

Energía nuclear: De cara al futuro

por H.J. Laue*

Cuando se creó el Organismo Internacional de Energía Atómica, el 29 de julio de 1957, 15 años después de que se demostrase por primera vez que era posible producir energía a partir del uranio, se hallaban en funcionamiento en dos Estados Miembros del OIEA tres centrales nucleoelectricas con una capacidad de 105 MWe. El 29 de julio de 1982, 277 reactores de potencia de 24 países, con una capacidad total de 157 500 MWe, producirán en torno al 9% de la electricidad mundial.

Estas cifras muestran claramente como en el transcurso de 25 años, la energía nucleoelectrica se ha convertido en una fuente de energía fiable y económica. Su desarrollo se basa en programas científicos y técnicos de investigación y desarrollo de enorme envergadura, que analizan los fallos posibles, sus efectos probables y de qué manera podrían evitarse mediante dispositivos de seguridad eficaces, de modo más serio y cuidadoso que en otras tecnologías energéticas equiparables. Desde la introducción de las primeras centrales nucleoelectricas en la década de 1950, se han desarrollado más de 10 conceptos distintos, y algunas de ellos se han sometido a ensayo. Hoy en día, existen cuatro tipos de reactor que han encontrado aplicación en gran escala: el reactor de agua a presión, el reactor de agua en ebullición, el reactor de agua pesada, para el que se utiliza uranio natural, y el reactor refrigerado con gas. El crecimiento anual de la capacidad nuclear y de la producción de electricidad en todo el mundo durante los últimos 25 años se indica en la Figura 1.

A medida que ha entrado en servicio un mayor número de centrales nucleares y que se ha incrementado la experiencia práctica obtenida de ellas, se han ido introduciendo importantes modificaciones de detalle en el diseño con objeto de producir centrales más económicas y fiables que puedan satisfacer normas de seguridad más rigurosas, descargar menos radiactividad al entorno y ser menos receptivas frente a los errores humanos y los fallos del equipo. Parecía, pues, que quedaban cumplidas todas las condiciones necesarias para que la energía nucleoelectrica desempeñase su papel preponderante en el concierto energético futuro. Más aún, con la oportuna introducción de los reactores reproductores rápidos y de los reactores de alta temperatura, la energía nuclear podría efectuar una aportación permanente a los problemas energéticos del mundo, constituyendo así un sustituto del petróleo.

Una dura realidad

Sin embargo, la evolución real no corrió parejas con el desarrollo técnico y económico. Durante los últimos 12 años se han efectuado revisiones a fondo en las previsiones nucleoelectricas. En la Figura 2 se muestran las proyecciones de la capacidad instalada para

el período que abarca hasta el año 2000, tal como se expusieron en los informes anuales del OIEA. Las proyecciones a corto plazo (1975 y 1980) han experimentado un lento descenso y, desde 1975 se ha producido una espectacular caída de las proyecciones a largo plazo (1990 y 2000). Incluso con la crisis del petróleo de mediados de la década de 1970 y con los diversos programas nacionales destinados a sustituir el petróleo por otras fuentes de energía, las proyecciones de la capacidad efectuadas a finales de la década de 1970, correspondientes a 1990 y 2000, cayeron en picado. Las proyecciones para 1999 y 2000, publicadas en el Informe Anual para 1980, correspondían aproximadamente a un tercio y un quinto de las publicadas en los Informes Anuales para 1973-1974. Este descenso se ha producido a pesar de que el precio del petróleo se ha multiplicado al menos por siete durante estos seis años, y a pesar de que se conocía en general la escasez de hidrocarburos. Aunque las proyecciones de capacidad para 1990 dan señales de "remontar el bache", algunos estudios recientes indican que la producción real podría ser en el año 2000 hasta un 20% menor que la proyección dada a conocer por el Organismo en 1980.

Las causas de este descenso tan acusado son numerosas*.

Ante todo, estaba la situación económica: la mayor eficacia en la utilización de la energía, la disminución relativa en las producciones de gran intensidad energética y la recesión económica de los países industrializados dio lugar a que la demanda de electricidad aumentase con mucha mayor lentitud. A consecuencia de esto, en algunos países no llegaron a materializarse nuevos pedidos de centrales nucleoelectricas.

Además, la introducción de la energía nucleoelectrica en gran escala se vio perjudicada por la falta de confianza de la población, preocupada por la seguridad de los reactores y por la evacuación de los desechos nucleares y con una apreciación poco ecuaníme de diversos tipos de peligros. En consecuencia, muchos países vacilaron a la hora de adoptar decisiones a largo plazo sobre la energía nuclear, en razón de sus repercusiones políticas.

Por último, y tal como se concluyó en la Evaluación Internacional del Ciclo del Combustible Nuclear (INFCE), existe la posibilidad de que se utilicen instalaciones nucleares civiles para producir armas nucleares (aunque no sea éste el camino habitual ni el más eficaz). Esta posibilidad llegó a ser, en algunos países suministradores, una preocupación de primer orden tanto para la población como para los Gobiernos, y ha obstaculizado la introducción o el crecimiento ulteriores de la energía nuclear, lo mismo en países desarrollados que en desarrollo.

* Director de la División de Energía Nucleoelectrica del Organismo.

* Véase "Desarrollo de la energía nucleoelectrica: el desafío de los años 1980", por Sigvard Eklund, en el Boletín del OIEA, Vol.23, Núm.3 (septiembre de 1981).

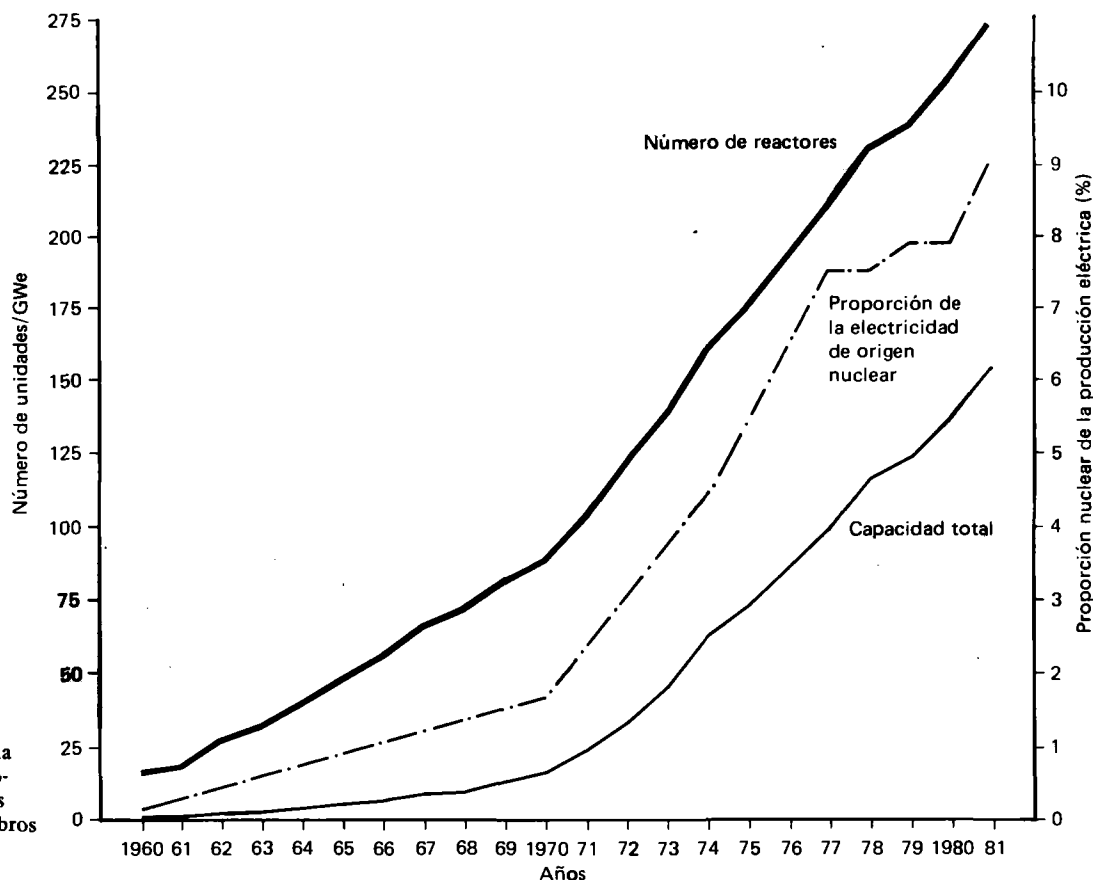


Figura 1.
Desarrollo de la
energía nucleoelectrica en los
Estados Miembros
del OIEA.

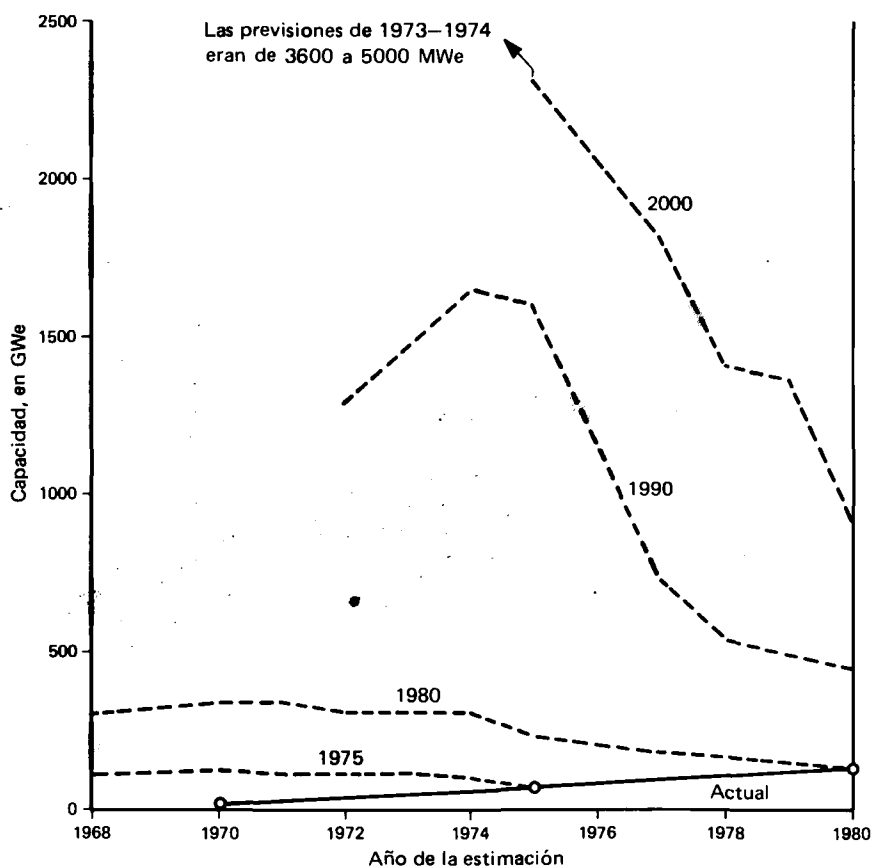


Figura 2.
Evolución de las previsiones sobre
la energía nucleoelectrica (tomado
de los Informes Anuales del OIEA).

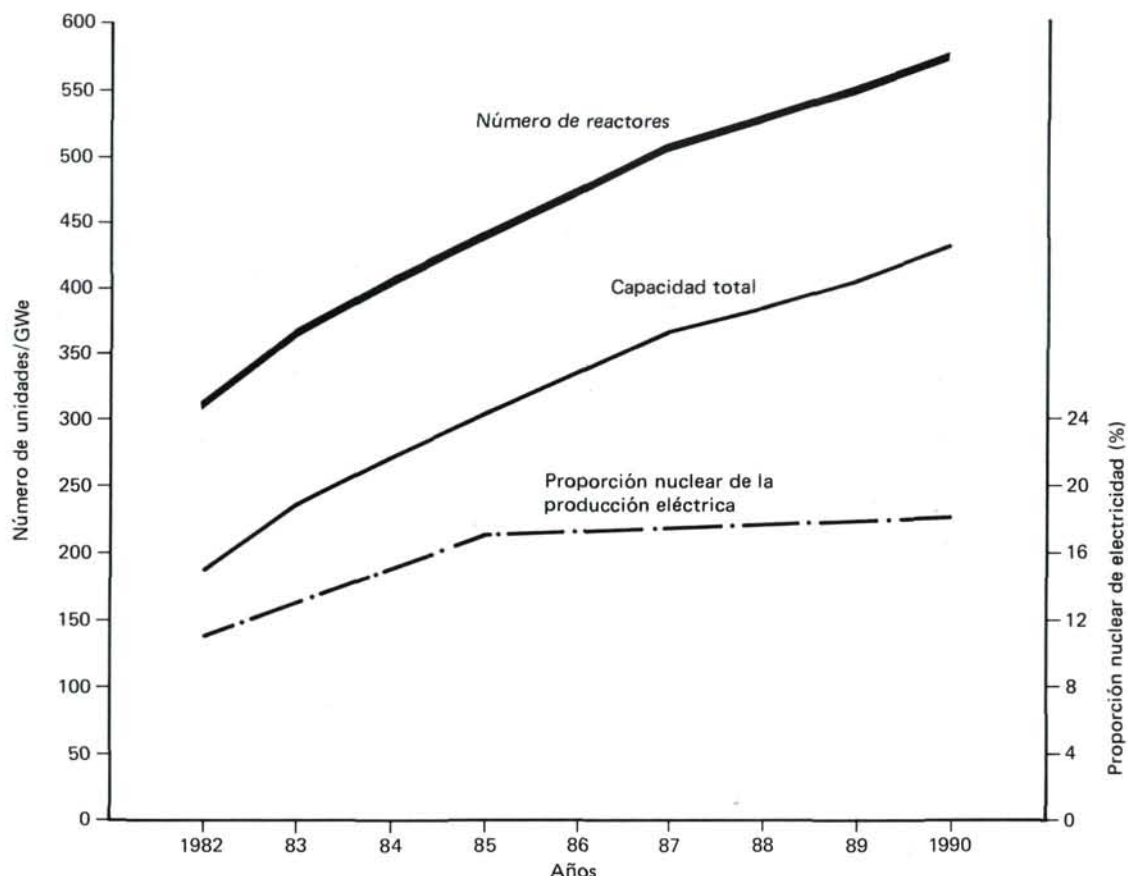


Figura 3. Crecimiento previsto de la energía nuclear en los Estados Miembros del OIEA.

Previsiones revisadas

Solo es posible predecir con cierto grado de precisión la expansión nucleoelectrica hasta finales de la presente década (Figura 3). La capacidad de producción nucleoelectrica será en 1990 de aproximadamente 430 GWe, es decir, en torno al 18% de la producción eléctrica total. Por lo tanto, no cabe esperar que la energía nucleoelectrica vaya a dar el gran paso durante la década próxima. El 1% de aumento previsto entre 1985 y 1990 para la fracción de origen nuclear de la producción eléctrica se debe casi exclusivamente a incertidumbres de tipo político y económico, a la existencia de procedimientos de reglamentación cada vez más complicados y estrictos, y a la ausencia de normalización de las centrales y de los componentes principales. En muchos países, la industria nuclear se resentirá, sin duda, a comienzos de la próxima década como consecuencia de esta situación.

Entre los 33 países que dispondrán de centrales nucleoelectricas en funcionamiento para 1990, tan solo 10 serán países en desarrollo. Sus 38 centrales nucleares representan una capacidad total de 24 000 MWe y proporcionarán menos del 5% de la producción eléctrica total en todos los países en desarrollo, frente al 20% suministrado por la energía nucleoelectrica en

los países industrializados. (Esta estimación está basada en datos correspondientes a reactores de potencia en explotación y en construcción, o que se comenzarán a construir en los próximos dos o tres años.)

En el Cuadro 1 se ofrecen las previsiones de capacidad mundial de producción nucleoelectrica por principales grupos de países, hasta finales de siglo, tomadas del Informe Anual del OIEA para 1981. En el Cuadro 2 se presentan las previsiones sobre producción eléctrica total y la parte que corresponde a la energía nuclear. Suponiendo que las centrales nucleoelectricas sigan suministrando principalmente electricidad en régimen de carga fundamental, se desprende de los Cuadros que solo será posible alcanzar una participación nuclear del 23% en la producción eléctrica mundial para finales de siglo si se incrementa aún más la fiabilidad de las centrales nucleoelectricas.

Numerosas centrales nucleares terminadas o en explotación se han visto acosadas por problemas de tipo financiero, administrativo, de concesión de licencias o técnicos. El número de centrales de este tipo ha aumentado hasta aproximadamente 30 en todo el mundo, lo que corresponde a una capacidad total de 27 000 MWe. 17 de estas centrales nunca han entrado en servicio o se paralizaron indefinidamente cuando se llevaba

Cuadro 1. Estimación de la capacidad total de producción eléctrica y nucleoelectrica por grupos de países principales (unidad: GWe)

Grupo de países	1981			1990			2000 (proyectada)		
	Total	Nuclear	%	Total	Nuclear	%	Total	Nuclear	%
OCDE América del Norte	748	63	8	1063	145	14	1405	185–235	15
OCDE Europa	468	54	12	734	150	20	1100	225–315	24
OCDE Pacífico	193	15	8	340	31	9	510	90–130	22
EPC Europa ¹	404	18	4	746	79	11	1200	160–240	17
Asia ²	152	3,7	2	402	16	4	1040	45–80	6
América Latina	107	0,3	0,3	183	6,9	4	345	20–45	9
Africa y el Oriente Medio	67	—	—	122	3,3	2	270	15–30	8
Total mundial ³	2139	154	7	3600	430	12	5870	740–1075	15
Países industrializados de economía de mercado ⁴	1410	132	9	2170	328	16	3060	500–680	20
EPC Europa ³	404	18	4	750	79	11	1200	160–240	13
Países en desarrollo excluidos los EPC Europa ^{2,3}	325	4	1	680	24	4	1610	80–155	7

Los valores de capacidad nucleoelectrica para 1990 se basan en centrales que están ya en explotación y en construcción, o cuya construcción comenzará en los próximos dos o tres años; los valores de capacidad total para 1990, así como las proyecciones de la capacidad nuclear y total para el año 2000 constituyen el promedio de estimaciones altas y bajas.

¹ Países europeos con economía de planificación centralizada, inclusive Yugoslavia.

² Inclusive la República de China (Taiwan).

³ Los valores de capacidad para 1990 y 2000 se han redondeado.

⁴ Se incluyen los grupos de países de la OCDE, Israel y Sudáfrica.

construido entre un 30% y un 100% de las mismas: entre ellas se encuentran la de Busher en Irán y la de Zwentendorf en Austria. Solamente en el primer semestre de 1982, 13 centrales de los Estados Unidos vinieron a sumarse a este grupo, principalmente como consecuencia de una administración defectuosa, de problemas financieros o de una disminución de la demanda de electricidad; la incertidumbre política también tuvo parte en ello. Entre todas las centrales del mundo, siete han estado incapacitadas para funcionar durante al menos dos años consecutivos a causa de reparaciones, ajustes o debido al proceso de concesión de licencias, y varias se hallan limitadas en la actualidad a menos de la mitad de su potencia a causa de problemas graves en el generador de vapor.

Fiabilidad, paradas forzosas y pérdidas de energía

La información contenida en el Sistema de Información sobre Reactores de Potencia (SIRP) del OIEA, junto con un conocimiento detallado de algunos problemas recientes, podría servir para determinar las causas de las paradas forzosas prolongadas o de las pérdidas de productividad, con miras a mejorar la fiabilidad de las centrales nucleoelectricas. La industria nucleoelectrica ha acumulado hasta la fecha más de 22,8 millones de horas, o 2600 años, de experiencia de explotación. El Sistema de Información sobre Reactores de Potencia del Organismo abarca en la actualidad más de 14,9 millones de horas o 1700 años, es decir, en torno a los dos tercios de la experiencia total adquirida hasta el momento. El sistema contiene índices de funcionamiento y datos

Cuadro 2. Estimaciones de la producción eléctrica total y de origen nuclear por grupos de países (TWh)

Grupo de países	1981			1990			2000		
	Total	Nuclear	%	Total	Nuclear	%	Total	Nuclear	%
Países industrializados de economía de mercado	5662	667	12	8600	2000	23	12100	3600	30
EPC Europa	1955	104	5	3600	485	13	5700	1200	21
Países en desarrollo excluidos los EPC Europa	1134	22	2	2800	150	5	6800	700	10
Total mundial	8751	793	9	15000	2600	18	24600	5600	23

Los valores correspondientes al año 2000 son promedios de estimaciones altas y bajas.

Cuadro 3. Indisponibilidad en función de un factor de carga de referencia del 80,0%

Año	Factor de carga %	Factor de indisponibilidad (FI) %	FI previsto %	FI no previsto %	Energía perdida en TWhe	Número de centrales
1960	40,0	60,0	—	—	-0,141	1
1961	33,1	66,8	—	—	-1,034	2
1962	68,4	31,5	—	—	-0,425	4
1963	54,1	45,8	—	—	-3,306	9
1964	56,1	43,8	—	—	-5,136	17
1965	57,2	42,7	—	—	-6,168	22
1966	63,0	36,9	—	—	-8,057	25
1967	66,1	33,8	—	—	-7,312	30
1968	61,9	37,1	—	—	-13,301	35
1969	49,9	50,0	—	—	-31,713	40
1970	60,5	40,8	—	—	-21,637	47
1971	64,0	36,1	—	—	-22,143	58
1972	62,9	37,4	—	—	-33,210	69
1973	61,4	32,5	14,9	12,4	-47,181	94
1974	61,8	32,9	16,2	16,5	-52,773	95
1975	61,1	37,9	15,3	22,8	-85,027	116
1976	61,8	37,5	16,4	23,2	-101,776	130
1977	64,0	35,7	16,3	20,8	-104,385	144
1978	67,1	32,4	17,3	15,2	-96,268	153
1979	60,2	38,7	24,0	15,1	-165,470	167
1980	62,3	37,1	27,0	10,7	-160,039	184
Promedio 1960—1980	58,9%			Total TWhe:	966,502	
Promedio 1970—1980	62,5%					

Cuadro 4. Paradas completas no programadas entre 1971 y 1980

Causa de la parada no programada	Energía perdida,		Tiempo perdido	
	en GWhe	%	Horas	%
Reactor y accesorios	10 917,9	2,0	25 763,0	2,4
Combustible	8 313,3	1,5	18 947,7	1,7
Sistema de control e instrumentación del reactor	27 736,2	5,1	57 074,0	5,2
Sistemas nucleares auxiliares y de emergencia	15 277,1	2,8	33 395,6	3,1
Sistema principal de extracción del calor	79 030,9	14,4	151 084,9	13,9
Generadores de vapor	59 379,2	10,9	144 179,7	13,2
Sistemas de agua de alimentación, de condensación y de circulación del agua	28 772,4	5,3	47 832,0	4,4
Sistema turbogenerador	89 616,6	16,4	155 833,0	14,3
Sistema de suministro de energía eléctrica	21 905,7	4,0	38 420,0	3,5
Varios	13 227,7	2,4	31 803,6	2,9
Error de explotación	9 008,7	1,6	16 317,6	1,5
Recarga de combustible	2 964,1	0,5	3 943,4	0,4
Recarga de combustible: mantenimiento y reparación	18 056,0	3,3	31 067,1	2,9
Mantenimiento y reparación	56 747,2	10,4	152 447,2	14,0
Pruebas de sistemas/componentes de la central	4 800,1	0,9	10 614,6	1,0
Capacitación y concesión de la licencia	49,4	0	91,0	0
Limitaciones de índole reglamentaria	42 077,1	7,7	56 495,1	5,2
Otras	59 077,1	10,8	113 721,2	10,4
Total	546 956,7		1 089 030,7	

sobre la producción de energía durante el período de 1963 a 1980. Además, en el archivo de datos del sistema sobre paradas forzosas existe información sobre cerca de 9000 paradas forzosas totales o parciales, que corresponden a unos 3,3 millones de horas o 380 años de explotación de centrales desde 1971 hasta 1980.

La importancia económica de la fiabilidad de la central puede ilustrarse de la manera siguiente. Suponiendo un factor de carga de referencia del 80%, que se ha demostrado claramente factible en centrales nucleoelectricas de varios países, el factor de carga medio real habido entre 1960 y 1980, equivalente al 58,9% repre-

Cuadro 5. Paradas totales no programadas en reactores de agua a presión > 100 MWe

Causa de la parada no programada	Año 1977-1978		Año 1979-1980	
	Energía perdida, en GWhe	Horas	Energía perdida, en GWhe	Horas
Sistema de control e instrumentación del reactor	3 273,4	4354,5	8 755,9	10 587,6
Mantenimiento no programado	6 280,1	8422,6	12 122,1	15 623,6
Limitaciones de índole reglamentaria	5 972,4	5646,1	25 757,5	30 530,7
Total	15 525,9		46 635,5	

senta una pérdida total de 966,5 TWhe durante los últimos 20 años*, es decir, el 26,6% de la electricidad total producida por estas centrales nucleoelectricas. Los datos relativos a los factores de carga, tomados del SIRP figuran en el Cuadro 3. Si se incluye un cálculo estimativo de los datos sobre paradas forzosas que no se recogen en el SIRP las pérdidas totales de energía a lo largo de 20 años pueden haber sido del orden de 1500 TWhe. Esta cifra equivale a multiplicar por veinte la electricidad de origen nuclear producida en la Unión Soviética durante 1980. (En esta comparación no se incluyen centrales cuyas paradas forzosas han durado más de un año; por ejemplo, TMI-1 y TMI-2 después del accidente de 1979.)

El Cuadro 4 resume las pérdidas de energía habidas entre 1971 y 1980 como consecuencia de paradas forzosas no previstas en reactores, que arroja un resultado de 547 TWhe, es decir el 16% de la electricidad generada por estas centrales. En su mayoría, las paradas forzosas no previstas se debieron a fallos de componentes de tipo clásico: por ejemplo, sistema turbogenerador (16,4%); sistema principal de eliminación del calor (14,4%); generadores de vapor (10,9%); así como mantenimiento y reparaciones no previstos en general (10,4%). Las limitaciones reglamentarias, con el 7,7% o 42 TWhe de pérdidas de producción, corresponden al total de electricidad de origen nuclear producida en 1980 en la República Federal de Alemania. En casi ningún caso estas paradas forzosas ocasionaron problemas de seguridad. Los efectos de las limitaciones reglamentarias pueden apreciarse también comparando las pérdidas de energía de todos los reactores de agua a presión dos años antes (15,5 TWhe) y dos años después (46,6 TWhe) del accidente de Three Mile Island. (En la comparación que figura en el Cuadro 5 no se incluye el propio reactor, cuyo accidente tuvo lugar el 28 de marzo de 1979.) Conviene observar, sin embargo, que durante este período la capacidad nuclear de los reactores de agua a presión aumentó en un factor de 1,2, lo que compensa en parte esta triplicación de las pérdidas de energía calculadas.

En la próxima Conferencia internacional sobre la experiencia adquirida en la esfera nucleoelectrica se examinará a fondo la experiencia de explotación de centrales nucleoelectricas y las enseñanzas a extraer con vistas a incrementar en el futuro la fiabilidad y, por lo tanto, la economía de la energía nucleoelectrica. La

fiabilidad de este tipo de energía ha disminuido en los últimos años a causa de los esfuerzos realizados por hacerla todavía más segura. De esta forma, las principales razones para decidir la introducción de la energía nucleoelectrica, es decir, la fiabilidad y la economía, no han recibido la atención necesaria para que la energía nucleoelectrica siga siendo una opción viable. No cabe duda de que las centrales nucleares son seguras y pueden serlo aún más, conclusión a la que se llegó en la Conferencia internacional del OIEA celebrada en Estocolmo en 1980.

Normalización, de cara al futuro

¿Qué puede hacerse para conjurar la mala estrella que, según acabamos de ver, acompaña a la energía nucleoelectrica? ¿De qué manera es posible recuperar la confianza pública aumentando la fiabilidad y el rendimiento económico de la energía nucleoelectrica y convertirla de nuevo en una opción energética viable?

En el plano económico, el empeño más importante es un acortamiento decidido de los plazos de maduración y construcción de las centrales nucleares y, consecuentemente, una reducción de su costo, sin que ello incida en las elevadas normas de seguridad. El tiempo de construcción de todas las centrales nucleares en explotación actualmente fue en promedio de 67,6 meses (5,6 años), en tanto que el plazo previsto para las centrales nucleoelectricas actualmente en construcción será, en promedio, de más de 100 meses aproximadamente (8,5 años). En la República Federal de Alemania, por ejemplo, un retraso de un año en la construcción de una central nuclear de 1300 MWe ocasiona unos gastos adicionales de aproximadamente 90 millones de dólares de los Estados Unidos solo en concepto de costes de financiación. La normalización de las centrales y de los componentes más importantes es la solución principal, tarea común de las autoridades concesionarias de licencias, las empresas eléctricas y los suministradores, a escala nacional o, incluso, internacional. Una duración de 10 o más años para un proyecto es innecesaria e inaceptable. El procedimiento seguido actualmente en cierto número de países, consistente en ajustar constantemente la concepción técnica y el diseño de una central durante su construcción, solo aumenta algo la seguridad pero incrementa los gastos de manera impresionante. Una definición clara de los criterios básicos que proporcionan un diseño seguro y una eficaz administración del proyecto son preferibles a una constante modificación de los requisitos por las

* TWhe = 10⁹ KWhe = 10⁶ MWe = 10³ GWhe.

autoridades concesionarias de licencias. Nunca se insistirá bastante en que cualquier concepto técnico no puede admitir más de un cierto número de modificaciones sin que ello afecte a los principios básicos de seguridad. Por ello, la seguridad debe estar incorporada en el concepto y el diseño originales, ya que éste es el medio más efectivo de incluir la seguridad entre las características técnicas de construcción y explotación de la central nucleoelectrica. La experiencia acumulada en Francia y en la Unión Soviética debería aprovecharse más ampliamente por los demás países. Estos principios tienen aún mayor importancia por lo que respecta a la exportación de centrales nucleoelectricas a países en desarrollo en los que las centrales de referencia revisten una importancia crucial en la primera fase de introducción de la energía nucleoelectrica.

Competitividad y disponibilidad

En lo sucesivo, solo se van a encargar centrales nucleoelectricas si pueden generar electricidad en condiciones competitivas con respecto a otros sistemas de producción eléctrica. La competitividad será el reto más importante del futuro, pues es sabido que los riesgos que entraña la energía nucleoelectrica con respecto al medio ambiente y a la seguridad son pequeños. Esta apreciación se ve confirmada por el creciente acervo de experiencia de explotación y por los programas de investigación: los primeros resultados experimentales indican que el escape de radiactividad procedente de un accidente nuclear de envergadura y, por lo tanto, el número de bajas directas podía ser 100 veces menor de lo que se ha calculado en distintos estudios teóricos de riesgos.

La eficacia comercial y el balance costes-eficacia se hallan directamente relacionados con la disponibilidad de la central. El factor de carga medio, de alrededor del 60% para todas las centrales nucleoelectricas, la mayoría de las cuales funcionan en régimen de carga fundamental, puede mejorarse todavía, sobre todo teniendo en cuenta que en algunos países se han

alcanzado factores de carga de más del 80% durante largos períodos. Las paradas forzadas no previstas de carácter prolongado pueden evitarse mediante una garantía de calidad y un control de calidad más perfectos, el empleo de diseños más prudentes y la normalización internacional de los componentes principales. Hay que elaborar procedimientos de explotación simplificados que tengan en cuenta todos los aspectos de la interfaz hombre-máquina, y hay que lograr un mayor grado de seguridad inherente en los sistemas principales. La experiencia de explotación a nivel mundial debería estudiarse más ampliamente, y entre las autoridades concesionarias de licencias, las empresas eléctricas y los suministradores debería existir una comunicación más efectiva de las tendencias importantes y de las enseñanzas extraídas. Es esencial una mayor cooperación internacional, y el OIEA tiene aquí un papel importante que desempeñar. Las consecuencias económicas que para una empresa eléctrica o para un pequeño país entrañaría un incidente grave podrían ser inaceptables y deben reducirse al mínimo. No es posible excluir la aparición de estos incidentes graves en el futuro.

Por último, la clausura y la evacuación definitiva de los desechos radiactivos han de garantizarse desde el punto de vista financiero durante la explotación de las centrales. En Suecia y Finlandia, por ejemplo, se retira determinada cantidad de dinero por KWhe producido, con el fin de financiar el cierre definitivo y la evacuación final de los desechos.

Los futuros programas del OIEA, basados en la experiencia de un cuarto de siglo en materia de usos pacíficos de la energía nucleoelectrica, abordarán estas cuestiones prioritarias y ayudarán a los Estados Miembros en desarrollo a utilizar esta importante fuente de energía de manera más exhaustiva que en los primeros 25 años del OIEA. A menos que se acepten estos objetivos, la viabilidad del átomo para suministrar energía en el futuro no puede asegurarse ni en los países industrializados ni en los países en desarrollo.