

Junta de Gobernadores Conferencia General

GOV/INF/2010/12-GC(54)/INF/5

Fecha: 7 de septiembre de 2010

Distribución general

Español

Original: Inglés

Solo para uso oficial

Punto 6 a) del orden del día provisional de la Junta
(GOV/2010/38)

Punto 16 del orden del día de la Conferencia
(GC(54)/1)

Situación y perspectivas internacionales de la energía nucleoelectrica

Informe del Director General

Resumen

En sus resoluciones GC(50)/RES/13 y GC(51)/RES/14, la Conferencia General pidió a la Secretaría que presentara, a partir de 2008 y con carácter bienal, un informe exhaustivo separado sobre la situación y las perspectivas internacionales de la energía nucleoelectrica. En el presente informe se incluyen informaciones y novedades que se han producido desde 2008 y no se repiten informaciones contenidas en el informe de 2008 respecto de las cuales no ha habido cambios.

Situación y perspectivas internacionales de la energía nucleoelectrica

Informe del Director General

A. Novedades habidas desde 2008

1. Para la energía nucleoelectrica, los últimos dos años han sido paradójicos. Tanto en 2008 como en 2009 se revisaron al alza las proyecciones de crecimiento futuro pese a una crisis financiera mundial y un descenso, durante dos años, de la capacidad nuclear instalada. En 2008 no se conectaron reactores nuevos a la red, lo que significó que aquél fuera primer año desde 1955 sin que entrara en servicio por lo menos un reactor nuevo. En 2009 se conectaron dos nuevos reactores. No obstante, se iniciaron diez construcciones en 2008, el mayor número desde 1987, y doce en 2009, prolongando así la constante tendencia al alza iniciada en 2003.
2. La crisis económica y financiera mundial que comenzó en el otoño de 2008 parecía, en general, haber tenido un impacto limitado en los planes de desarrollo de la energía nucleoelectrica. Los planes de expansión en China y en otros lugares de Asia compensan los anuncios de retrasos en los proyectos de nueva construcción de Europa y América del Norte.
3. La confianza del público en la energía nucleoelectrica mejoró ligeramente. Mientras que dicha confianza depende de los contextos nacionales y es complejo obtener valores totales, las encuestas realizadas en algunos países indicaron una mayor aceptación de la energía nucleoelectrica.
4. El aumento del número de empresas comerciales que se incorporan a la industria nuclear y a programas conexos de enseñanza y capacitación en muchos países ha permitido, en los dos últimos años, hacer frente a los constantes problemas relativos al envejecimiento del personal experimentado. Además, se han iniciado varios programas bilaterales de cooperación en enseñanza y capacitación relativos a la energía nucleoelectrica.
5. Los Emiratos Árabes Unidos aceptaron la oferta de un consorcio encabezado por la Compañía de Energía Eléctrica de Corea (KEPCO) para suministrar 1400 MW(e) de energía nucleoelectrica hasta 2020. Este acuerdo constituye la primera oferta con éxito de un país que se incorpora a la esfera de la energía nucleoelectrica y el inicio de la República de Corea como exportadora de tecnología de reactores nucleares. El consorcio encabezado por la KEPCO sigue participando en las operaciones de la central durante una parte importante de la vida útil de ésta, lo que también constituye una novedad, mientras que los Emiratos Árabes Unidos han anunciado planes destinados a aumentar la participación local en su programa nacional de energía nucleoelectrica.

6. En abril de 2009, el Gobierno de China acogió en Beijing la Conferencia Ministerial Internacional sobre la energía nuclear en el siglo XXI, cuyo objetivo era examinar la situación y las perspectivas de la energía nucleoelectrica, comprendidos los progresos en la evolución de la tecnología, y debatir las medidas necesarias para seguir ampliando la energía nucleoelectrica. En la declaración final, el Presidente de la Conferencia señaló que “si bien respetan el derecho de cada Estado a definir su política energética nacional de conformidad con sus obligaciones internacionales, los participantes en su gran mayoría afirmaron que la energía nuclear, como tecnología de validez comprobada, limpia, segura y competitiva, contribuirá cada vez más al desarrollo sostenible de la humanidad durante todo el siglo XXI y más adelante”.

7. En la Conferencia Internacional sobre reactores rápidos y ciclos del combustible conexos, celebrada en Kyoto (Japón) en 2009, se indicó que, en muchos países, el desarrollo de reactores rápidos y las actividades de investigación y desarrollo conexas sobre el ciclo del combustible no forman parte de las prioridades de los programas de investigación del sector académico y la industria. China tiene previsto poner en servicio un reactor rápido experimental en 2010, y el Japón anunció la puesta en marcha de nuevo del prototipo de reactor rápido industrial Monju en mayo de 2010. La última conferencia internacional sobre este tema se celebró hace 18 años, y se acordó, sobre la base de las actividades en China, Federación de Rusia, India, Japón y en otros lugares, celebrar estas conferencias cada tres años.

8. En el ámbito de la gestión de desechos, los Estados Unidos de América anunciaron en 2009 que retiraban la solicitud de licencia para un repositorio geológico en Yucca Mountain, lo que indica un cambio de política y la vuelta al almacenamiento provisional.

9. Fueron pocos o nulos los progresos alcanzados en el reconocimiento de la aportación de la energía nucleoelectrica a la mitigación del cambio climático en la Conferencia de las Partes en el Protocolo de Kyoto celebrada en Copenhague en diciembre de 2009.

10. En reconocimiento de la importancia de la cooperación internacional en el ámbito de la reglamentación, los reguladores experimentados están desplegando esfuerzos para coordinar mejor la asistencia a los países que comienzan a utilizar la energía nucleoelectrica. A raíz de debates mantenidos, en 2009 y 2010, en el Grupo Internacional de Seguridad Nuclear (INSAG) y en la reunión de funcionarios superiores de reglamentación, en 2010 los Estados pusieron en marcha, con la facilitación y promoción del Organismo, un Foro de cooperación en materia de reglamentación, en el que participan Estados con programas nucleoelectricos establecidos y otros que estudian la posibilidad de utilizar la energía nucleoelectrica, con fines de mejorar la colaboración y coordinación en relación con la creación de capacidad en materia de reglamentación.

11. Se avanzó en los esfuerzos destinados a establecer mecanismos para garantizar que los países pueden tener confianza en el suministro seguro de combustible. En marzo de 2010, el Organismo concertó un acuerdo con la Federación de Rusia para establecer una reserva internacional de uranio poco enriquecido (UPE) que se podría poner a disposición de un Estado en caso de interrupción del suministro de uranio poco enriquecido para centrales nucleares por razones no relacionadas con aspectos técnicos o comerciales.

12. En marzo de 2010, el Gobierno de Francia y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) acogieron la Conferencia Internacional sobre el acceso a la energía nuclear civil. Su objetivo era promover el uso pacífico y responsable de la energía nucleoelectrica y examinar cómo utilizar la cooperación bilateral y multilateral para ayudar a los países que deseen comenzar a utilizar la energía nucleoelectrica a satisfacer sus obligaciones internacionales. En la conferencia, el Presidente francés desatacó siete temas de fundamental importancia para que el renacimiento nuclear tenga éxito: la financiación, la transparencia, la enseñanza y capacitación, la seguridad, la no proliferación, el

acceso al combustible nuclear, y la gestión del combustible gastado y los desechos. En el ámbito de la enseñanza y la capacitación, anunció la creación de un instituto internacional de energía nuclear que incluiría una escuela internacional de energía nuclear.

13. La Conferencia Internacional sobre el desarrollo de recursos humanos para la implantación y ampliación de programas nucleoelectricos tuvo lugar en Abu Dhabi (Emiratos Árabes Unidos) en marzo de 2010. La conferencia confirmó la importancia de un enfoque equilibrado del desarrollo de los recursos humanos, que ponga énfasis en la creación de capacidad y los conocimientos especializados en todas las esferas del ámbito nuclear, no sólo en determinadas esferas pertinentes. Se anunció una iniciativa consistente en realizar varios estudios de las necesidades y el suministro de recursos humanos, en todo el ámbito de la energía nucleoelectrica, y elaborar instrumentos de planificación de la fuerza de trabajo para países que estudien la posibilidad de iniciar nuevos programas nucleoelectricos. Otros temas objeto de debate fueron cómo conservar a los trabajadores y cómo atraer a los jóvenes y a las mujeres a la esfera nuclear.

14. En junio de 2010, la Alianza Mundial de Energía Nuclear (GNEP) pasó a llamarse Marco Internacional de Cooperación en Energía Nuclear (IFNEC) y adoptó una nueva declaración de la misión. El objetivo de los cambios era un mayor alcance, lograr una participación internacional más amplia y estudiar con mayor eficacia temas importantes relacionados con la expansión de la energía nuclear.

B. Situación actual de la energía nucleoelectrica

B.1. Utilización de la energía nuclear

15. Actualmente, la energía nuclear produce algo menos del 14% del suministro eléctrico mundial y el 5,7% de la energía primaria total utilizada en todo el mundo.

16. El suministro mundial de energía y la utilización de energía per cápita van en aumento. Las necesidades energéticas totales a nivel mundial se multiplicaron por 2,5 entre 1970 y 2008, pasando de 4 640 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep) a 11 900 millones tep (de 195 a 499 exajulios [EJ])¹.

17. En la figura B-1 se indica la contribución de las diferentes fuentes de energía a la mezcla energética mundial durante el período mencionado. La parte correspondiente a la energía nuclear aumentó de algo menos del 0,5% en 1970 a más del 7% en el decenio de 1990, y hacia 2008 disminuyó al 5,7%.

18. En la actualidad funcionan 441 centrales en 29 países, con una capacidad total de 375 GW(e). Se están construyendo otras 60 unidades, que producirán un total de 58,6 GW(e) (según información disponible al 26 de agosto de 2010). Durante 2009, la energía nucleoelectrica produjo 2,558 billones de kW·h de electricidad. Actualmente, la industria cuenta con 14 000 años-reactor de experiencia.

¹ 1 EJ = 10¹⁸ julios ó 2,78 × 10⁵ GW·h_(th) ó 31,7 GW·a

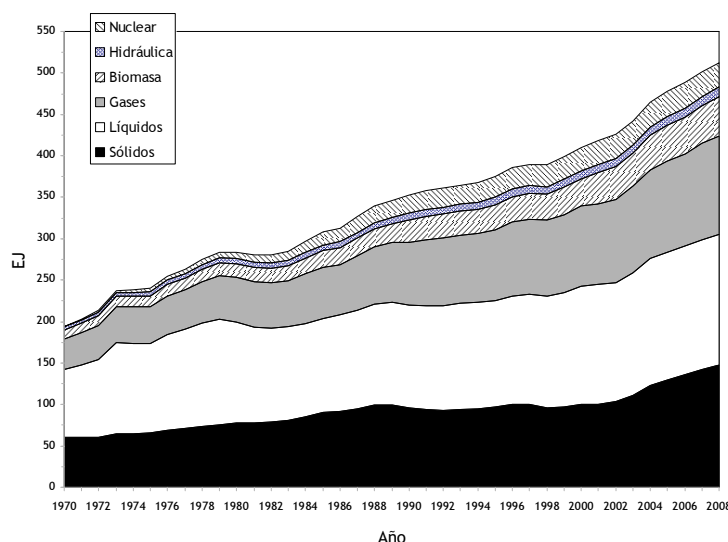


Fig. B-1. Participación de las distintas fuentes de energía en la producción energética mundial, 1970-2008.

Cuadro B-1. Uso (en EJ) y contribución porcentual (%) de los diferentes tipos de fuentes de energía a la producción de electricidad en 2008

Región	Térmica (a)		Hidráulica		Nuclear		Renovables (b)		Total	
	Uso (EJ)	%	Uso (EJ)	%	Uso (EJ)	%	Uso (EJ)	%	Uso (EJ)	%
América del Norte	25,13	66,15	2,32	13,72	9,76	19,04	0,76	1,09	37,98	100
América Latina	5,14	39,15	2,56	57,54	0,32	2,38	0,39	0,93	8,41	100
Europa occidental	16,06	52,45	1,89	17,06	8,97	26,68	0,72	3,81	27,64	100
Europa oriental	18,18	64,59	1,12	17,04	3,64	18,30	0,03	0,07	22,96	100
África	5,73	80,51	0,37	16,95	0,14	2,11	0,05	0,43	6,29	100
Oriente Medio y Asia meridional	19,09	87,54	0,62	11,47	0,16	0,99	0	0,00	19,87	100
Asia Sudoriental y el Pacífico	6,78	88,92	0,25	9,29			0,39	1,79	7,41	100
Lejano Oriente	43,46	74,27	2,65	15,23	5,35	10,15	0,49	0,35	51,95	100
Total mundial	139,57	67,15	11,77	17,66	28,34	14,03	2,83	1,16	182,51	100

a) La columna "Térmica" indica el total de sólidos, líquidos, gases, biomasa y desechos.

b) La columna "Renovables" abarca la energía geotérmica, eólica, solar y mareomotriz.

19. La contribución de la energía nuclear a la producción total de electricidad varía considerablemente según las regiones (cuadros B-1 y B-2). En Europa occidental la energía nucleoelectrica representa casi el 27% de toda la electricidad generada. En América del Norte y Europa oriental representa alrededor del 18%, mientras que en África y América Latina su participación es del 2,1% y el 2,4%, respectivamente. En el Lejano Oriente, el porcentaje es del 10%, y en Oriente Medio y Asia meridional se sitúa en el 1%.² En los últimos dos años, la contribución de la energía nuclear a la producción mundial de electricidad ha disminuido del 15% a menos del 14%, debido en gran parte a un aumento de la electricidad total generada en todo el mundo sin aumento de la energía nuclear.

² En la región de Asia Sudoriental y el Pacífico no hay centrales nucleares, de modo que en ella no se produce energía nucleoelectrica.

20. El número de reactores en construcción aumentó, pasando de 33 con una capacidad total de 27 193 MW(e) a fines de 2007, a 60, con una capacidad total de 58 584 MW(e) al 26 de agosto de 2010. En muchos países que tienen programas nucleoelectricos hay un aumento significativo de la inversión en futuras centrales nucleares. De esas 60 centrales, 11 han estado en construcción desde antes de 1990, y se prevé que sólo tres de esas 11 posiblemente se pondrán en servicio en los próximos tres años. Hay un número reducido de reactores que están en construcción desde hace más de 20 años y que actualmente registran escasos avances y actividad. En 2008 se iniciaron diez construcciones y en 2009, 12 (véase la figura B-2), prolongando una constante tendencia al alza que comenzó en 2003. Las 22 construcciones iniciadas en 2008 y 2009 eran todas reactores de agua a presión (PWR) en tres países: China, la República de Corea y la Federación de Rusia.

Cuadro B-2. Parque mundial de reactores nucleares de potencia (26 de agosto de 2010)

Región	En funcionamiento		En construcción		Electricidad suministrada por CN en 2009 (TW·h)
	Número	Capacidad neta MW(e)	Número	Capacidad neta MW(e)	
América del Norte	122	113 316	1	1 165	882
América Latina	6	4 119	2	1 937	30
Europa occidental	129	122 956	2	3 200	796
Europa central y oriental	67	47 376	17	13 741	310
África	2	1 800			13
Oriente Medio y Asia meridional	21	4 614	6	3 721	17
Lejano Oriente	94	80 516	32	34 820	510
Todo el mundo	441	374 697	60	58 584	2 558

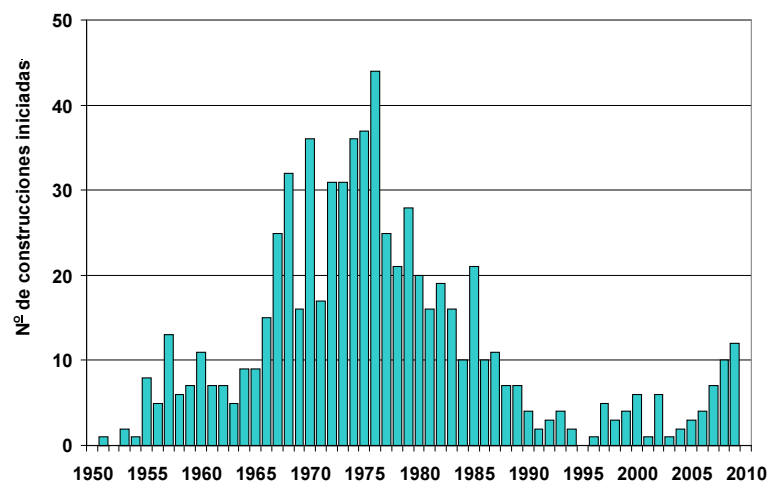


Fig. B-2. Construcciones de centrales nucleares iniciadas, por año. Fuente: OIEA, 2010.

B.2. Tecnología de reactores disponible

21. De todos los reactores comerciales en funcionamiento, alrededor del 82% son reactores moderados³ y refrigerados por agua ligera, un 10% son reactores moderados por agua pesada y refrigerados por agua pesada, un 4% son reactores refrigerados por gas, y un 3% son reactores refrigerados por agua y moderados por grafito. Uno es un reactor moderado y refrigerado por metal líquido. En el cuadro B-3 se indica el número, los tipos y la potencia neta de las centrales nucleares actualmente en explotación. En 2010 la capacidad media de los reactores en funcionamiento era de 850 MW(e).

Cuadro B-3. Distribución actual de los tipos de reactor.⁴

País	PWR		BWR		GCR		PHWR		LWGR		FBR		Total	
	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)	Nº	MW(e)
ALEMANIA	11	14 033	6	6 457									17	20 490
ARGENTINA							2	935					2	935
ARMENIA	1	375											1	375
BÉLGICA	7	5 934											7	5 934
BRASIL	2	1 884											2	1 884
BULGARIA	2	1 906											2	1 906
CANADÁ							18	12 569					18	12 569
CHINA	11	8 748					2	1 300					13	10 048
EE.UU.	69	66 945	35	33 802									104	100 747
ESLOVAQUIA	4	1 762											4	1 762
ESLOVENIA	1	666											1	666
ESPAÑA	6	6 006	2	1 510									8	7 516
FINLANDIA	2	976	2	1 745									4	2 721
FRANCIA	58	63 130											58	63 130
HUNGRÍA	4	1 889											4	1 889
INDIA			2	300			17	3 889					19	4 189
JAPÓN	24	19 286	30	27 537									54	46 823
MÉXICO			2	1 300									2	1 300
PAÍSES BAJOS	1	487											1	487
PAKISTÁN	1	300					1	125					2	425
REINO UNIDO	1	1 188			18	8 949							19	10 137
REP. CHECA	6	3 678											6	3 678
REP. DE COREA	17	15 943					4	2 722					21	18 665
RUMANIA							2	1 300					2	1 300
RUSIA	16	11 914							15	10 219	1	560	32	22 693
SUDÁFRICA	2	1 800											2	1 800
SUECIA	3	2 799	7	6 504									10	9 303
SUIZA	3	1 700	2	1 538									5	3 238
UCRANIA	15	13 107											15	13 107
TOTAL	269	248 295	92	83 834	18	8 949	46	22 840	15	10 219	1	560	441	374 697

Los totales incluyen seis unidades, 4 980 MW(e) en Taiwán (China).

PWR: reactor de agua a presión; BWR: reactor de agua en ebullición; GCR: reactor refrigerado por gas; PHWR: reactor de agua pesada a presión; LWGR: reactor refrigerado por agua ligera y moderado por grafito; FBR: reactor reproductor rápido.

³ Algunos reactores de agua ligera (LWR) son reactores moderados por grafito.

⁴ Al 26 de agosto de 2010.

B.3. Recursos humanos

22. Aunque ni el Organismo ni otras organizaciones internacionales mantienen estadísticas exhaustivas, se estima que en 2009 el total de centrales nucleares en funcionamiento en todo el mundo siguió dando trabajo a más de 250 000 personas. Como se muestra en la figura B-3, unas tres cuartas partes de todos los reactores que están en funcionamiento actualmente tienen más de 20 años, y una cuarta parte más de 30. La generación que construyó y explotó esas centrales se ha retirado ya o lo hará pronto. Muchas de las organizaciones concesionarias de licencias de explotación de esas centrales también están ejecutando o considerando proyectos de construcción de nuevas unidades, y se están enfrentando a la escasez de personal experimentado y a la pérdida de conocimientos al tratar de sustituir al personal que se jubila en su parque actual y, al mismo tiempo, dotar de personal a los nuevos proyectos.

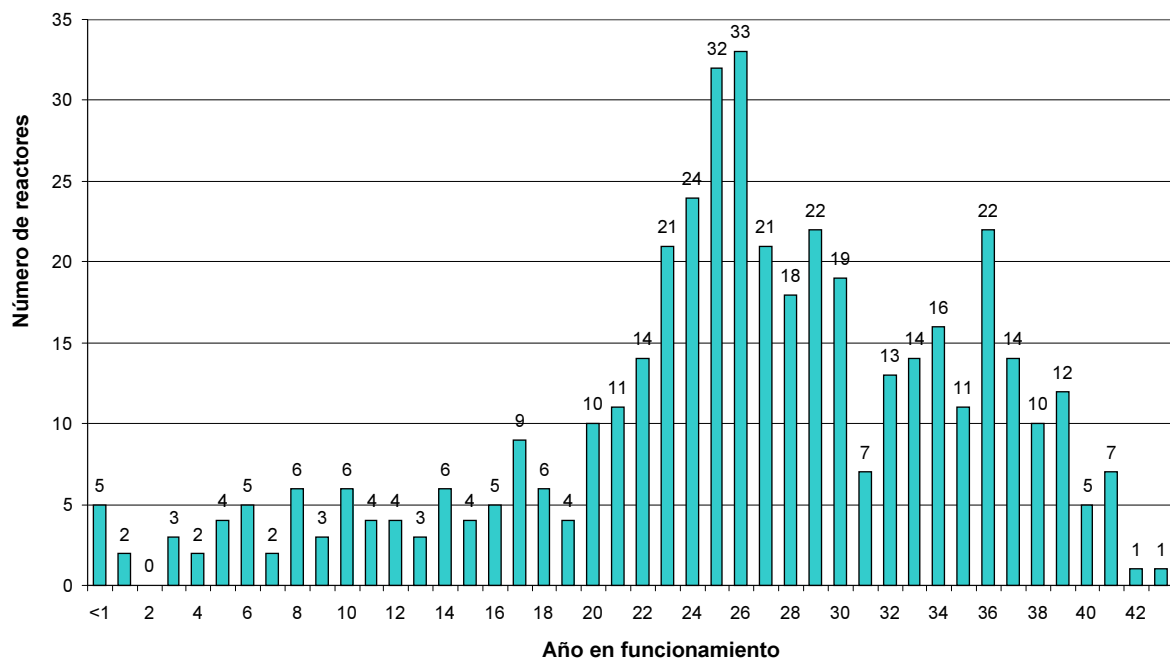


Fig. B-3: Número de centrales nucleares en funcionamiento, por edad, en el mundo a 26 de agosto de 2010 (la edad de un reactor se determina por la fecha en que fue conectado por primera vez a la red)

23. Las preocupaciones por la posible escasez de personas cualificadas son distintas en los diferentes países. Para los países con programas nucleoelectrónicos en expansión, la dificultad reside en ampliar sus programas de enseñanza y capacitación actuales a fin de disponer de la fuerza de trabajo cualificada necesaria tan pronto como se necesite. Los países que planean suministrar tecnología nuclear a otros no solo tienen que atender sus necesidades nacionales de recursos humanos, sino que también han de poder transferir capacidad de enseñanza y capacitación junto con la tecnología que suministran. La experiencia demuestra que los países que inician programas nucleoelectrónicos tendrán que depender en gran medida de su suministrador de tecnología a la hora de promover la capacitación de personas cualificadas para actividades de construcción, concesión de licencias y puesta en marcha. Asimismo, los países suministradores de tecnología deberán ofrecer oportunidades para el desarrollo de las capacidades nacionales y los programas de capacitación internos necesarios. La cooperación entre países experimentados y países que comienzan también está ayudando a colmar la brecha de experiencia. En los dos últimos años, por ejemplo, Francia ha establecido lazos de cooperación en la esfera de la enseñanza y la capacitación con Jordania y Polonia.

24. La Conferencia Internacional sobre el desarrollo de recursos humanos para la implantación y ampliación de programas nucleoelectricos celebrada en Abu Dhabi en marzo de 2010 determinó las medidas que los Gobiernos, la industria, las compañías eléctricas y las universidades pueden adoptar para contratar, retener y mejorar la fuerza de trabajo necesaria para la industria nuclear mundial. El análisis comparado y el intercambio de las enseñanzas obtenidas se identificaron como medios importantes para la realización de esas medidas. Se puso especial énfasis en la contratación de la próxima generación de trabajadores, así como en el aumento de la participación de la mujer en la fuerza de trabajo en el sector nuclear. Puede lograrse que el lugar de trabajo en la esfera nuclear sea más atractivo para estos grupos ofreciendo, por ejemplo, mayor flexibilidad en los horarios de trabajo, oportunidades de colaboración, asesoramiento y reconocimiento.

25. Para obtener mejores datos demográficos sobre la fuerza de trabajo mundial, en la conferencia de Abu Dhabi se anunció que el Organismo y otras organizaciones lanzarían una iniciativa para realizar las siguientes actividades a escala mundial: examinar los recursos humanos de las centrales nucleares existentes, así como realizar un estudio sobre los contratistas y suministradores; examinar la demanda y oferta de recursos humanos para los órganos reguladores nucleares; realizar un estudio sobre las organizaciones de enseñanza y los programas que apoyan la energía nucleoelectrica; elaborar instrumentos de planificación del personal para los países que están considerando iniciar o que han iniciado nuevos programas nucleoelectricos; e integrar todo lo anterior en una base de datos accesible que pueda utilizarse para elaborar modelos de oferta y demanda mundiales o nacionales de recursos humanos.

B.4. Parte final del ciclo del combustible

26. En los dos años transcurridos desde que este informe se publicó por última vez, la expansión más notable de las actividades en la parte final del ciclo del combustible se produjo en la esfera de la prospección y extracción de uranio. Actualmente se llevan a cabo actividades de extracción de uranio en 19 países, ocho de los cuales⁵ representan el 93% de la capacidad mundial, y el 35% de las necesidades de uranio se satisfacen con suministros secundarios – uranio almacenado o material antes destinado a fines militares – y materiales reciclados. Tras 20 años aproximadamente en los que el uranio ha registrado precios bajos, el precio del mercado al contado ha aumentado considerablemente después de 2004, multiplicándose hasta por diez, en previsión de un aumento de la demanda y un descenso de los suministros secundarios. Tras alcanzar un valor máximo en 2007, el precio al contado es actualmente unas cinco veces inferior al anterior a 2004. La mayor capacidad de fabricación de combustible se encuentra en Francia, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia y el Japón.

B.5. Gestión de los desechos radiactivos y clausura

27. Si bien actualmente no hay en funcionamiento ningún repositorio geológico profundo para desechos de actividad alta, Finlandia, Francia y Suecia han realizado avances importantes en su desarrollo. Finlandia está construyendo un túnel de exploración para la disposición final en profundidad, con la intención de solicitar una licencia de construcción de un repositorio en 2012 con miras a que la disposición final definitiva pueda comenzar en 2020. Los Estados Unidos anunciaron recientemente la retirada de la solicitud de licencia para construir y explotar la instalación de almacenamiento de desechos de Yucca Mountain, y encomendaron a la Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future la formulación de recomendaciones para la elaboración de una solución segura a largo plazo con miras a la gestión del combustible nuclear gastado y los desechos nucleares de los Estados Unidos que incluya todas las alternativas.

⁵ Australia, el Canadá, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, Kazajstán, Namibia, el Níger y Uzbekistán.

28. A finales de 2009, 123 reactores de potencia se habían sometido a régimen de parada, de los cuales 15 se habían desmantelado completamente, 51 se encontraban en proceso de desmantelamiento, 48, en modalidad de confinamiento seguro, tres, sepultados, y, en el caso de otros seis, aún no se habían especificado estrategias de clausura.

B.6. Capacidad industrial

29. El número de centrales nucleares en construcción alcanzó su nivel más alto en 1979, con 233, frente a un número comprendido entre 30 y 55 en los últimos 15 años (véase la fig. B-4). El número de reactores en construcción al 21 de julio de 2010 alcanzó los 61.

30. Existen algunos indicios de que se están atendiendo las anteriores preocupaciones acerca de la capacidad de la industria para hacer frente a la demanda de componentes esenciales (como vasijas de presión y piezas forjadas clave) mediante inversiones en instalaciones. Se está construyendo nueva capacidad en el Japón (Japan Steel Works (JSW) y Japan Casting & Forging Corporation (JCFC)), China (Shanghai Electric Group y sus filiales), la República de Corea (Doosan) y la Federación de Rusia (OMZ Izhora y ZiO-Podolsk), así como en Le Creusot (Francia) y Plzeň (República Checa). JSW, por ejemplo, planea triplicar su capacidad antes de 2012. China ha anunciado que tiene capacidad para producir equipo pesado para seis reactores de gran envergadura al año, y Shanghai Electric Group ha informado de que podrá fabricar piezas forjadas grandes para el AP1000 antes de que termine 2010.

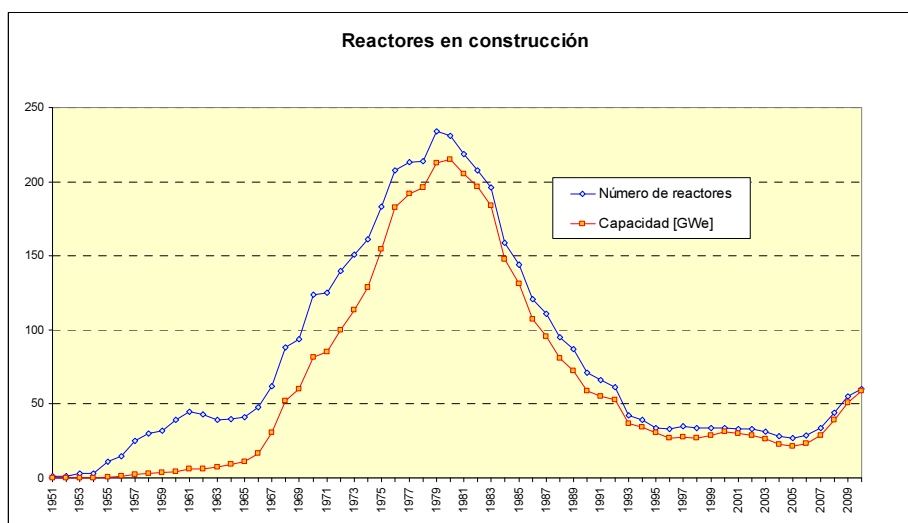


Fig. B-4. Número de reactores en construcción (y capacidad total) de 1951 a 2008

C. Perspectivas de la utilización futura de la energía nuclear

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

31. Tras el cierre de la central de Ignalina en Lituania, el número de países con centrales nucleares en explotación se ha reducido desde 2008. Sin embargo, Lituania está planificando una nueva central – posiblemente junto con sus vecinos bálticos – para sustituir en el próximo decenio la central cerrada.

32. En los 29 países que cuentan con centrales nucleares en funcionamiento, la parte de electricidad suministrada a escala nacional va del 76% de la producción de electricidad en Francia al 2% de la electricidad en la India y en China. Como se indica más adelante, la diferencia entre las proyecciones baja y alta del Organismo acerca de la energía nucleoelectrica se da en lo que respecta tanto a la capacidad total instalada en los 29 países que ya utilizan la energía nucleoelectrica, como al aumento del número de países con energía nucleoelectrica.

33. El Cuadro C-1 presenta una revisión de la información disponible sobre los planes de expansión de los países que en la actualidad explotan centrales nucleares. Incluye presentaciones de los Estados Miembros ante la Conferencia General de 2009 y otras declaraciones públicas de sus posturas.

34. Se ha asignado a cada uno de los 29 países a uno de los grupos del cuadro C-1, lo que da una indicación de las intenciones futuras previstas de los 29 países que ya disponen de energía nucleoelectrica.

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

Descripción del grupo	Número de países
Países con la intención de eliminar gradualmente las centrales nucleares cuando las actuales lleguen al final de su vida útil o alcancen una potencia de salida acumulativa acordada	2
Países que están revisando sus necesidades energéticas e incluyendo la energía nuclear como una opción posible	5
Países que permiten que se propongan nuevas centrales pero sin incentivos	4
Países que apoyan la construcción de una nueva central o varias	5
Nuevas centrales en construcción	13

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

35. En estos últimos años, muchos países de todas las regiones del planeta han manifestado un interés nuevo o renovado por la energía nucleoelectrica. En un contexto de aumento de las demandas de energía para alimentar el crecimiento y el desarrollo económicos, preocupaciones por el cambio climático, precios volátiles de los combustibles fósiles y mejora de la seguridad y el rendimiento, unos 65 países están manifestando interés en la energía nucleoelectrica, estudiándola o bien planificándola activamente. Esto se produce tras un vacío de casi 15 años, durante los cuales han evolucionado los mercados internacionales, los sistemas energéticos y las preocupaciones estratégicas. Los países que están implantando la energía nucleoelectrica se enfrentan ahora a circunstancias distintas de las del pasado y están respondiendo a ellas de maneras nuevas y creativas. Los países que están planificando la expansión de sus programas ya existentes de energía nucleoelectrica, algunos de los cuales no han construido nuevos reactores durante más de diez años, pueden compartir también algunos de estos problemas.

36. Otro indicador del creciente interés es la triplicación del número de proyectos de cooperación técnica (CT) del Organismo relacionados con la energía nucleoelectrica. Había 13 en el ciclo de 2007-2008 y hay 35 en el ciclo actual de 2009-2011. En 2009, 58 países participaban en proyectos nacionales y/o regionales relacionados con la implantación de la energía nucleoelectrica por medio del programa de CT del Organismo.

37. El cuadro C-2 presenta el número de países en distintas fases de consideración o desarrollo de la energía nucleoelectrica. Algunos países, a veces citados como ‘los recién llegados al ámbito nuclear’,

como Bangladesh, Egipto y Viet Nam, llevan de hecho algún tiempo planificando la energía nucleoelectrica. Otros, como Polonia, están revitalizando la opción de la energía nucleoelectrica después de que los planes se recortaran al cambiar la opinión de los gobiernos y del público. Países como Jordania, Mongolia y Uruguay están considerando por primera vez la posibilidad de la energía nucleoelectrica. Lo que tienen en común es que todos están contemplando la posibilidad de iniciar, planificando o iniciando programas de energía nucleoelectrica y no han conectado una primera central nuclear a la red.

38. La República Islámica del Irán ha anunciado sus planes de finalizar pronto la puesta en servicio de su primera central nuclear en Bushehr.

39. De los 65 países que han expresado interés en la implantación de la energía nucleoelectrica, 21 son de la región de Asia y el Pacífico, 21 de la región de África, 12 de Europa (en su mayoría de Europa Oriental) y 11 de América Latina.

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

Descripción del grupo	Número de países
Países que no tienen previsto construir centrales nucleares, pero están interesados en estudiar los aspectos asociados a un programa nucleoelectrico ⁶	31
Países que estudian la posibilidad de implantar un programa nuclear para atender necesidades energéticas concretas con una clara intención de seguir adelante	14
Países que se preparan activamente para un posible programa nucleoelectrico sin haber tomado una decisión definitiva	7
Países decididos a implantar la energía nucleoelectrica y que han comenzado a preparar la infraestructura apropiada	10
Países que han preparado una licitación para el suministro de una central nuclear	
Países que han encargado una nueva central nuclear	2
Países con una nueva central nuclear en construcción	1

40. El ritmo al que se fueron sumando nuevos países a la lista de los países que explotan centrales nucleares se mantuvo bastante constante durante los primeros años del decenio de 1980 (Fig. C-1). Tan sólo tres países conectaron sus primeras centrales nucleares a la red en la era postChernóbil: China, México y Rumania. Los países que en la actualidad están haciendo planes para su primera central nuclear tienen una laguna de quince años en su experiencia. De los países que muestran interés por su primera central nuclear, 25 han indicado fechas objetivo para un primer funcionamiento antes de 2030, comprendidos 14 entre 2015 y 2020 que, de lograrlo, arrojarían el mayor número de nuevos países que abordan la producción de energía nuclear que se haya dado nunca en un periodo de tiempo tan breve.

⁶ Sobre la base de la participación en el programa actual de CT por medio de proyectos regionales/nacionales de CT o declaraciones ante la Conferencia General del OIEA.

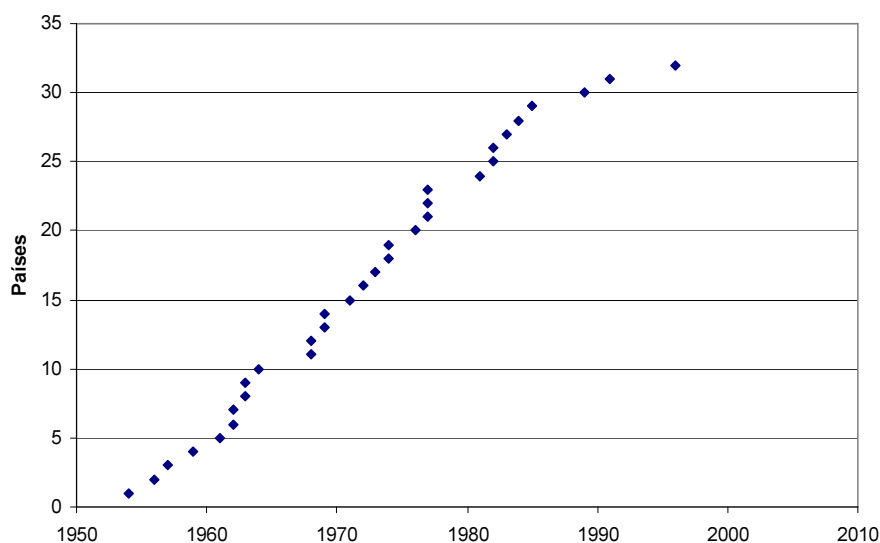


Fig. C-1. Año del nuevo país que explota su primera central nuclear.

41. 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 el aumento previsto del uso de energía nucleoelectrica estaría impulsado más por la expansión en los países que ya la utilizan que por los países que inician programas nucleoelectricos, y que aproximadamente 25 nuevos países podrían tener en funcionamiento sus primeras centrales nucleares para 2030 en la proyección alta, frente a unos 10 nuevos países en la proyección baja.

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

42. El informe de 2008 enumeraba siete factores que pueden impulsar la implantación de la energía nucleoelectrica. Sólo en dos casos existe información considerablemente actualizada que comunicar.

C.3.1. Precios de los combustibles fósiles

43. La producción de energía por combustión de carbón y de gas natural serán las principales alternativas a la energía nucleoelectrica a corto y medio plazo. Los precios de uno y otro han sido volátiles en los últimos años. Los precios del carbón hicieron más que duplicarse en la mayoría de las regiones entre 2003 y mediados de 2008, pero a continuación descendieron en un 70% entre julio y diciembre de 2008. Recientemente han dado algunos signos de recuperación. Asimismo los precios del gas, que se habían más que duplicado paralelamente a los precios del carbón, bajaron en 2009, pero después empezaron a subir ligeramente en el segundo trimestre de 2010. Las subidas de los precios del carbón y del gas entre 2003 y 2008 contribuyeron a que aumentaran las expectativas de la energía nucleoelectrica. Los precios del uranio fueron también algo volátiles, llegando al máximo en 2007 antes de bajar en 2009. Sin embargo, los costos del uranio representan un porcentaje menor de los costos generales de producción que los del carbón y el gas, de modo que los costos potencialmente tan volátiles y en alza del combustible tienen una repercusión más significativa en las decisiones sobre la inversión en centrales alimentadas con energía fósil que en las centrales nucleares.

C.3.2. Medio ambiente

44. La Conferencia de las Partes en el Protocolo de Kyoto (COP-15), celebrada en Copenhague en diciembre de 2009, supuso la culminación de un proceso de negociación de dos años para fortalecer la cooperación internacional en la esfera del cambio climático. El objetivo fundamental consistía en llegar a un nuevo acuerdo internacional en materia de medio ambiente, con ambiciosas reducciones a mediano plazo de los gases con efecto de invernadero, que entrarían en vigor en 2012. Las negociaciones fueron difíciles, centradas en fijar objetivos para las emisiones de gases con efecto de invernadero, especialmente las originadas en los países que no eran signatarios del Protocolo de Kyoto. Contrariamente a la habitual estigmatización de la energía nucleoelectrica en el mecanismo de desarrollo limpio y la aplicación conjunta, en el texto preparado por el Grupo especial de trabajo sobre las actividades en cooperación en el marco de la Convención (AWG-LCA) no hay ya ninguna referencia que excluya la energía nucleoelectrica de las medidas de atenuación nacionalmente apropiadas (NAMA), lo que se considera un avance hacia el reconocimiento del papel de la energía nuclear como una poderosa opción con miras a la atenuación.

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

45. En el cuadro C-3 se indican las proyecciones actualizadas más recientes del Organismo sobre la capacidad de generación de energía nucleoelectrica, desglosadas por regiones. En la proyección baja, la capacidad aumenta de 372 GW(e) en 2008 a 511 GW(e) en 2030. En la proyección alta, la capacidad se eleva a 807 GW(e).

46. Aun cuando las proyecciones para 2030 abarcan aproximadamente a 25 nuevos países, el aumento total en la proyección alta corresponde sobre todo a incrementos en los 29 países que ya producen energía nucleoelectrica. La proyección baja también abarca aproximadamente a diez nuevos países cuya primera central nuclear podría estar en funcionamiento a más tardar en 2030.

47. En el *World Energy Outlook* (WEO), publicado por la Agencia Internacional de Energía (AIE), también figuran proyecciones sobre este tipo de energía, que se actualizan periódicamente. El WEO contiene un escenario de referencia y alternativas, en lugar de las proyecciones bajas y altas publicadas por el OIEA. El escenario de referencia de la AIE las han sobrepasado ligeramente en los últimos años y su escenario alternativo más reciente, que tiene en cuenta la adopción de medidas adicionales para limitar la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero (GEI) en 450 partes por millón (ppm) de CO₂, equivalente, indica para 2030 un incremento de la energía nucleoelectrica del 50% con respecto al escenario de referencia⁷.

⁷ Agencia Internacional de Energía, *World Energy Outlook 2009*, OCDE, París (2009).

Cuadro C-3. Estimaciones de la capacidad de producción de energía nucleoelectrónica (en GW(e))

Región	2008	2010		2020		2030	
		Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
América del Norte	113.3	114	115	126	130	127	168
América Latina	4.0	4.0	4.0	6.9	8.0	10.8	23
Europa occidental	122.5	119	122	90	131	82	158
Europa oriental	47.5	47	47	68	81	83	121
África	1.8	1.8	1.8	2.8	4.1	6.1	17
Oriente Medio y Asia Meridional	4.2	7	10	13	24	20	56
Sudeste de Asia y el Pacífico						0	5.2
Lejano Oriente	78.3	79	80	138	165	183	259
Total mundial	371.6	372	380	445	543	511	807

48. Según otras proyecciones, en el futuro podría haber una gran diversificación en el uso de la energía nuclear. La Asociación Nuclear Mundial publica cada dos años escenarios altos, bajos y de referencia relativos a la capacidad nuclear. La variación indicada en sus proyecciones actualizadas de 2009 para 2030, de 248 GW(e) a 815 GW(e), indica incertidumbres ligeramente más numerosas que en los dos años anteriores. Las proyecciones altas de la Asociación Nuclear Mundial y el OIEA son bastante similares y un 10% más elevadas que el escenario del WEO que limita la concentración de los GEI a 450 ppm.

C.5. Expectativas en cuanto a las aplicaciones no eléctricas

49. Se ha acumulado experiencia en relación con la energía nuclear en el mercado del calor y el vapor a temperaturas más bajas. Parece ser posible ampliar aún más esa experiencia a corto plazo en las esferas de la desalación, la calefacción urbana y la recuperación terciaria de crudo. En la gama de temperaturas más elevadas del calor/vapor, existe un gran potencial para utilizar la energía nuclear en la producción de hidrógeno y en las industrias petroquímicas, incluida la producción de combustibles líquidos para el sector del transporte. Hay muchos sectores industriales (como las industrias químicas y petroquímicas, del papel y la pulpa, la industria alimentaria, la industria automotriz, la industria de manufactura de textiles, etc.) que tienen gran demanda de electricidad y calor/vapor a varios niveles de temperatura y presión. El desarrollo de centrales de doble uso, a saber, para la producción de electricidad y el aprovechamiento del vapor para procesos industriales, podría entrañar considerables beneficios económicos, que podrían incrementarse aún más con el uso de fuentes de vapor y calor de alta temperatura, posiblemente mediante reactores de alta temperatura.

D. Desafíos para la expansión nuclear

D.1. Principales cuestiones y tendencias relacionadas con la expansión nuclear a corto plazo

50. En el informe de 2008 se trataron nueve cuestiones y tendencias principales. En los párrafos siguientes se hace una actualización respecto de cuatro de esas esferas, en las que se considera que se registraron los adelantos más notorios.

D.1.1. Competitividad económica y financiación

51. Los costos previstos de la producción de energía nucleoelectrica en centrales nuevas (con inclusión de su gestión y explotación, y del combustible) varían ampliamente según los países, entre unos \$30/MW·h y \$80/MW·h, si se aplica una tasa de descuento del 5%. En comparación, los costos, en el caso de las centrales de gas, varían entre unos \$35/MW·h y \$120/MW·h, si se aplica también una tasa de descuento del 5%. Según las proyecciones de los costos de producción de electricidad de la AEN/OCDE, en once países que presentan sus estimaciones de los costos de la producción de electricidad mediante el empleo tanto de energía nuclear como de combustibles fósiles, la energía nucleoelectrica llegaría a costar sistemáticamente menos que la procedente de la combustión del gas en todos esos países, con una tasa de descuento del 5%, y en cinco de ellos, con una tasa de descuento del 10%. La energía nucleoelectrica costaría sistemáticamente menos que la procedente de la combustión de carbón en nueve de los once países, con una tasa de descuento del 5%, y en ocho de ellos, con una tasa de descuento del 10%.⁸

52. La importancia económica que tiene para los inversores el hecho de que la energía nucleoelectrica tenga tan bajo nivel de emisiones de GEI varía de un país a otro. En los países en que no se fijan límites a las emisiones de GEI, carece de un valor económico tangible el hecho de que los niveles de emisión de GEI sean muy bajos. En los países que establecen limitaciones o gravámenes en relación con dichas emisiones, ese hecho sí tiene valor económico. La competitividad económica de la energía nucleoelectrica podría mejorar a corto plazo si se la incluyera en los planes de comercio de los derechos de emisión de carbono destinados a reducir las emisiones de GEI.

53. La crisis financiera y económica que comenzó en el otoño de 2008 solo ha tenido un impacto modesto en los proyectos nucleoelectricos y, como se señala en la sección C.4, las proyecciones hechas en 2009 han incluso aumentado. En primer lugar, la crisis no ha tenido efectos en los factores de la energía nuclear a largo plazo y, lo que es más importante, la creciente demanda de energía como consecuencia del crecimiento demográfico y el desarrollo económico, el interés por mantener los costos de producción estables y previsibles, y las preocupaciones respecto de la seguridad de los suministros de energía y la protección ambiental, especialmente el cambio climático. En segundo lugar, la crisis ha tenido un impacto más pronunciado en los proyectos a corto plazo. La perspectiva de un menor crecimiento de la demanda a corto plazo hace que no sea tan urgente adoptar decisiones en materia de inversiones a corto plazo, y los plazos prolongados asociados a los proyectos nucleares permiten un mayor análisis y una preparación más minuciosa. Por lo tanto, la crisis afectó a la mayoría de los proyectos nucleares en sus etapas de planificación iniciales, es decir, muchos años antes de que se tuvieran que adoptar decisiones clave en materia de financiación. En consecuencia, solo se han postergado o cancelado unos pocos planes de expansión de la energía nucleoelectrica, y los pedidos siguen siendo numerosos. En tercer lugar, si bien, los costos de inversión de la energía nucleoelectrica parecen haberse duplicado desde 2004, los costos de inversión de las opciones de generación distintas de la energía nuclear también han aumentado, y la economía relativa de las opciones de generación de electricidad sólo se ha reajustado marginalmente, en caso de que haya sido posible.

54. Lo anterior no quiere decir que el negocio de la energía nucleoelectrica haya salido ileso de la crisis financiera y económica mundial. Ésta se ha citado como un factor que contribuye a las demoras y aplazamientos a corto plazo que sufren los proyectos nucleares en algunas regiones del mundo, especialmente en América del Norte y Europa. Por ejemplo, Vattenfall dejó en suspenso por un período de 12 a 18 meses las decisiones sobre la construcción de nuevas instalaciones nucleares en el Reino Unido, aludiendo a la recesión económica y la situación del mercado. La Federación de Rusia

⁸ AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR, *Projected Costs of Generating Electricity: 2010 Edition*, OCDE, París (2010).

anunció que durante los próximos años, debido a la crisis financiera y a una proyección menor del consumo de electricidad, frenaría sus planes de expansión de dos reactores al año a uno. A fines de 2009, el examen de 5 de las 18 solicitudes de licencia combinada relativas a 28 reactores presentadas en los Estados Unidos de América se habían dejado en suspenso a petición de los solicitantes. En Sudáfrica, Eskom amplió en dos años, hasta 2018, el calendario del siguiente reactor que prevé construir.

D.1.2. Percepción del público

55. En muchos países la actitud del público respecto de la energía nucleoelectrica ha cambiado en los últimos años. El apoyo del público a la energía nucleoelectrica ha aumentado con el reconocimiento de las preocupaciones por el cambio climático y la falta de alternativas viables y asequibles. El cambio de percepción del público respecto de la energía nucleoelectrica se debe en parte a la producción satisfactoria de energía nuclear en los últimos 20 años, así como a la idea de que la energía nuclear puede aportar una valiosa contribución para reducir el calentamiento atmosférico. La constante experiencia positiva en la clausura y la gestión del combustible gastado puede haber contribuido también al aumento de la confianza del público. Sin embargo, en otros Estados la preocupación del público por la energía nucleoelectrica sigue siendo un obstáculo importante para la ampliación o el inicio de programas nucleoelectricos.

D.1.3. Gestión de combustible gastado y desechos y disposición final

56. La mayor parte del combustible gastado del mundo se sigue almacenando en piscinas de reactores o en lugares de almacenamiento. No obstante, el almacenamiento representa una etapa provisional de todas las estrategias de gestión del combustible gastado, y la disposición final del combustible gastado o de desechos de actividad alta (HLW) provenientes del reprocesamiento del combustible gastado puede tardar decenios. El combustible gastado se sigue acumulando en cantidades mayores y debe estar almacenado durante períodos más largos de lo previsto inicialmente (durante 100 años). Además, se están elaborando diseños del combustible que permitan conseguir porcentajes de quemado mucho más elevados de lo considerado en un principio en la base del diseño de muchos tipos de almacenamiento. Por lo tanto, es preciso investigar y ensayar muchos procesos físicos, químicos y térmicos distintos, por ejemplo, para mantener la operabilidad, la fiabilidad, la seguridad tecnológica y la seguridad física del almacenamiento y del combustible gastado, y garantizar que con el tiempo el combustible gastado se pueda transportar en condiciones de seguridad tecnológica y física del lugar de almacenamiento al de reprocesamiento o disposición final.

57. Países como la Federación de Rusia, Francia, la India y el Japón tienen programas en curso para reciclar el combustible gastado. Sin embargo, como la disposición final es necesaria en todas las opciones relacionadas con la parte final del ciclo del combustible, cada país necesita tener acceso a la disposición final. Es preciso apoyar las opciones, iniciativas y proyectos de disposición final. Es necesario, asimismo, prestar apoyo especial a los países que se incorporan al ámbito nuclear para que formulen estrategias de gestión del combustible gastado.

58. Existe tecnología de eficacia probada para las operaciones de clausura, y se pueden optimizar considerablemente los peligros de radiación, las dosis, la cantidad y el tipo de desechos, así como los calendarios y costos, si se tiene en cuenta la clausura en una etapa temprana.

D.1.4. Relación entre las redes de electricidad y la tecnología de los reactores

59. Diecisiete de los 31 países que están considerando o planificando la implantación de la energía nucleoelectrica tienen redes de menos de 5 GW(e), es decir demasiado pequeñas, según el parámetro del 10 por ciento, para la mayoría de los diseños de reactores existentes si no se mejoran las interconexiones internacionales entre redes. Las cuestiones relacionadas con las redes también pueden limitar las opciones tecnológicas para otros países cuyas redes tienen una capacidad inferior a 10 GW(e).

D.2. Cuestiones clave relacionadas con la utilización a largo plazo

60. La principal actualización en esta sección es la estimación de los recursos de uranio.

61. La estimación más reciente de los recursos mundiales de uranio publicada por la AEN de la OCDE y el OIEA en 2010 muestra que los recursos convencionales de uranio conocidos ascienden a 6,3 millones de toneladas (Mt U). Se pueden lograr ciertas mejoras en la utilización de los recursos naturales (hasta la duplicación de la cantidad de energía producida) en la actual generación de reactores, mediante la reducción de la cantidad de uranio 235 presente en las colas de las plantas de enriquecimiento, la reutilización del uranio y plutonio extraídos del combustible gastado, el aumento del grado de quemado del combustible y la modernización de sistemas de centrales (por ejemplo, la instalación de turbinas más eficientes).

E. Desarrollo de la tecnología de los reactores y del ciclo del combustible⁹

E.1. Adelantos relacionados con los reactores nucleares y la tecnología conexas

E.1.1. Reactores de agua ligera (LWR)

62. Además de su amplio programa nucleoelectrico con reactores de agua a presión (PWR), reactores de potencia refrigerados y moderados por agua (WWER) y reactores de agua pesada (HWR) suministrados por proveedores extranjeros, China ha elaborado ya y utiliza sus propios diseños nacionales de PWR de mediana potencia. Además, la Corporación Nuclear Nacional de China (CNNC) ha desarrollado la evolutiva Central Nuclear de China (CNP-1000), que incorpora la experiencia adquirida en el diseño, la construcción y la explotación de las centrales existentes en China. Dos unidades de la CNP-1000 están en funcionamiento (Lingao-1 y -2) y se están construyendo varias unidades adicionales o se prevé construirlas. La Corporación Estatal de Tecnología Nucleoelectrica (SNPTC), creada en mayo de 2007, se encarga de asimilar la tecnología AP-1000 de Westinghouse para elaborar el diseño pasivo en gran escala de China CAP1400, así como algunos otros conceptos de reactores avanzados, comprendidos reactores de pequeña y mediana potencia (RPMP) y un reactor refrigerado por agua supercrítica (SCWR).

63. Se ha seleccionado el nivel de potencia de 1 600+ MW(e) del reactor europeo de agua a presión (EPR) para conseguir economías de escala en comparación con la última serie de PWR en funcionamiento en Francia (serie N4) y Alemania (serie Konvoi). Électricité de France (EDF) prevé iniciar la construcción de un EPR en Penly a principios de 2012. También se están construyendo dos unidades de EPR en Taishan (China). El diseño del reactor US EPR de AREVA está siendo examinado por la Comisión Reguladora Nuclear (NRC) de los Estados Unidos de América a los efectos de la certificación del diseño en los Estados Unidos, y por la Dirección de Sanidad y Seguridad del Reino Unido para la evaluación genérica del diseño en el Reino Unido.

64. AREVA está trabajando también con Mitsubishi Heavy Industries (MHI) en una empresa conjunta para desarrollar el PWR ATMEA-1 de 1 100+ MW(e), y con varias compañías eléctricas europeas para desarrollar el BWR KERENA de 1 250+ MW(e).

⁹ Las evaluaciones que figuran en esta sección se basan en la información de que dispone la Secretaría en el momento de elaborar el presente documento, así como en la información procedente de fuentes disponibles al público y, por lo tanto, quizás no sean exhaustivas o totalmente exactas.

65. En el Japón se están aprovechando las ventajas de la normalización y la construcción en serie con las unidades de reactor avanzado de agua en ebullición (ABWR) de gran potencia diseñadas por General Electric, Hitachi y Toshiba¹⁰. Se ha propuesto la construcción de varios ABWR en los Estados Unidos de América.

66. También en el Japón, MHI ha desarrollado el reactor avanzado de agua a presión (APWR+), que es una versión incluso más potente del PWR avanzado de gran potencia diseñado por MHI y Westinghouse para las unidades Tsuruga-3 y 4. MHI ha presentado una versión estadounidense del APWR, el US-APWR, a la NRC para la certificación del diseño. Actualmente se está evaluando una versión europea del APWR, el EU-APWR, en relación con los European Utility Requirements (EUR).

67. Con el objetivo de lograr energía sostenible mediante la alta conversión de isótopos fértiles a isótopos fisibles (un coeficiente de conversión equivalente a 1,0 o superior), Hitachi está desarrollando en el Japón el BWR conservador de recursos (RBWR) submoderado de gran potencia, y el Organismo de Energía Atómica del Japón (JAEA) está desarrollando el reactor de agua submoderado (RMWR) de gran potencia.

68. En la República de Corea, los beneficios de la normalización y la construcción en serie se están logrando con las centrales nucleares coreanas estándar (KSNP) de 1 000 MW(e). Se está llevando a cabo la explotación comercial de diez KSNP. La Compañía Hidroeléctrica y Nucleoeléctrica de Corea (KHNP) ha utilizado la experiencia acumulada para elaborar una versión mejorada, a saber, el reactor de potencia optimizado (OPR) de 1000 MW(e), con cuatro unidades en construcción en Shin-Kori-1 y -2 y Wolsong-1 y -2, y con una conexión a la red prevista entre 2010 y 2012. Se está desarrollando un reactor de potencia avanzado (APR) de 1 000 MW(e), con mejoras en la seguridad y los aspectos económicos, y está previsto que su construcción finalice en 2012.

69. El APR-1400 de la KHNP se basa en la experiencia de la KSNP e incluye un nivel de potencia más elevado para conseguir economías de escala. Las primeras dos unidades del APR-1400 se están construyendo en Shin-Kori-3 y -4, y se ha adjudicado un contrato a la KHNP para la construcción de 4 APR-1400 en los Emiratos Árabes Unidos. En la República de Corea se están realizando actividades para diseñar un APR+ de aproximadamente 1 500 MW(e) con miras a finalizar el diseño estándar para 2012.

70. En la Federación de Rusia se han diseñado centrales evolutivas tipo WWER tomando como base la experiencia de las centrales WWER-1000 en funcionamiento. Actualmente se están construyendo unidades del WWER-1000 en los emplazamientos de Kalinin y Volgodonsk, así como unidades del WWER-1200 en los emplazamientos de Novovoronezh-2 y Leningrad-2. Se prevé construir para 2020 otras unidades del WWER-1200 en las centrales nucleares de Novovoronezh, Leningrad, Volgodon, Kursk, Smolensk y Kola. En Belene (Bulgaria) se construirá una unidad evolutiva del WWER-1000 utilizando algunas características de la base del diseño de AES-2006. Dos unidades evolutivas del WWER-1000 se conectaron a la red en Tianwan (China), y se están construyendo más unidades del WWER-1000 en la India.

71. En los Estados Unidos de América, la NRC certificó en 1997 los diseños de un APWR de gran potencia (el Combustion Engineering System 80+) y un ABWR de gran potencia (el ABWR de General Electric). En 1999 se certificó el diseño AP-600 de mediana potencia de Westinghouse con sistemas de seguridad pasiva. Westinghouse ha construido la AP-1000, que utiliza tecnología de seguridad pasiva desarrollada para la AP-600 con el objetivo de reducir los costos de capital mediante economías de escala. Actualmente se está examinando una modificación de la certificación por la NRC del diseño de 2006 de la AP-1000.

72. General Electric está diseñando el reactor económico simplificado de agua en ebullición (ESBWR) de gran potencia, que aplica sistemas de economía de escala y tecnología de sistemas modulares de seguridad pasiva. El ESBWR se encuentra actualmente en la fase de examen de la certificación del diseño con la NRC.

¹⁰ También se están construyendo dos ABWR en Taiwán (China).

73. Es muy probable que se necesite un prototipo o una planta de demostración para los sistemas refrigerados por agua supercrítica, que han sido seleccionados para su desarrollo por el Foro Internacional de la Generación IV (GIF). En un sistema supercrítico el reactor funciona por encima del punto crítico del agua (22,4 MPa y 374°C), dando lugar a una mayor eficiencia térmica que los actuales LWR y HWR. Se prevé que con los diseños simplificados de centrales se podrá obtener un aumento de la eficiencia térmica del 40% al 45%. Un ejemplo de ello es el concepto de reactor refrigerado por agua termodinámicamente supercrítica de gran potencia, que están elaborando Toshiba, Hitachi y la Universidad de Tokio. La Comisión Europea está apoyando el proyecto de reactor de agua ligera de alto rendimiento (HPLWR) para un LWR termodinámicamente supercrítico. También se están realizando actividades sobre conceptos termodinámicamente supercríticos en universidades, centros de investigación y organizaciones encargadas del diseño de Alemania, Canadá, China, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, India, Japón, República de Corea y Ucrania.

E.1.2. Reactores de agua pesada (HWR)

74. También se están elaborando diseños de HWR avanzados en algunos países. En el Canadá, Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL) está trabajando en el concepto CANDU 6 mejorado (EC6), basado en la última central tipo CANDU 6 construida en Qinshan (China), que se ha actualizado para cumplir los códigos y normas más recientes, e incorpora los últimos requisitos reglamentarios. AECL también está desarrollando el reactor CANDU avanzado evolutivo de gran tamaño ACR-1000, que utiliza uranio ligeramente enriquecido y refrigerante de agua ligera, e incorpora mejoras fruto de las actividades de I+D realizadas en los últimos decenios. Asimismo, como parte de la iniciativa GIF, AECL está elaborando un diseño de reactor de tubos de presión innovador, moderado por agua pesada y que utiliza agua ligera supercrítica como refrigerante.

75. En la India, se ha llevado a cabo un proceso de evolución del diseño de HWR a partir de los proyectos Rajastán-1 y -2. También se están investigando diseños de reactores de tubos de presión moderados por agua pesada y refrigerados por agua termodinámicamente supercrítica.

E.1.3. Reactores refrigerados por gas

76. China planea construir un reactor modular de lecho de bolas de alta temperatura refrigerado por gas (HTR-PM) de 250 MW(t) con un ciclo indirecto (turbina de vapor) en Shidaowan. En Sudáfrica, el diseño del reactor modular de lecho de bolas (PBMR) de demostración de 165 MW(e) se ha transformado en un concepto de turbina de vapor que puede generar electricidad o utilizarse con fines de proceso. Esta modificación ha dado lugar a una demora en el proyecto del PBMR, y su futuro es objeto de una fuerte polémica en Sudáfrica.

E.1.4. Reactores rápidos

77. La utilización de los recursos es un factor importante para la sostenibilidad a largo plazo de la industria nuclear. Los reactores de espectro rápido con reciclado del combustible mejoran significativamente los índices de sostenibilidad. Por tanto, la investigación y el desarrollo de tecnología en la esfera de los reactores rápidos y los ciclos del combustible conexos vuelven a estar, en muchos países, en el programa de las organizaciones industriales y de investigación y de la comunidad académica.

78. Los hitos inmediatos y próximos de importancia para el desarrollo de los reactores rápidos incluyen la puesta en servicio prevista del reactor rápido experimental chino (CEFR), que alcanzó la criticidad por primera vez en julio de 2010, la nueva puesta en funcionamiento del prototipo de reactor industrial Monju en el Japón en mayo de 2010, la puesta en servicio prevista para 2011-2013 de reactores de potencia rápidos en la Federación de Rusia y la India (BN-800 y prototipo de reactor reproductor rápido (PFBR), respectivamente), la construcción prevista en torno a 2020 del prototipo de reactor rápido francés ASTRID, y otros proyectos de construcción de reactores de demostración y comerciales avanzados para 2020-2050 en la Federación de Rusia, la India, el Japón y la República de Corea.

79. China está a punto de alcanzar la primera fase esencial en el desarrollo de tecnología para reactores rápidos con la próxima puesta en servicio del CEFR de 65 MW(t), que alcanzó la criticidad por primera vez en julio de 2010. El diseño conceptual del reactor rápido de demostración chino (CDFR) de 600–900 MW(e) está en curso. El siguiente concepto, que se está estudiando actualmente, conducente a la utilización comercial de la tecnología de reactores rápidos hacia 2030, es el reactor reproductor rápido de demostración chino (CDFBR) de 1000–1500 MW(e). Para 2050 China prevé aumentar su capacidad nuclear hasta el nivel de 240–250 GW(e), que suministrarán fundamentalmente reactores reproductores rápidos.

80. En Francia, las actividades de desarrollo de tecnología de reactores rápidos se definen en dos leyes del Parlamento francés: la ley de 13 de julio de 2005, por la que se especifican directrices de política energética, y la ley de 28 de junio de 2006, relativa a políticas para la gestión sostenible de los desechos radiactivos, por la que se solicitan actividades de I+D en materia de reactores nucleares innovadores a fin de garantizar que, primero, pueda realizarse una evaluación de las perspectivas industriales de esos tipos de reactores antes de 2012, y, segundo, se ponga en servicio un prototipo de reactor antes del 31 de diciembre de 2020 (y esta tecnología se implante a nivel industrial entre 2040 y 2050). En cumplimiento de lo dispuesto en estas leyes, el Comisariado de Energía Atómica (CEA) y sus asociados industriales (EdF y AREVA) están poniendo en práctica un ambicioso programa de investigación y desarrollo tecnológico orientado al diseño y la implantación del prototipo de reactor rápido refrigerado por sodio ASTRID de 300–600 MW(e).

81. En el marco de los proyectos de la Euratom, el CEA también está realizando estudios de diseño conceptual para un prototipo de reactor experimental de 50–80 MW(t) denominado ALLEGRO.

82. En la India, se prevé que el PFBR de 500 MW(e) de Kalpakkam, de diseño autóctono realizado por el Centro de Investigaciones Atómicas Indira Gandhi (IGCAR) y construido por BHAVINI, alcance la criticidad por primera vez en 2011. La fase siguiente prevé la construcción y explotación comercial en 2023 de seis nuevos reactores de tipo PFBR que utilizan combustible de mezcla de óxidos de uranio y plutonio (una unidad doble en Kalpakkam y cuatro reactores de 500 MW(e) en un nuevo emplazamiento aún por determinar). En el diseño de esos seis reactores reproductores rápidos se aplicará un enfoque de mejoras escalonadas del primer diseño del PFBR de Kalpakkam. Más allá de 2020, la estrategia nacional india se centra en los reactores reproductores de alto rendimiento de ~1000 MW(e) de capacidad, y en la construcción de parques energéticos contiguos de unidades múltiples con instalaciones del ciclo del combustible basadas en tecnología de procesamiento piroquímico.

83. En el Japón, el Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencias y Tecnología (MEXT) definió la “Política de Investigación y Desarrollo en Materia de Tecnología del Ciclo del Reactor Reproductor Rápido (FBR)”, basada en el “Plan Básico de Ciencia y Tecnología” 2006–2011, en la que el Consejo de Política Científica y Tecnológica (CSTP) de la Oficina del Gabinete del Japón señaló la tecnología del ciclo del reactor reproductor rápido como una de las tecnologías clave de importancia nacional.

84. El Japón anunció la nueva puesta en funcionamiento del prototipo de reactor rápido Monju en mayo de 2010, y han comenzado los trabajos en el emplazamiento en el que las operaciones estuvieron suspendidas durante 15 años después de un incendio en 1995. Está previsto que alcance niveles operacionales plenos en 2013. Se prevé que las actividades de diseño e implantación del reactor rápido japonés permitan la introducción de un reactor rápido de demostración hacia 2025 y la explotación comercial de la tecnología de reactores reproductores rápidos hacia 2050. Estos objetivos se lograrán sobre la base de la experiencia en materia de explotación que se adquirirá con el prototipo de reactor rápido Monju y de los resultados del proyecto de desarrollo de la tecnología del ciclo del reactor rápido (FaCT, que comenzó en 2006), gracias al cual se desarrollarán tecnologías innovadoras orientadas a la competitividad económica, la alta fiabilidad y la seguridad de la próxima generación de reactores reproductores rápidos.

85. Las actividades de desarrollo del reactor rápido de la República de Corea se están realizando en el marco del GIF. Actualmente, las actividades de I+D se centran en el diseño del núcleo, los sistemas de transporte de calor y los sistemas de estructura mecánica. Concretamente, las actividades de I+D abarcan un experimento relacionado con un circuito pasivo de remoción del calor de desintegración (PDRC), los sistemas del ciclo de Brayton de S-CO₂, una prueba de interacción de Na-CO₂, y la tecnología del sodio. Se está trabajando en el diseño de conceptos innovadores de reactor rápido refrigerado por sodio y ciclo del combustible. La República de Corea planea desarrollar e implantar un reactor rápido de demostración para 2025–2028.

86. El “Programa Federal Objetivo de Tecnología Nucleoeléctrica de la Próxima Generación para el Período 2010–2020” ruso se propone mejorar la seguridad de la energía nuclear y resolver las cuestiones del combustible gastado. Rusia estableció un plan a medio plazo para concentrarse en la tecnología de reactores rápidos sin construir nuevos reactores de agua ligera. Los reactores de agua ligera existentes seguirán funcionando, y su combustible gastado se utilizará para la próxima generación de reactores rápidos. El programa ruso de reactores rápidos se basa en una amplia experiencia operacional en materia de reactores rápidos refrigerados por sodio experimentales y de tamaño industrial. Rusia también ha desarrollado y adquirido experiencia en la tecnología de reactores rápidos refrigerados por metal líquido pesado (plomo y aleación eutéctica plomo-bismuto). Rusia está construyendo actualmente el reactor BN-800 refrigerado por sodio, que utiliza combustible de mezcla de óxidos de uranio y plutonio, cuya puesta en servicio está prevista para 2013. El programa de desarrollo de reactores rápidos comprende la ampliación de la vida útil tanto del reactor experimental BOR-60 como del reactor industrial BN-600, y el diseño del nuevo reactor experimental MBIR, de 100 MW(t)/50 MW(e), refrigerado por sodio y que utiliza combustible de óxidos de uranio y plutonio (alternativamente nitrato de uranio-plutonio), que está previsto sustituya al BOR-60. En el marco del programa, las tecnologías de reactores rápidos basadas en refrigerantes de sodio, plomo y aleación eutéctica plomo-bismuto (es decir, SFR, BREST-OD-300 y SVBR-100, respectivamente) se desarrollarán simultáneamente, junto con los respectivos ciclos del combustible. El diseño del reactor rápido comercial avanzado BN-K, de gran tamaño y refrigerado por sodio, también está en curso.

87. El antiguo enfoque programático de los Estados Unidos se centraba en la mejora gradual de las tecnologías existentes a fin de hacer posible la implantación a corto plazo (en 20 años aproximadamente) de reactores rápidos. Esto respondía a la necesidad de mejorar la utilización de Yucca Mountain. Los desafíos vinculados a este enfoque, y las correspondientes elecciones de tecnología y sistemas integrados venían determinadas por las características de Yucca Mountain y el plazo del proyecto (en otras palabras, por la coordinación con las estrategias o los planes nacionales de disposición final geológica). Una consecuencia notable de este enfoque ‘industrial’ fue que una cantidad muy limitada de inversiones se destinó a la investigación y el desarrollo tecnológico, y a la innovación real en los instrumentos necesarios para fomentar un mejor entendimiento de los principios fundamentales.

88. El actual enfoque programático de los Estados Unidos se centra en la implantación a largo plazo de las tecnologías del ciclo del combustible, el análisis inicial de un conjunto amplio de opciones, y el uso de instrumentos y enfoques científicos modernos diseñados para resolver las dificultades y desarrollar tecnologías más eficaces.

89. Un objetivo principal del programa estadounidense es elaborar una estrategia integrada de gestión de los desechos. Esta labor se centra en las capacidades de predicción para conocer el funcionamiento de los repositorios. Otra esfera importante de investigación son las tecnologías de separación del combustible gastado. Mediante la realización de experimentos a pequeña escala, la formulación de teorías, así como la elaboración de modelos y la simulación con miras a fomentar los conocimientos fundamentales, se están investigando opciones innovadoras a largo plazo. El objetivo de esta labor es la reducción de los desechos. Una protección y un control mayores de los materiales es

otro objetivo primordial del programa estadounidense de reactores rápidos. En esta esfera, los trabajos se centran en el desarrollo de técnicas avanzadas que incorporen en la gestión de los materiales nucleares en tiempo real un inventario constante (comprendidas las instalaciones industriales de caudal elevado).

90. Las actividades específicas de investigación y tecnología incluyen el desarrollo del “reactor avanzado de reciclado” para el cierre del ciclo del combustible, y del reactor rápido necesario para los sistemas de transmutación final y utilización de transuránicos. El centro de atención a corto plazo es la tecnología de refrigeración por sodio. Para la futura implantación de la tecnología de reactores rápidos, el programa de los Estados Unidos se refiere especialmente a dos esferas de investigación principales: la reducción de costos de capital y la garantía de seguridad (incluida la elevada fiabilidad del sistema).

E.2. Novedades relacionadas con el ciclo del combustible nuclear y la tecnología conexas

91. 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 industriales de demostración a escala piloto.

92. En lo que atañe a la disposición final de desechos de actividad alta, se están realizando actividades encaminadas a encontrar emplazamientos apropiados y desarrollar barreras artificiales específicas, así como a realizar evaluaciones de la seguridad y a aplicar la tecnología de encapsulado y disposición final.

F. Cooperación en las esferas de la expansión de la energía nucleoelectrónica y del desarrollo de tecnologías

93. El número de miembros del Foro Internacional de la Generación IV (GIF) aumentó a 13¹¹. Su objetivo consiste en desarrollar una nueva generación de sistemas de energía nuclear que presentan ventajas desde el punto de vista de la economía, la seguridad, la fiabilidad y la sostenibilidad, y que podrían estar disponibles en el mercado a más tardar en 2030.

94. A finales de 2009, el Proyecto Internacional del Organismo sobre ciclos del combustible y reactores nucleares innovadores (INPRO) tenía 31 miembros¹². Su programa de trabajo tiene en cuenta los intereses de sus miembros, que aportan recursos en especie y extrapresupuestarios. Los resultados del INPRO están a disposición de todos los Estados Miembros del Organismo. El INPRO ejecuta actividades en las siguientes esferas, la mayoría en el marco de proyectos de colaboración del INPRO, por conducto de los cuales sus miembros cooperan en cuestiones técnicas específicas:

a) Estrategias de sistemas de energía nuclear de gran alcance utilizando la metodología del INPRO, p. ej., para evaluaciones del sistema de energía nuclear (NESA);

¹¹ Los miembros son: Argentina, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos de América, Euratom, Federación de Rusia, Francia, Japón, República de Corea, Reino Unido, Sudáfrica y Suiza.

¹² Los miembros del INPRO son: Alemania, Argelia, Argentina, Armenia, Belarús, Bélgica, Brasil, Bulgaria, Canadá, Chile, China, Eslovaquia, España, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Francia, India, Indonesia, Italia, Japón, Kazajistán, Marruecos, Países Bajos, Pakistán, República Checa, República de Corea, Sudáfrica, Suiza, Turquía, Ucrania, y la Comisión Europea. Otros diez países tienen condición de observadores, ya que en estos momentos examinan la posibilidad de convertirse en miembros o participan en los trabajos.

b) Análisis y creación de visiones, escenarios y opciones mundiales del desarrollo nuclear sostenible en el siglo XXI mediante la elaboración de modelos del sistema mundial de energía nuclear;

c) Innovaciones en la tecnología nuclear y disposiciones institucionales que podrían requerirse para implantar innovaciones tecnológicas; y

d) Foro para dialogar sobre innovaciones en la esfera de la energía nuclear y establecer contactos entre los propietarios y los usuarios de la tecnología nuclear.

95. El INPRO y el GIF coordinan sus actividades mediante un plan de acción conjunto elaborado inicialmente en febrero de 2008 y actualizado recientemente en la cuarta reunión de coordinación INPRO/GIF, celebrada en marzo de 2010. Dicho plan comprende ahora acuerdos sobre coordinación en las siguientes esferas: intercambio de información general, sinergias en métodos de evaluación (con especial énfasis en la resistencia a la proliferación), cooperación en estudios temáticos, y diálogo a escala mundial entre los propietarios y los usuarios de tecnología nuclear. En junio de 2010 se celebró en Viena un taller organizado de manera conjunta sobre los aspectos operacionales y de seguridad de los reactores rápidos refrigerados por sodio.

96. El Marco Internacional de Cooperación en Energía Nuclear (IFNEC) fue establecido inicialmente por los Estados Unidos de América en 2006 como la Alianza Mundial de Energía Nuclear (GNEP). El Marco, denominado así desde junio de 2010, cuenta ahora con 26 participantes y 30 países observadores¹³, así como con tres organizaciones internacionales en calidad de observadores, entre ellas el Organismo. Actualmente el IFNEC tiene dos grupos de trabajo, uno sobre desarrollo de infraestructuras y otro sobre servicios fiables relacionados con el combustible. El Grupo de Trabajo sobre desarrollo de infraestructuras celebra talleres bienales sobre temas de interés para los países que se incorporan al ámbito nucleoelectrico, tales como el desarrollo de recursos humanos, la gestión de desechos y la financiación. El Grupo de Trabajo sobre servicios fiables relacionados con el combustible promueve el establecimiento de las disposiciones técnicas e institucionales en que podrían basarse los explotadores de centrales nucleares respecto de los suministros de combustible nuclear necesarios durante la vida útil del reactor. Los grupos de trabajo son supervisados por un comité directivo y un comité ejecutivo a nivel ministerial.

97. En mayo de 2008 la Federación de Rusia y Kazajstán establecieron el Centro Internacional de Enriquecimiento de Uranio (IUEC) en Siberia oriental. Ucrania y Armenia también se unieron al centro. El IUEC es una medida adoptada en respuesta a la propuesta esbozada en 2006 por el Presidente Vladimir Putin de crear “un sistema de centros internacionales que prestaran servicios del ciclo del combustible nuclear, entre ellos el enriquecimiento, de forma no discriminatoria y bajo el control del OIEA”. También se encuentran en curso conversaciones encaminadas a la creación de una empresa conjunta entre la Federación de Rusia y Kazajstán para construir otra planta de enriquecimiento en Angarsk.

98. En noviembre de 2009 la Junta de Gobernadores autorizó al Director General del Organismo a firmar un acuerdo con la Federación de Rusia para establecer una reserva internacional de 120 toneladas de UPE en caso de la interrupción de los suministros de UPE para centrales nucleares por razones no relacionadas con aspectos técnicos o comerciales. El Director General tendría competencia exclusiva para autorizar el suministro de UPE de la reserva, con arreglo a los criterios establecidos en el acuerdo con la Federación de Rusia. La Federación de Rusia estaría obligada a emitir todas las autorizaciones y licencias necesarias para exportar el UPE, y el país receptor del UPE pagaría por anticipado al Organismo el precio de mercado vigente.

99. En cuanto a la seguridad, la labor encaminada a mejorar la eficiencia en el proceso de reglamentación se ha iniciado mediante un proyecto para aumentar la cooperación y lograr una mayor convergencia de los requisitos y prácticas en el marco del Programa multinacional de evaluación del

¹³ Los países que participan en el IFNEC son: Armenia, Australia, Bulgaria, Canadá, China, Eslovenia, Estados Unidos de América, Estonia, Federación de Rusia, Francia, Ghana, Hungría, Italia, Japón, Jordania, Kazajstán, Kuwait, Lituania, Marruecos, Omán, Polonia, Reino Unido, República de Corea, Rumania, Senegal y Ucrania.

diseño (MDEP)¹⁴. En el marco del MDEP se ha establecido un procedimiento para determinar las posturas comunes sobre determinadas cuestiones relacionadas con los nuevos diseños de reactores entre los órganos reguladores que realizan estudios de nuevos diseños de reactores de potencia. En muchos aspectos ya hay un alto grado de armonización general de las normas de seguridad del Organismo desde el punto de vista de su forma, y para lograr una mayor armonización será necesario utilizar como base estos documentos internacionalmente acordados. Un grupo de expertos del MDEP señaló que en todas las consideraciones nacionales se observa que los requisitos de diseño generales se ajustan a los requisitos de seguridad del Organismo, en el sentido de que aplican un enfoque determinista, como, por ejemplo, la defensa en profundidad, el criterio del fallo único y los márgenes de seguridad. Asimismo, hay similitudes en cuanto a la aplicación de métodos probabilistas para complementar el enfoque determinista. El objetivo del MDEP es tomar como base las similitudes existentes entre los códigos y las normas del Organismo y los de otros, como los de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, la RCC-M (Normas de diseño y concepción de componentes mecánicos de centrales nucleares PWR, Francia) y la KEPIC (Código de la Compañía de Energía Eléctrica de Corea). Los progresos ya alcanzados en esferas específicas demuestran que es posible y también conveniente lograr un nivel más amplio de cooperación y convergencia, al mismo tiempo que los reguladores nacionales mantienen su facultad soberana para adoptar decisiones en materia de licencias y reglamentación.

¹⁴ Los miembros del MDEP son actualmente: Canadá, China, Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Finlandia, Francia, Japón, Reino Unido, República de Corea y Sudáfrica.