPR), el AP-1000 de Westinghouse, y los diseños propios de PWR, como los CNP-600, CPR-1000 y CAP-1400. La Corporación Nuclear Nacional de China también ha construido una central CNP-1000 que incorpora la experiencia adquirida en el diseño, la construcción y la explotación de las centrales nucleares de Qinshan y Daya Bay. Las dos primeras unidades comenzaron la explotación comercial en 2010 y 2011 en Ling'ao. El Instituto de Investigación y Diseño de Ingeniería Nuclear de

Shanghai (SNERDI) está construyendo la central avanzada pasiva CAP-1400/1700 basada en la tecnología de seguridad pasiva del AP-1000.

85. Japón explota cuatro reactores avanzados de agua en ebullición (ABWR) y estaba construyendo otros dos hasta que se produjo el accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi, y se suspendió indefinidamente la construcción. El Japón tiene un programa para desarrollar el ABWR-II de 1 638 MW(e) con el que se espera obtener economías de escala en relación con los actuales ABWR. La puesta en servicio comercial del ABWR-II está prevista para el segundo semestre de 2010. El Japón también tiene programas para desarrollar un reactor avanzado de agua en ebullición de alto rendimiento (HP-ABWR), y un reactor avanzado de agua a presión de alto rendimiento (HP-APWR). Ambos tienen una potencia del orden de 1 800 MW(e). También se está desarrollando una versión europea del APWR, el EU-APWR, que será evaluada para determinar si cumple los European Utility Requirements.

86. En la República de Corea, están en funcionamiento 11 unidades OPR1000 y una está en construcción. Sobre la base del diseño del OPR1000, la Compañía Hidroeléctrica y Nucleoeléctrica de Corea ha desarrollado un reactor de potencia avanzado, el APR 1000, y para obtener más economías de escala, un APR1400. Se están construyendo unidades APR1400 en Shin-Kori-3 y -4, se ha previsto su construcción en Shin-Ulchin-1 y -2, así como en Shin-Kori-5 y -6. Los Emiratos Árabes Unidos han encargado cuatro APR1400. También se está desarrollando una versión europea del APR1400, el EU-APR1400, que será evaluada para determinar si cumple los European Utility Requirements. Ha comenzado la labor de diseño del APR+, un PWR avanzado de 1 500 MW(e).

87. En Francia, AREVA Nuclear Power ha diseñado el reactor europeo de agua a presión (EPR) de 1 650 MW(e), que cumple los European Utility Requirements. En China, Finlandia and Francia hay cuatro en construcción. En asociación con E.ON, AREVA está desarrollando el diseño del KERENA de 1 250 MW(e), un BWR avanzado con sistemas de seguridad pasiva y, en una empresa conjunta con Mitsubishi Heavy Industries, está desarrollando el diseño del ATMEA-1 de 1 150 MW(e), un PWR avanzado con sistemas de seguridad activa.

88. En los Estados Unidos, Westinghouse ha desarrollado el diseño AP-1000, que recibió la certificación del diseño en 2006. Actualmente se están construyendo cuatro unidades AP-1000 en los emplazamientos de Sanmen y Haiyang, en China. La Comisión Reguladora Nuclear (NRC) de los Estados Unidos está examinando la renovación de la certificación de los diseños del ABWR de GE-Hitachi Nuclear Energy y el de Toshiba. La NRC está examinando la certificación del diseño del US-EPR de AREVA; del APWR de Mitsubishi; y del ESBWR de GE-Hitachi Nuclear Energy.

89. En la Federación de Rusia, Atomenergoproekt/Gidropress está diseñando centrales evolutivas tipo WWER con unos niveles de potencia que oscilan entre 300 MW(e) y 1 800 MW(e). Se están construyendo dos unidades WWER-1000 (V-320) y cinco unidades WWER-1200 (NPP-2006). Hay en funcionamiento dos unidades WWER-1000 (V-320) en China (Tianwan-1 y -2), dos en la República Checa (Temelin-1 y -2) y una en la República Islámica del Irán.

E.2. Reactores de pequeña y mediana potencia (RPMP)

90. Actualmente hay en funcionamiento 131 RPMP en 26 países, con una capacidad total de 58,9 GW(e). De los 62 reactores en construcción, 14 son RPMP. Aproximadamente 45 conceptos de RPMP innovadores se encuentran en alguna etapa de investigación y desarrollo.

91. En la Argentina se está desarrollando el reactor CAREM, un diseño de LWR a presión de tipo integral y pequeña potencia eléctrica de 150-300 MW(e), en el que todos los componentes primarios están en la vasija del reactor. En septiembre de 2011 se inició la excavación del emplazamiento para el prototipo de CAREM de 27 MW(e).

92. En Francia, la empresa DCNS está desarrollando Flexblue, un pequeño diseño modular subacuático de 50–250 MW(e) basado en el reactor francés de propulsión marina refrigerado por agua.

93. El diseño del reactor modular avanzado integrado en el sistema (SMART), de la República de Corea, tiene una capacidad térmica de 330 MW(t) y está concebido para la desalación de agua de mar. Se prevé recibir la aprobación del diseño estándar de la Comisión de Seguridad Nuclear nacional para finales de 2012.

94. La Federación de Rusia está construyendo dos reactores KLT-40S de 35 MW(e) que serán montados en una plataforma flotante y se utilizarán para la cogeneración de electricidad y calor industrial. El KLT-40S se basa en la central de propulsión marina KLT-40 comercial y es una variante avanzada del reactor que alimenta los rompehielos nucleares. El ABV-6M de 8,6 MW(e) se encuentra en la fase de diseño detallado. Es un reactor de agua ligera a presión integral, con circulación natural del refrigerante primario. El RITM-200 de 8,6 MW(e), que actualmente se halla en la fase de diseño detallado, es un reactor integral de circulación forzada para rompehielos nucleares.

95. En los Estados Unidos se están desarrollando cuatro RPMP integrales de agua a presión: mPower, NuScale, el RPMP de Westinghouse y Hi-SMUR 140. El mPower incorpora entre 2 y 6 módulos de 180 MW(e). Su solicitud de certificación del diseño a la NRC de los Estados Unidos está prevista para 2013. El NuScale Power proyecta una central nuclear que incorpora hasta doce módulos de 45 MW(e). Su solicitud de certificación del diseño también está prevista para 2013. El RPMP de Westinghouse es un diseño conceptual de 225 MW(e) en el que se incorporan sistemas de seguridad pasiva y componentes demostrados del AP-1000. También ha comenzado el desarrollo de un diseño más reciente de RPMP, el reactor modular intrínsecamente seguro subterráneo Holtec (Hi-SMUR 160), un reactor de 160 MW(e) que depende de la convección natural eliminando, por consiguiente, la necesidad de bombas de refrigerante y la dependencia de fuentes de energía externas.

E.3. Reactores de agua pesada (HWR)

96. Hay 47 HWR en funcionamiento y 5 en construcción. Existen dos tipos: el de tubos de presión y el de vasija del reactor. Excepto en el caso de Atucha-1 en la Argentina, todos los HWR en funcionamiento corresponden al tipo de tubos de presión. De los cinco que están en construcción, todos excepto el de Atucha-2 son también del tipo de tubos de presión.

97. En enero de 2011, la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (CCSN) finalizó el examen preliminar del diseño del proyecto del ACR-1000, con lo que éste pasó a ser el primer reactor nuclear de potencia avanzado para el que se ha completado este examen del diseño por la CCSN. El ACR-1000, que está desarrollando Candu Energy, incorpora un gran número de componentes normalizados, y funciona con uranio ligeramente enriquecido para compensar la utilización de agua ligera como refrigerante primario. Actualmente la CCSN está realizando el examen preliminar del diseño del CANDU-6 (EC6) mejorado de 700 MW(e). Candu Energy también está desarrollando un reactor CANDU refrigerado por agua supercrítica (CANDU-SCWR).

98. En la India, la Nuclear Power Corporation of India Limited (NPCIL) ha desarrollado un HWR evolutivo de 700 MW(e). Actualmente se están construyendo cuatro. El Centro Bhabha de Investigaciones Atómicas (BARC) está finalizando el diseño de un reactor avanzado de agua pesada (AHWR) de 300 MW(e), que utilizará combustible basado en el torio, sistemas de seguridad pasiva, agua pesada como moderador, y agua ligera en ebullición como refrigerante en tubos de presión verticales.

E.4. Reactores refrigerados por gas (GCR)

99. Existen 14 reactores avanzados refrigerados por gas (AGR) y un reactor magnox en funcionamiento, todos ellos en el Reino Unido.

100. En China, una planta de demostración modular a escala industrial, el reactor modular de lecho de bolas de alta temperatura (HTR-PM), está en una etapa avanzada de desarrollo. Se estableció una empresa propietaria y se están fabricando componentes como la vasija de presión del sistema primario, los generadores de vapor, elementos internos del reactor y los sopladores de helio. El emplazamiento se ha preparado y el hormigonado de los cimientos se realizará cuando se reciba la aprobación de las autoridades.

101. La República de Corea está desarrollando capacidades de producción de hidrógeno mediante el proyecto Desarrollo y demostración de la producción nuclear de hidrógeno (NHDD). Está en curso un proyecto de I+D con objeto de desarrollar tecnologías clave para la producción de hidrógeno utilizando el reactor de muy alta temperatura (VHTR). Ese proyecto se centra en la combinación del VHTR y el proceso termoquímico de azufre-yodo; los datos sobre el metal a alta temperatura y el material de grafito; el proceso de azufre-yodo a alta presión; la fabricación y cualificación del combustible TRISO; y los códigos informáticos y métodos de diseño.

102. En Sudáfrica, se abandonó en 2010 el proyecto del reactor modular de lecho de bolas. La empresa Pebble Bed Modular Reactor (Pty) Limited todavía existe y seguirá en activo al menos hasta 2013. En la actualidad su función es mantener la propiedad intelectual del proyecto y desarrollar las estrategias apropiadas para la participación de clientes y proveedores en el futuro.

103. En febrero de 2012 en los Estados Unidos, la Next Generation Nuclear Plant Industry Alliance Limited comunicó que había seleccionado el concepto del reactor de alta temperatura refrigerado por gas (HTGR) de AREVA como el mejor diseño para la próxima generación de centrales nucleares. Las empresas que son miembros de Alliance tienen el propósito de cooperar en el diseño, la construcción y la explotación de la tecnología del HTGR. El concepto de AREVA es un HTGR de alimentación con combustible prismático de aproximadamente 625 MW(t) por módulo.

E.5. Reactores rápidos

104. Hay dos reactores rápidos en funcionamiento: el Reactor Experimental Rápido de China (CEFR) de 20 MW(e), y el BN-600 de 560 MW(e) de la Federación de Rusia. Hay dos más en construcción en la Federación de Rusia y en la India.

105. El CEFR es un reactor rápido refrigerado por sodio (SFR) tipo piscina. China también está desarrollando el CFR-1000, una planta de demostración del SFR de 1 000 MW(e) que utiliza combustible de MOX.

106. En el marco de su Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (Plan EETE), la Comisión Europea definió recientemente una vía tecnológica en dos fases para el desarrollo de reactores rápidos. La primera fase corresponde a un SFR, y la segunda a reactores rápidos refrigerados por plomo y refrigerados por gas como alternativas a largo plazo. El programa de demostración y ejecución conexo Iniciativa Industrial Europea sobre Fisión Nuclear Sostenible (ESNII) prevé el desarrollo del prototipo de SFR francés, ASTRID, y de dos plantas de demostración, ALFRED y ALLEGRO, para las tecnologías de refrigeración por plomo y por gas respectivamente. El programa también tiene el apoyo de una instalación subcrítica de irradiación de espectro rápido, MYRRHA, en Bélgica.

107. La India está construyendo un prototipo de reactor reproductor rápido (FBR) de 500 MW (e) en Kalpakkam. La puesta en servicio está prevista para principios de 2013. El programa de la India prevé la construcción de varias unidades de FBR alrededor de 2020–2025 así como el desarrollo tras esa fecha de reactores rápidos con combustibles metálicos y razones de reproducción más elevadas.

108. El Japón ha estado desarrollando su reactor rápido refrigerado por sodio de 1 500 MW(e) como parte de su proyecto de desarrollo de tecnología del ciclo de reactores rápidos (FaCT); y la República de Corea está llevando a cabo un amplio programa de I+D en apoyo del SFR KALIMER de 600 MW(e).

109. La Federación de Rusia está construyendo el BN-800 en el emplazamiento donde actualmente se explota el BN-600. Está previsto que la fase de puesta en servicio del BN-800 comience en 2014. La Federación de Rusia inició recientemente un nuevo programa para desarrollar un SFR avanzado (BN-1200); el BREST-OD-300 refrigerado por plomo; el SVBR-100 refrigerado por una mezcla eutéctica plomo-bismuto; los ciclos de combustible conexos; y el nuevo reactor rápido de investigación polivalente refrigerado por sodio MBIR.

E.6. Novedades relacionadas con el ciclo del combustible nuclear y la tecnología conexas

110. Se están investigando nuevas tecnologías de reprocesamiento acuoso y no acuoso del combustible gastado para los LWR, que contribuirían considerablemente a reducir la generación de desechos. Con el fin de ensayar y optimizar las tecnologías que se están desarrollando, actualmente se realizan trabajos encaminados a establecer instalaciones piloto de demostración a escala industrial.

111. En lo que atañe a la disposición final de HLW, se están realizando actividades para buscar emplazamientos apropiados y desarrollar barreras artificiales específicas, así como realizar evaluaciones de la seguridad y aplicar la tecnología de encapsulado y disposición final.

F. Cooperación en la expansión de la energía nuclear y en el desarrollo de tecnologías

112. Mediante un sistema de contratos y acuerdos, el Foro Internacional de la Generación IV (GIF) coordina las actividades de investigación sobre seis sistemas de energía nuclear de la próxima generación seleccionados en 2002 y descritos en la publicación *A Technology Roadmap for the Generation IV Nuclear Energy Systems*. Esos seis sistemas son: los reactores rápidos refrigerados por gas (GFR), los reactores rápidos refrigerados por plomo (LFR), los reactores de sales fundidas (MSR), los reactores rápidos refrigerados por sodio (SFR), los reactores refrigerados por agua supercrítica (SCWR) y los reactores de muy alta temperatura (VHTR). Esos sistemas representan una diversidad de tecnologías de reactor, conversión de energía y ciclo del combustible. En función de sus respectivos grados de madurez técnica, se prevé que estos sistemas estén disponibles para implantarlos comercialmente entre 2015 y 2030 o más tarde. En la actualidad, el GIF tiene 13 miembros²⁰.

113. El Proyecto Internacional sobre ciclos del combustible y reactores nucleares innovadores (INPRO) del Organismo tiene 37 miembros.²¹ El INPRO cuenta con cuatro proyectos: 1) Estrategias nacionales a largo plazo sobre energía nuclear; 2) Escenarios mundiales de la energía nuclear; 3) Innovaciones técnicas e institucionales; y 4) Política y el Foro de Diálogo del INPRO.

²⁰ Argentina, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos de América, Euratom, Federación de Rusia, Francia, Japón, Reino Unido, República de Corea, Sudáfrica y Suiza.

²¹ Alemania, Argelia, Argentina, Armenia, Belarús, Bélgica, Brasil, Bulgaria, Canadá, Chile, China, Egipto, Eslovaquia, España, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Francia, India, Indonesia, Israel, Italia, Japón, Jordania, Kazajstán, Malasia, Marruecos, Países Bajos, Pakistán, Polonia, República Checa, República de Corea, Sudáfrica, Suiza, Turquía, Ucrania, Viet Nam y la Comisión Europea.

114. El INPRO y el GIF coordinan actividades mediante un plan de acción conjunto que abarca la cooperación en las siguientes esferas: intercambio de información general, sinergias en métodos de evaluación (con especial énfasis en la resistencia a la proliferación, la seguridad y los aspectos económicos), cooperación en estudios temáticos (comprendidas, entre otras cosas, la aplicaciones no eléctricas, los RPMP y los recursos humanos), diálogo a escala mundial entre los propietarios y los usuarios de tecnología nuclear y actividades conjuntas, por ejemplo, el segundo taller conjunto OIEA/INPRO/GIF sobre aspectos de la seguridad de los reactores rápidos refrigerados por sodio, celebrado en noviembre de 2011. Como parte del plan de acción conjunto, el Organismo participa como observador en el Grupo de Políticas del GIF y como miembro en grupos de trabajo del GIF.

115. El número de miembros del Marco Internacional de Cooperación en Energía Nuclear (IFNEC) ha aumentado a 31 países participantes²², 30 países observadores y tres organizaciones internacionales en calidad de observador, entre ellas, el Organismo. Actualmente el IFNEC tiene dos grupos de trabajo, uno sobre desarrollo de infraestructuras y otro sobre servicios de suministro fiable de combustible.

116. En 2006, la NRC de los Estados Unidos y la Autoridad de Seguridad Nuclear de Francia (ASN) iniciaron el Programa multinacional de evaluación del diseño (MDEP). Al mes de abril de 2012 eran miembros del MDEP las autoridades reguladoras nacionales de 11 países²³. El MDEP mancomuna los recursos de esas 11 autoridades reguladoras nucleares para, en primer lugar, cooperar en los exámenes de seguridad de determinados diseños de reactores y, en segundo lugar, estudiar oportunidades de armonizar las prácticas de reglamentación. El MDEP tiene cinco grupos de trabajo sobre las siguientes cuestiones: los EPR; AP1000; códigos y normas; instrumentación y control (I y C) digitales; y cooperación para la inspección de proveedores.

²² Alemania, Argentina, Armenia, Australia, Bulgaria, Canadá, China, Eslovenia, Emiratos Árabes Unidos, Estados Unidos de América, Estonia, Federación de Rusia, Francia, Ghana, Hungría, Italia, Japón, Jordania, Kazajstán, Kenya, Kuwait, Lituania, Marruecos, Omán, Países Bajos, Polonia, Reino Unido, República de Corea, Rumania, Senegal y Ucrania.

²³ Canadá, China, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Finlandia, Francia, India, Japón, Reino Unido, República de Corea y Sudáfrica.