

Situación y tendencias mundiales de la energía nucleoelectrica

La contribución de la energía nuclear al suministro de electricidad va en aumento

por Leonard L. Bennett y Robert Skjoeldebrand

En 1985, la capacidad total de generación de energía nucleoelectrica instalada en el mundo creció en 14%, con la conexión a las redes de 32 nuevas unidades nucleoelectricas, con una capacidad total de 30 gigavattios eléctricos (GW(e)). A finales de 1985 funcionaban en todo el mundo 374 centrales nucleares, con una capacidad total de casi 250 GW(e). En términos de energía, en 1985 las centrales nucleares generaron aproximadamente 1400 teravattios-hora de electricidad, lo que representa un aumento de 19% con relación a 1984 y casi el 15% de la generación mundial de electricidad durante 1985.*

¿Cuál es la magnitud de esta contribución? La electricidad producida en 1985 por las centrales nucleares a escala mundial es del mismo orden que la electricidad total generada este año en los 10 Estados Miembros de la Comunidad Económica Europea. Otra vía para analizar la situación actual es recordar que los 1400 teravattios-hora producidos mediante energía nuclear en 1985 fue el nivel de la producción total de electricidad en el mundo en 1954, y equivale a utilizar 570 millones de toneladas de carbón. En el caso de Europa occidental, la generación nuclear de 551 teravattios-hora en 1985 igualó la producción total de electricidad en 1960.

Participación de la energía nuclear en la producción de electricidad

La proporción de electricidad que se genera por medio de la energía nuclear varía en gran medida de un país a otro, y también de una región a otra en algunos países (por ejemplo, los EE.UU.). Según se muestra en el mapa adjunto, hubo 19 países en los que las centrales nucleares aportaron el 10% o más de la producción total de electricidad en 1985. En los países que pertenecen a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), alrededor del 20,4% de la electricidad total generada en 1985 se produjo en centrales nucleares.

Cabe señalar que si bien en 1985 la contribución de las centrales nucleares a la electricidad en el Canadá representó el 12,7%, en la provincia de Ontario constituyó el 42%. Asimismo, aunque la energía

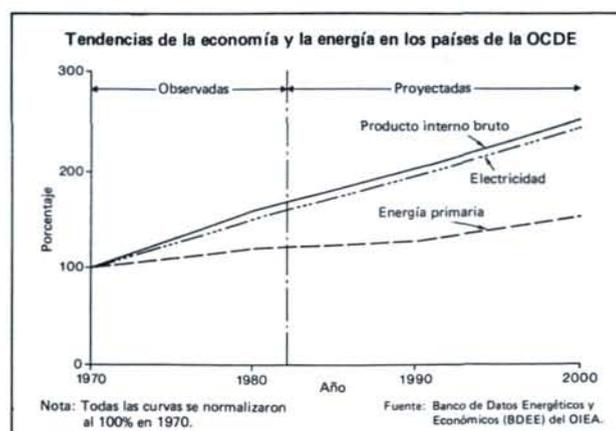
nuclear aportó el 15,5% de la electricidad total producida en los EE.UU., en seis de los estados del país fue superior al 50% (véanse el mapa y el cuadro adjunto).

El rápido crecimiento actual de la contribución de la energía nuclear al suministro mundial de energía obedece a los pedidos realizados en el decenio de 1970, lo que también mantendrá el crecimiento de la energía nuclear durante algunos años. Si se mantiene este crecimiento, se espera que en 1990 la capacidad de energía nucleoelectrica mundial se eleve a aproximadamente 370 GW(e), es decir, una contribución del 20% al suministro mundial de energía eléctrica, a menos que se cancelen o aplacen los proyectos planificados.

Indudablemente, los planes y objetivos nacionales serán objeto de nuevos análisis y debates después del accidente del reactor de la central de Chernobil, en la URSS. A pesar de este accidente, subsisten factores de demanda energética y económicos que deben favorecer el desarrollo constante de la energía nucleoelectrica durante el decenio de 1990 y en el siglo venidero. En las secciones siguientes se analizan algunos de estos factores y tendencias.

Modalidades de suministro de energía

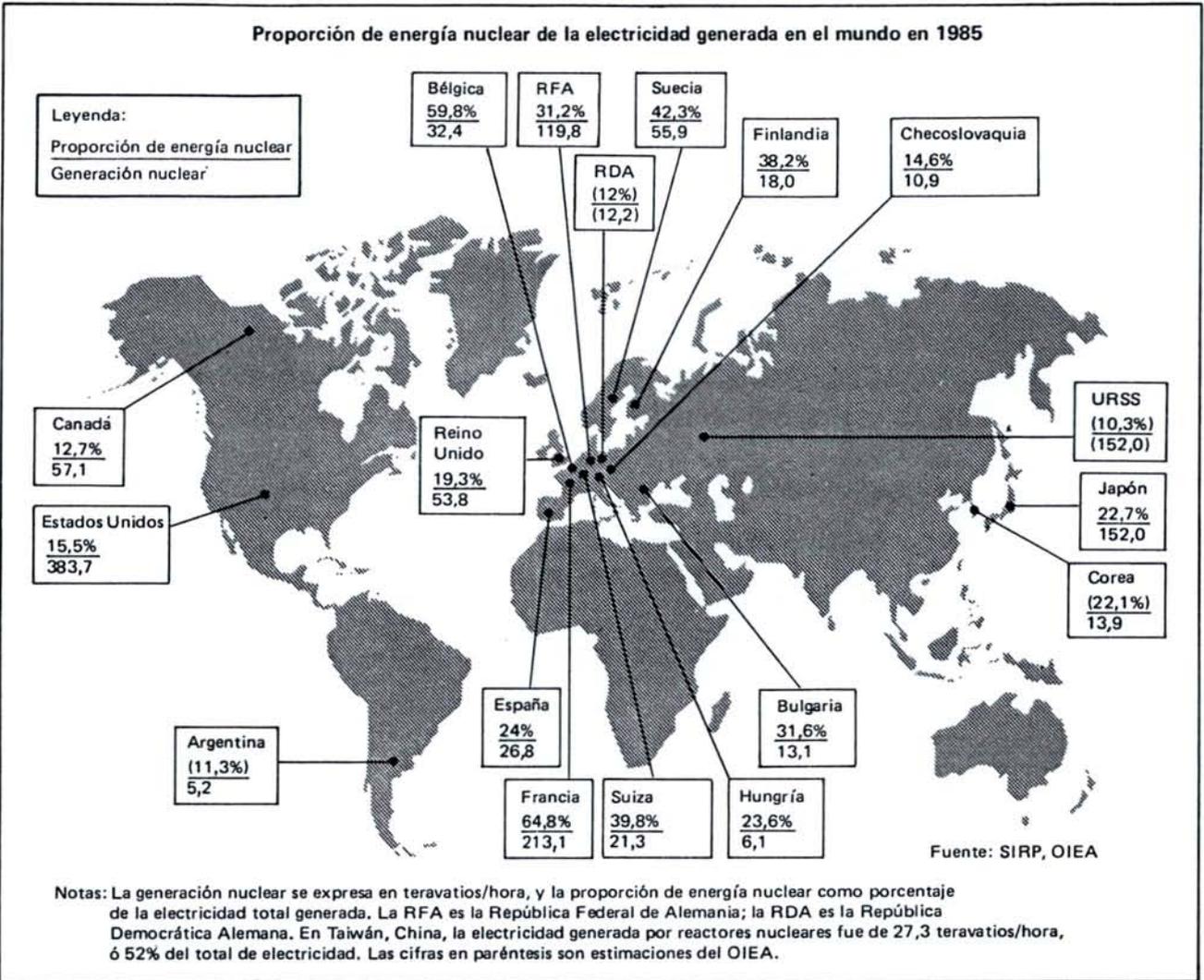
En los países industrializados de economía de mercado, existe en el presente un importante desajuste entre el consumo de energía primaria y el producto interno bruto (PIB). Sin embargo, hay claros indicios de la importancia de la electricidad para la conservación de energía debido a su mayor eficacia en el uso final, lo que en la práctica ha representado un estrecho acoplamiento



El Sr. Bennett es Jefe de la Sección de Estudios Económicos y el Sr. Skjoeldebrand es Jefe de la Sección de Ingeniería de Reactores, ambas de la División de Energía Nucleoelectrica del Organismo.

* Un gigavatio equivale a 10^9 vatios; un teravatio equivale a 10^{12} .

Proporción de energía nuclear de la electricidad generada en el mundo en 1985



entre la demanda de electricidad y el PIB. Entre 1974 y 1984 el PIB de los países de la OCDE se elevó en 27%. Ese aumento estuvo acompañado de una pequeña disminución del consumo total de energía primaria, pero también de un aumento del 30% en el consumo de energía eléctrica. Esto significa que el ahorro de energía primaria se alcanzó mediante un cambio en el uso final, en particular de petróleo a energía eléctrica. Se espera que esta tendencia continúe durante el decenio de 1990.

En algunos países determinados los resultados han sido aún más sorprendentes. En 1974 Francia dependió de las importaciones para generar el 84% de su suministro de energía. En 1985 esa proporción había disminuido al 64%; a la electricidad le correspondió el 38% del suministro de energía primaria, en tanto que la energía nuclear aportó casi el 65%. Es bien conocido que en Francia también se confiere importancia a la energía nucleoelectrica como factor de estabilización de los precios de la energía eléctrica a uno de los niveles más bajos de Europa y, por tanto, como motor impulsor del desarrollo nacional que, además, permite reducir las importaciones de energía. (Véase un artículo conexas en este número.)

La capacidad de generación y las reservas

A menudo se hace referencia a las grandes reservas de capacidad de generación que se dice existen en estos momentos en los países de la OCDE. En un estudio publicado en París en 1985, la Agencia Internacional de Energía (AIE) advirtió que esta reserva podía desaparecer rápidamente en muchos países de la OCDE en el decenio de 1990, y que podían producirse déficit de capacidad aún antes de 1995. Esto se debe a que muchas de las centrales de la reserva actual se alimentan con petróleo y que muchas de ellas también son anticuadas y obsoletas. En consecuencia, cabe esperar que por lo menos algunos de estos países necesiten ampliar su capacidad nucleoelectrica en los años noventa.

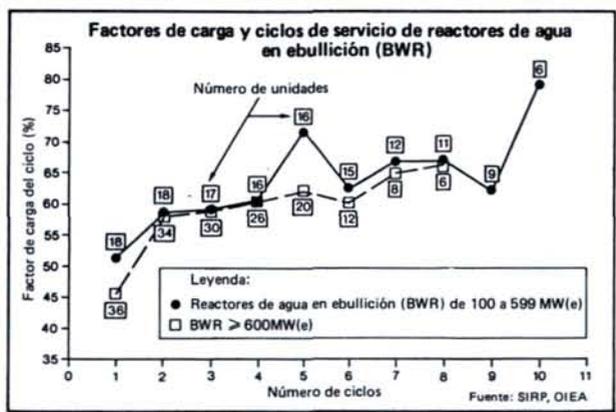
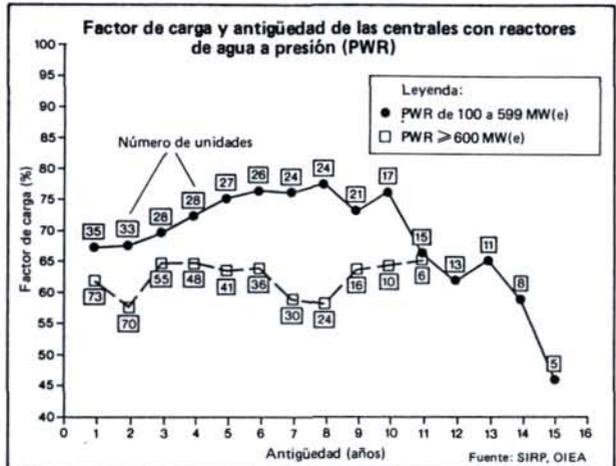
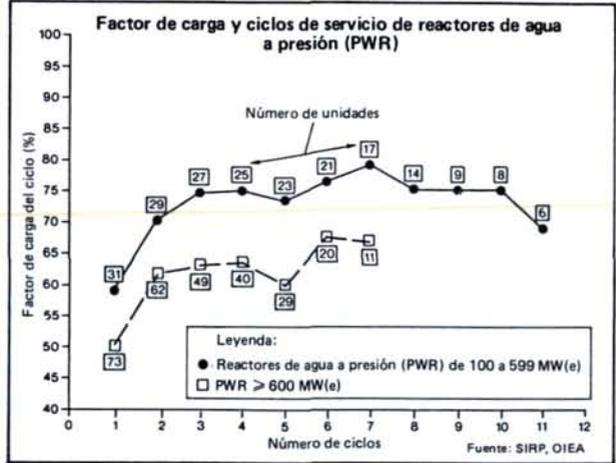
En los países del Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME), en Europa oriental, hoy en día la energía nuclear aporta aproximadamente el 10% de la energía eléctrica, y los programas para la instalación de nuevas centrales nucleares continúan ganando importancia. Cabe señalar que en el último Congreso del Partido de la URSS, se anunciaron planes para añadir hasta 1990

El rendimiento y la antigüedad de las centrales

En el informe del OIEA *Nuclear power status and trends: 1985 Edition*, se mostró que la presentación clásica del factor de carga como función de la antigüedad de la central en años civiles ha sido muy engañosa. En particular, según se aprecia en la figura adjunta, la exposición del año civil no ha mostrado el efecto de maduración de mejorar el rendimiento tras un periodo de prueba inicial después de las reparaciones, efecto que es una característica normal de la explotación de las centrales complejas.

El explotador de una central nuclear utilizaría el ciclo de trabajo de la central, que se define como el lapso que media entre el arranque luego de una parada planificada para reabastecimiento de combustible y mantenimiento, hasta el final de la siguiente parada de esa índole. Si se emplea el ciclo de trabajo en lugar de la antigüedad en años civiles, el efecto de maduración normal se manifiesta claramente, según evidencian las cifras. La razón se hallará en el cambio actual de ciclos de trabajo de 12 meses a otros más prolongados en un número cada vez mayor de centrales.

En relación con el debate que se sostiene actualmente acerca de la determinación de la vida útil y la ampliación de las centrales nucleares, la parte descendente de la curva (en el caso de reactores de agua a presión pequeños de 10 años de antigüedad o a partir del décimo ciclo de trabajo) ha sido motivo de preocupación. Se está comenzando un estudio para determinar las razones de este descenso y si es importante desde el punto de vista técnico, en particular, dado que no se observa en los reactores de agua en ebullición. Al mismo tiempo, se realizará el cambio lógico de factor de carga a factor de disponibilidad como medida del rendimiento.



aproximadamente 40 000 MW(e) a la capacidad nuclear existente de 28 000 MW(e).

El accidente ocurrido en la central nuclear de Chernobil, en la URSS, hará sin duda que las industrias nucleares de todos los países traten de hallar medios para garantizar aún más la seguridad y fiabilidad de las centrales nucleares. Sin embargo, es notable que las autoridades de la URSS hayan declarado que el accidente no afectará a la ejecución de los planes de desarrollo nucleoelectrico de la Unión Soviética. Asimismo, los siete Jefes de Estado o de Gobierno que se reunieron en Tokio en mayo de 1986, expresaron

también su convicción de que la energía nuclear, adecuadamente administrada, es y continuará siendo una fuente de energía de uso cada vez más difundido.* Aproximadamente el 15% de la electricidad mundial se produce en la actualidad en centrales nucleares, y tanto las autoridades de la URSS como estos otros dirigentes mundiales opinan que esta fuente de energía seguirá siendo importante.

* Los países representados eran el Canadá, los Estados Unidos de América, Francia, Italia, Japón, el Reino Unido y la República Federal de Alemania.

Factores de disponibilidad de las centrales nucleares por países (en porcentajes)

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Alemania, República Federal de	65,0	59,4	57,1	61,0	67,9	69,4	71,7	81,0	85,4
Argentina	51,9	96,9	85,3	74,1	90,2	59,8	80,3	98,7	93,2
Bélgica	77,6	81,9	74,2	81,5	83,9	82,0	77,7	86,8	87,4
Bulgaria	76,6	78,4	80,2	79,6	82,0	87,2	89,7	88,1	89,8
Canadá	87,3	79,5	81,2	83,7	90,2	86,9	86,3	76,5	70,4
Checoslovaquia				73,9	65,9	77,8	82,0	83,9	72,2
Finlandia		79,0	81,8	60,3	81,3	83,5	86,9	90,3	90,1
Francia	73,4	70,2	64,5	66,4	65,0	62,2	70,3	80,1	77,9
Japón	38,1	51,7	48,6	61,4	60,5	68,3	70,1	71,1	72,5
Suecia	58,7	70,6	62,2	73,3	72,3	67,3	72,4	81,1	84,7
Suiza	86,6	89,3	87,7	80,0	84,6	84,4	87,1	89,4	84,2

Fuente: SIRP, OIEA.

La energía nuclear en los países en desarrollo

La introducción de la energía nuclear en los países en desarrollo ha sido más lenta de lo que se esperaba. En estos países sólo existen 21 unidades en explotación y 18 en construcción, y alrededor de la mitad de estas últimas se hallan en sólo dos países, a saber, la India y la República de Corea. Por supuesto, la electrificación se encuentra en un nivel mucho más bajo en los países en desarrollo, pero debe esperarse un rápido incremento de la capacidad instalada de generación de electricidad. La importancia de la energía eléctrica en estos países es particularmente notable, dado que el consumo de electricidad crece no sólo más rápido que el consumo de energía primaria, sino también más rápidamente que el consumo de energía eléctrica en los países industrializados. No obstante, debe reconocerse que existen grandes diferencias entre estos países. En el presente, diez países en desarrollo responden por el 63% de la producción total de electricidad en el mundo en desarrollo, y, significativamente, ocho de ellos tienen programas nucleoelectrificados.

Tiempos de construcción de los reactores

El registro de la situación de las centrales que forma parte del Sistema de Información de Reactores de Potencia (SIRP) del OIEA puede utilizarse para obtener

información acerca del tiempo de construcción de las centrales nucleares, que en este caso se define como el período que transcurre entre la primera colocación importante de hormigón para la central y su conexión a la red. Según se muestra en el cuadro adjunto, existen diferencias importantes entre los países en cuanto a los tiempos promedio de construcción y sus tendencias en el último decenio.

Aunque los promedios muestran diferencias muy importantes, también debe señalarse que algunos proyectos se han terminado en períodos muy cortos. Entre 1980 y 1985 se terminaron no menos de 64 centrales en menos de siete años de construcción.

Los brevísimos tiempos de construcción logrados en el Japón y Suecia obedecen, según se ha explicado, a una gestión muy cuidadosa de los proyectos y a nuevas técnicas de construcción, tales como la de fabricación de subconjuntos en el propio emplazamiento y la utilización de grúas de grandes dimensiones en el Japón. Algunas de estas técnicas de construcción podrían también elevar la garantía de la calidad de una manera eficaz en función del costo.

Rendimiento de las centrales nucleares

Las últimas tendencias en la disponibilidad de las centrales nucleares han seguido, por lo general, las que se muestran en el informe de 1985 del OIEA sobre la

Factores de disponibilidad de las centrales nucleares por empresa eléctrica (en porcentajes)

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
BG&E (EE.UU.)	69,0	69,9	68,1	76,3	79,9	71,8	80,9	79,8	69,0
BKW (Suiza)	86,7	88,0	88,3	88,5	89,5	93,3	89,8	88,3	88,2
EBES (Bélgica)	78,2	79,2	81,4	81,9	83,6	83,3	78,2	84,1	92,8
INTERCOM (Bélgica)	77,1	83,8	67,7	80,8	84,2	80,9	76,7	85,1	82,3
NOK (Suiza)	86,6	90,0	87,4	84,7	87,1	86,3	87,3	88,8	85,8
NSP (EE.UU.)	81,8	85,4	85,3	74,2	75,6	76,2	87,8	62,2	85,9
OH (Canadá)	87,3	79,5	81,2	83,9	90,2	86,9	86,3	74,9	68,4
OKG (Suecia)	66,8	77,7	73,5	82,7	76,0	81,3	84,5	87,4	80,3
SYDKRAFT (Suecia)	54,2	77,6	61,9	76,1	82,3	89,4	81,8	81,7	95,7

BG&E = Baltimore Gas & Electric

BKW = Bernische Kraftwerke AG

EBES = Sociétés réunies d'énergie du bassin de l'Escaut SA

INTERCOM = Société intercommunale belge de gas et d'électricité

NOK = Nordostschweizerische Kraftwerke AG

NSP = Northern States Power

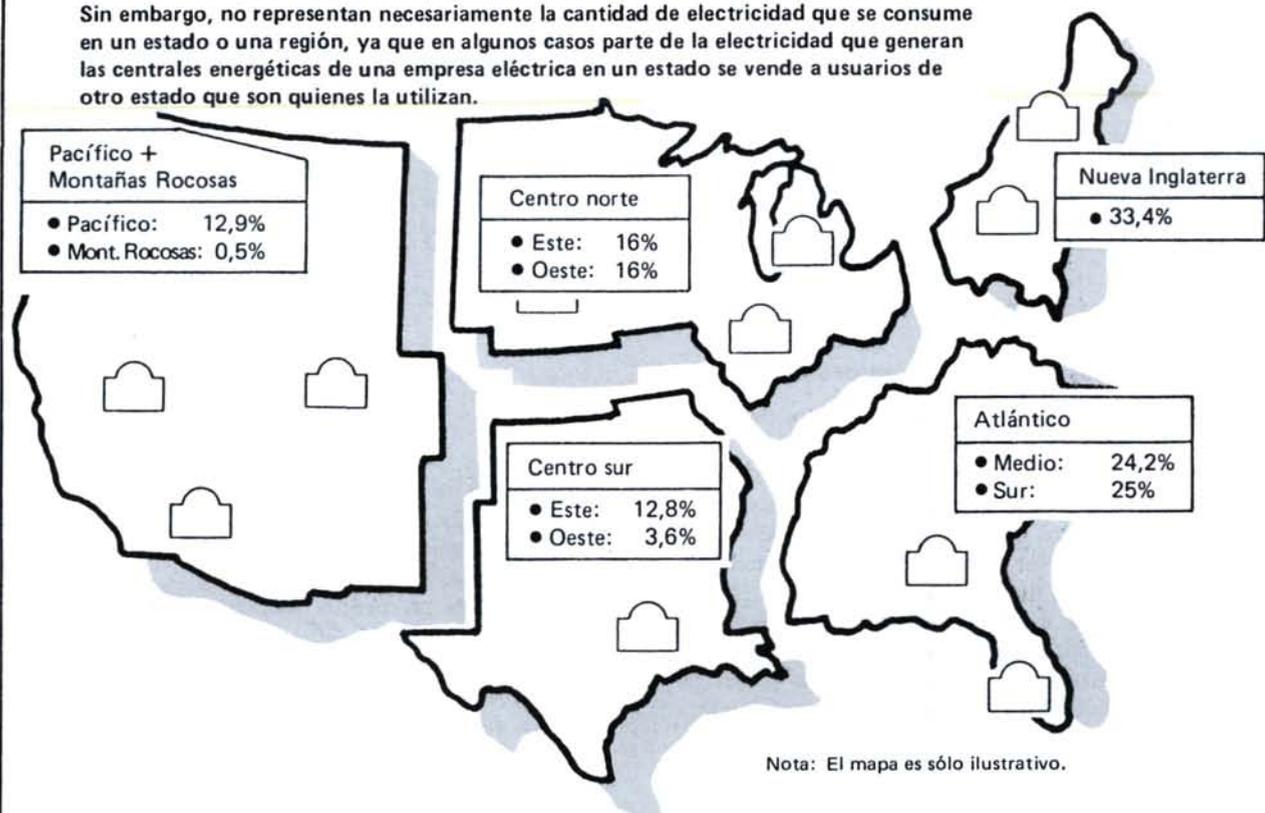
OH = Ontario Hydro

OKG = Oskarshamnsværkets Kraftgrupp AB

SYDKRAFT = Sydsvenska Kraftaktiebolaget

Generación de energía nucleoelectrica en los EE.UU. en 1985

En los EE.UU., 31 estados tienen capacidad de generación nuclear. El cuadro indica la cantidad de electricidad generada por la energía nuclear en 1985 en dichos estados; el mapa muestra el porcentaje nuclear por región. Los datos se expresan en porcentaje del total de kilovatios/hora del estado o la región. Sin embargo, no representan necesariamente la cantidad de electricidad que se consume en un estado o una región, ya que en algunos casos parte de la electricidad que generan las centrales energéticas de una empresa eléctrica en un estado se vende a usuarios de otro estado que son quienes la utilizan.



Nota: El mapa es sólo ilustrativo.

Porcentaje de electricidad generada mediante energía nuclear por estado en los EE.UU.

Vermont:	71,7%	Maryland:	30,7%	Alabama:	19,7%	Missouri:	14,0%
Carolina del Sur:	59,4%	Arkansas:	27,8%	Pensilvania:	19,4%	Georgia:	12,5%
Maine:	58,6%	Wisconsin:	26,7%	Michigan:	18,1%	Washington:	8,6%
Virginia:	53,0%	Nebraska:	25,9%	Massachusetts:	16,9%	Iowa:	8,2%
Nueva Jersey:	51,7%	Carolina del Norte:	25,9%	California:	15,4%	Lousiana:	5,5%
Connecticut:	50,4%	Florida:	24,3%	Tennessee:	14,5%	Arizona:	2,4%
Illinois:	37,7%	Mississippi:	22,6%	Oregón:	14,3%	Ohio:	1,8%
Minnesota:	37,4%	Nueva York:	21,6%	Kansas:	14,0%		

Fuente: INFO Data, AIF, abril de 1986

situación y las tendencias de la energía nucleoelectrica, lo que además confirma las importantes razones generales del buen rendimiento que se proponen en ese informe:

- El grado de normalización alcanzado en el diseño y la construcción de las centrales
- Las normas de garantía de calidad utilizadas
- La situación en materia de reglamentación
- La competencia de las organizaciones explotadoras

En cifras adjuntas se muestran las disponibilidades y tendencias promedio del período 1977-1985 para los países y las empresas eléctricas que mostraron un rendimiento uniformemente bueno o una mejora continuada. La característica principal de esa información parece confirmar que en los casos que en el pasado alcanzaron

buenos rendimientos, éstos se mantienen, y que en los casos en que se lograron mejoras, éstas también continúan.

El rendimiento descendente que se observa con respecto al Canadá se explica en parte por una no disponibilidad promedio provocada por razones externas —en este caso huelgas laborales y huracanes— que en 1985 ascendió al 4,2%. El otro factor importante que influyó sobre la disponibilidad de la central fue la reentubación de las unidades Pickering 1 y 2, que estuvieron paradas durante todo el año 1985 con este fin.

Merecen destacarse algunos índices sobresalientes:

- En Bélgica se logró una disponibilidad promedio de las centrales de 87,4% en siete centrales comerciales, dos de las cuales comenzaron la explotación comercial en septiembre de 1985.

● Finlandia mantuvo su alto promedio de disponibilidad en el 90%. Las paradas programadas promediaron sólo 22 días por reactor en 1985.

● Francia mantuvo un elevado promedio nacional de disponibilidad de 78%. Las centrales en serie de 900 MW(e) se comportaron particularmente bien, con una disponibilidad de 81% en 1985.

● En la República Federal de Alemania, la disponibilidad promedio alcanzó el 85,4% en 1985. Esto se logró principalmente con la reducción de las paradas planificadas en el 3,5% y de las paradas no planificadas en el 1,5%.

● En el Japón, se mantuvo la notable mejora hasta una disponibilidad promedio de 72,5%, a pesar de los requisitos reglamentarios de la inspección anual, que estipulan una no disponibilidad planificada de 26 a 27%. La no disponibilidad no planificada fue de 1,5% como promedio. Cabe destacar que ahora algunas empresas eléctricas japonesas se proponen tratar de reducir las paradas anuales planificadas, de 90 a 100 días a 65 días aproximadamente. La frecuencia de las paradas de emergencia se mantuvo baja, en 0,2 por año-reactor.

● En Suecia, la disponibilidad siguió mejorando hasta llegar al 84,7%.

● En Corea, la KN-2 estableció en 1985 un record de 214 días de funcionamiento continuo a plena capacidad.



Obreros trabajando en líneas de alto voltaje. (Cortesía: EPRI)

Tiempos de construcción de los reactores

País	Año de conexión a la red					
	Hasta 1979		De 1980 a 1985		Desde 1986	
	Nº de unidades	Meses promedio	Nº de unidades	Meses promedio	Nº de unidades	Meses promedio
Bélgica	3	58	4	86		
Canadá	8	72	7	98	7	87
Checoslovaquia	1	56	4	87	11	99
Finlandia	2	62	2	76		
Francia	11	63	31	66	19	79
República Federal de Alemania	10	63	6	97	6	81
Japón	21	52	11	52	14	69
Corea, Rep. de	1	81	3	73	5	76
España	3	50	5	113	2	101
Suecia	6	56	6	81		
Suiza	4	51	1	124		
EE.UU.	63	68	27	127	26	151
URSS	14	69	19	96	31	81

Nota: Sólo se han tomado en consideración los reactores que no son prototipos cuya capacidad es igual o mayor a 100 megavatios eléctricos. Se incluyen los reactores que están planificados y los que se están construyendo; no se incluyen los reactores en períodos de parada. Existen 55 reactores cuya fecha de construcción o de conexión a la red no se ha comunicado al OIEA.

Fuente: SIRP, OIEA.