

Las inversiones para la construcción de centrales nucleoelectricas

por Georg Woite

El cálculo de las inversiones necesarias para la instalación de centrales nucleoelectricas es una de las etapas más importantes de la planificación de un sistema de generación de electricidad. El propósito del presente artículo es resumir la experiencia en materia de cálculos y de costos de instalación recogida en Estados Miembros, tanto industrializados como en desarrollo, y ofrecer cierta orientación en lo que respecta a la extrapolación de costos.

En diferentes tipos de estudios o en diversas organizaciones se utilizan actualmente distintas definiciones de "gastos de capital" referidas a las centrales nucleoelectricas. Teniendo en cuenta que las diversas definiciones aplicadas a la misma central nuclear puede conducir a "gastos" que difieren por un factor de dos, ello podría dar lugar a serias diferencias en los cálculos. En el presente artículo, los gastos de capital corresponderán a la serie de definiciones que el OIEA ha considerado útiles para sus estudios económicos a largo plazo relativos a la ampliación del sistema de producción eléctrica de un país. En esos estudios [1-6] se comparan los méritos relativos de diferentes tipos y dimensiones de centrales nucleoelectricas y de tipo convencional para la ampliación del sistema de los gastos de capital de las unidades electrogeneradoras se definen generación eléctrica en un período adecuado de planificación. Con este fin, los gastos de capital de las unidades electrogeneradoras se definen como el total de los costos directos e indirectos de la central generadora completa, incluyendo los gastos del propietario, los gastos imprevistos y los intereses pagaderos durante la construcción. Los costos se expresan en unidades monetarias de un año de referencia, y con relación a la potencia de salida neta de energía eléctrica generada por la central. Se excluyen los costos de la carga inicial de combustible, del agua pesada (cuando corresponda), y de los impuestos, gravámenes y reajustes de precios.

Por otros tipos de estudios, por ejemplo los estudios de financiación, será necesario incluir los elementos mencionados precedentemente. Cuando se conocen las reglas específicas aplicables a los reajustes de precios, los impuestos y gravámenes con respecto a un país o a un proyecto determinados, esos cálculos de gastos se pueden obtener de los indicados en el presente estudio. Con objeto de facilitar todavía más la comparación de los gastos y estimaciones procedentes de diferentes fuentes, se han identificado separadamente los gastos del propietario, los gastos imprevistos y los intereses pagaderos durante la construcción. Los gastos que excluyen estos elementos se llaman gastos de base.

EXPERIENCIA EN MATERIA DE GASTOS DE INSTALACION

A primera vista, los costos y estimaciones aplicables, según la experiencia ganada, a las centrales nucleares (véanse los Cuadros 1 y 2) se observa que las cifras muestran una gama tan amplia de valores que hace muy dudosa la fiabilidad de futuros cálculos de costos. La Figura 1, basada en una serie de estudios muy completos efectuados desde 1967 para la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos (USAEC) y la Administración de los Estados Unidos para la Investigación y el Desarrollo en materia de energía (USERDA), ilustra este cuadro algo inquietante. Tomada en su valor extrínseco, los costos de instalación por unidad LWR (reactores de agua ligera) de un mismo orden de importancia, parecen haberse multiplicado por un factor de casi seis en el espacio de ocho años. Puesto que ni el costo de los equipos, ni la cantidad de trabajos de construcción requeridos indican aumentos de esta

El Sr. Woite es miembro de la Sección de Estudios Económicos de la División de Energía Nucleoelectrica y Reactores.

Cuadro 1: Costos de instalación ¹				
	1	2	3	4
Tipo de planta	BWR ²	PHWR ²	PHWR ²	PWR ²
Producción neta de electricidad (MWe)	640	320	207	626
Fecha de referencia	1963	1968	1976	1975
Emplazamiento	Oyster Creek	Atucha	Rajasthan II	Angra
País/condiciones de concesión de licencia	USA	Argentina/Rep. Fed. de Alemania	India	Brasil/USA
Fuente	Ref [9]	Ref [13]	Ref [15]	Ref [13]
Costo en millones de dólares de los Estados Unidos	Directo		58	271
	Indirecto		22	54
	Subtotal (gastos de base)	60	70	80
	Gastos del propietario	3	10	14
	Gastos impre- vistas, etc.	1	incl.	incl.
	Intereses	4	incl.	30
	Total	68 ³	80 ³	124
Total neto de costos en dólares/KWe		106 ³	250 ³	600 ⁴
¹ Los costos se expresan en dólares de los Estados Unidos de las fechas de referencia. Se excluyen el combustible, el agua pesada y el reajuste de precios ² BWR = reactor de agua de ebullición; PHWR = reactor de agua pesada a presión; PWR = reactor de agua a presión ³ Gastos del comprador. ⁴ Tipo de cambio 9,12 rupías/dólar.				

magnitud, la situación exige evidentemente un análisis más detenido. La primera etapa para ello consiste en una separación de los aumentos de carácter "contable" debidos a la inflación de los gastos "reales" resultantes de las nuevas estipulaciones de las concesiones de licencias o por otras razones. A continuación se examina la causa principal del aumento de los gastos de instalación.

Repercusiones de la reglamentación: Las exigencias de seguridad y de protección del medio ambiente han aumentado a un punto en que difícilmente se podía prever en los primeros años de la explotación comercial de la energía nucleoelectrónica. Esto es particularmente notable en los Estados Unidos donde, la cantidad de muchos materiales sumamente importantes (por ejemplo el hormigón, el acero, las tuberías, cables) utilizados en la construcción se ha aumentado prácticamente al doble para cumplir los requisitos reglamentarios. El elemento de horas-hombre para el trabajo de construcción por kWe ha aumentado proporcionalmente. A causa de la ampliación del período de construcción y de la mayor comple-

Cuadro 2: Recientes estimaciones de costos de centrales nucleares¹

		1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de reactor		PWR	PWR	PWR	BWR	PWR	PWR	PHWR	PHWR
Producción neta de electricidad		600	900	1139	1190	1100	1230	638	1100
Fecha de referencia		1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976	1976
Emplazamiento		—	Middletown, USA	—	—	West USA	No indicado	Ref.[12]	Middle-town
País/condiciones de concesión de licencia		USA	USA	USA	USA	USA	Fed. Rep. de Alemania	Canada	USA
Fuente		Ref.[16]	Ref.[11] ²	Ref.[10]	Ref.[16]	Ref.[18]	Ref.[14]	Ref.[12]	Ref.[17]
Observaciones						Previsión alta	Llave en mano		
Costo en millones de dólares de los Estados Unidos	Directo	325	378	421	432			257	491
	Indirecto	115	136	148	151			115	155
	Subtotal (gastos de base)	440	514	569	583	655	820	372	646
	Gastos del propietario ³	50	60	65	65	70	80	50	70
	Gastos imprevistos etc ³	35	40	45	45	50	incl.	30	50
	Intereses ³	170	196	220	222	250	250	145	245
	Total	695	810	900	915	1025	1150	598	1011
Total neto de costos en dólares/kWe		1158	900	790	770	930	935 ⁴	937	920
¹ Costos expresados en dólares de los Estados Unidos de la fecha de referencia. Se han excluido el combustible, el agua pesada y aumentos de precio. ² Actualizado por el personal del OIEA. ³ Salvo indicación expresa, calculado por el personal del OIEA. ⁴ Tipo de cambio: 2,2 marcos alemanes por dólar.									

tividad de la misma para las centrales nucleoelectricas, los gastos indirectos han crecido todavia más que los gastos directos. Se necesita disponer de una cantidad mayor de construcciones provisionales para almacenar, marcar y proteger el equipo y materiales de construcción. Se necesita aproximadamente el doble de ingenieros, etc. durante más tiempo por cada proyecto para llevar a cabo los servicios técnicos de ingeniería y de gestión de la construcción. La garantía de calidad y el control de calidad constituyen otros ejemplos de actividades resultantes de los nuevos requisitos de seguridad que han sufrido un notable aumento. El número de normas aplicables al diseño y a la construcción de centrales nucleares en los Estados Unidos creció de unas cien en 1970, a unas mil seiscientas en 1976. El análisis del efecto combinado de las exigencias reglamentarias ha llevado a la conclusión de que debido a él han aumentado los gastos de instalación de centrales nucleares por un factor de dos desde los primeros años de la utilización comercial de la energía nucleoelectrica.

Inflación e intereses durante la construcción: Las tasas de inflación anual en los países industrializados aumentaron considerablemente desde los primeros años en que comenzó a utilizarse la energía nucleoelectrica, lo cual se ha traducido también en tasas nominales de interés más elevadas. Esto quiere decir que, sumado a los períodos más largos necesarios para el diseño y la construcción, ha aumentado notablemente la importancia tanto absoluta como relativa de la inflación y de los intereses durante el período de construcción.

Efectos comerciales: Antes de 1970, los fabricantes de reactores y los arquitectos-ingenieros aceptaban importantes riesgos comerciales para entrar en un nuevo y muy promisorio mercado. Un cierto número de contratos establecidos a bajo precio resultaron, al parecer, en pérdidas financieras importantes para los vendedores. Después de haberse cuadruplicado el precio del petróleo en 1973, los vendedores de reactores se encontraron en una posición mucho más favorable. Por consiguiente, los precios que aplican han aumentado a un nivel adecuado para cubrir todos los riesgos comerciales corrientes. Más recientemente, como resultado de la oposición de un sector de la opinión pública, de una disminución del crecimiento económico y de la demanda de electricidad, así como por dificultades financieras y de otro carácter, ha sido necesario reducir la importancia de los programas nucleoelectricos de muchos países a partir de 1975. En consecuencia, cabe esperar ahora y en el futuro una competencia más acentuada entre los fabricantes y entre los ingenieros-arquitectos.

ESTIMACION DE COSTOS DE INSTALACION ACTUALES

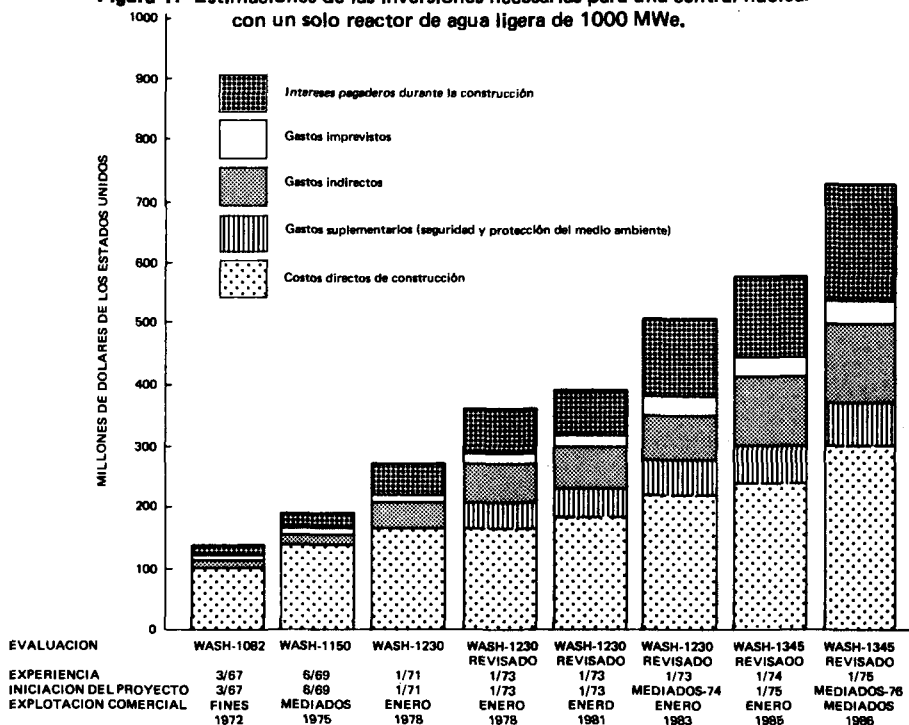
En el Cuadro 2 se resumen algunas estimaciones de costos de instalación actuales. Los cálculos que aparecen en las columnas 1 a 4 y 8 son conformes en lo que respecta a la concesión de licencia y a las condiciones económicas; se fundan en condiciones de emplazamiento casi ideales. Se puede observar que las estimaciones para unidades de 1100—1200 MWe oscilan entre 770 a 940 dólares por kWe, de acuerdo a la importancia del abastecimiento y de las condiciones económicas¹. Se calcula que el costo de los reactores de agua en ebullición aproximadamente el mismo que el de los reactores de agua a presión (columnas 3 y 4). Se estima que los costos de reactores de agua pesada son un 15% más elevados que los reactores de agua ligera, si se aplican los mismos criterios de emplazamiento y de concesión de licencia (columnas 3 y 8). No obstante, si se aplican los criterios canadienses de concesión de licencia de 1976 a un reactor de agua pesada (HWR) de tipo CANDU de 600 MWe, y los criterios de Estados Unidos de concesión de licencia del mismo año a un reactor de agua a presión (PWR) del mismo tamaño, el costo estimado del reactor de agua pesada de tipo CANDU es considerablemente inferior al del reactor de agua a presión (Columnas 1 y 7).

Los cálculos de costos actuales, aunque todavía inéditos, de proyectos de 600 MWe indican un gasto total² de 800 millones de dólares (1300 dólares/kWe) o más para los reactores de agua ligera y de agua pesada.

¹ En dólares de los Estados Unidos en 1976, incluyendo los gastos del propietario, los gastos imprevistos y los intereses durante la construcción, pero excluyendo el combustible, el deuterio y el reajuste de precios.

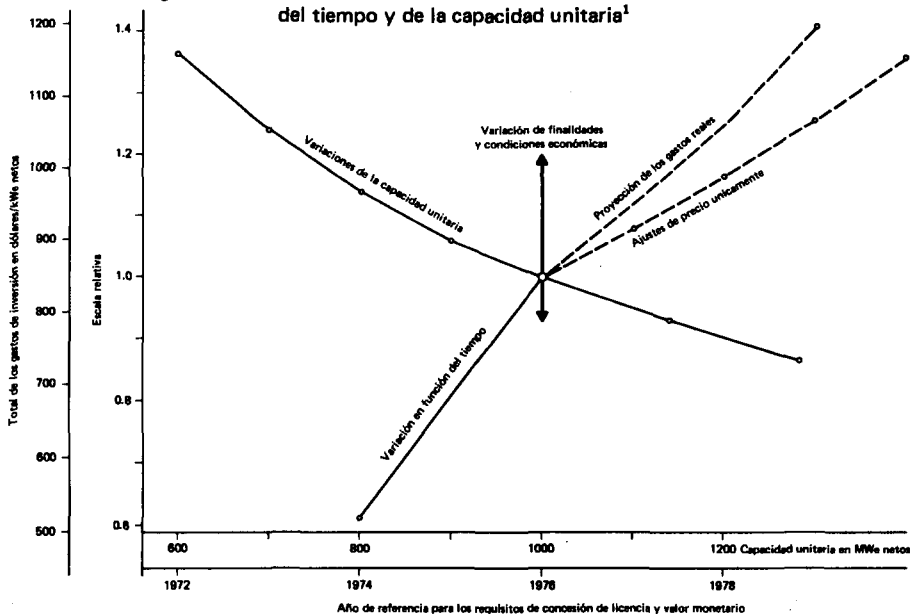
² En dólares de los Estados Unidos de 1977, con las mismas inclusiones y exclusiones citadas precedentemente.

Figura 1: Estimaciones de las inversiones necesarias para una central nuclear¹ con un solo reactor de agua ligera de 1000 MWe.



¹ En dólares de la fecha del comienzo del proyecto. Fuente Refs. [7, 8, 11].

Figura 2: Variación de los costos de una central nuclear en función del tiempo y de la capacidad unitaria¹



¹ Este valor de referencia corresponde a los costos totales de inversión, excluyendo el combustible y los ajustes de precio de una planta PWR de 1000 MWe netos en Estados Unidos en condiciones de emplazamiento casi ideales.

Cuadro 3: Exponentes de escala de los costos de una central nuclear¹

Nº	Cuenta	Modelos de costes	
		1971-1975	1976-1977
21	Estructuras	0,4	0,2
22	Reactor de planta	0,6	
	Sistema nuclear de generación de vapor		0,3
	Resto del reactor de la planta		0,41
23	Planta de turbina	0,8	0,75
24	Planta eléctrica	0,6	0,37
25	Diversos	0,3	0,2
	Costos de base	0,6	0,45

¹ Se utilizan exponentes de escala **N** para extrapolar determinados gastos **C_o** (en millones de dólares) a partir de unidades de capacidad **S_o** (en MWe) hasta capacidades **S** por

$$\frac{C}{C_o} = \left[\frac{S}{S_o} \right]^N$$

No se debe aplicar la escala a las unidades de capacidades inferior a 600 MWe.

EXTRAPOLACION DE COSTOS REALES DE INSTALACION

La extrapolación de gastos reales de construcción con respecto a futuros proyectos, posiblemente en otros países, es sumamente difícil de realizar porque existe gran número de factores que influyen en los costes, algunos de los cuales son casi imposibles de pronosticar. No obstante, para los cálculos aproximados necesarios para los estudios de planificación de centrales nucleares, se puede identificar cierto número de los principales factores que afectan los costos.

Capacidad unitaria: Las rigurosas condiciones actualmente exigidas para la concesión de licencias afectan en mayor medida (relativamente hablando) a los reactores de potencia de capacidad pequeña y mediana que a los de mayor capacidad (1000 MWe o más). Antes de 1976, el gasto de base de una unidad nuclear de 600 MWe se calculaba en un 26% menos que la de una unidad de 1000 MWe de capacidad (o, dicho en otros términos, el gasto en dólares/kWe resultaba un 23% mas alto, aproximadamente, que el de una unidad de 1000 MWe). Desde 1976 se estima que el gasto de base de una unidad de 600 MWe es solo un 20% más alto que el de una de 1000 MWe; esto quiere decir que el gasto en dólares/kWe se calcula en un 33% mas alto para la unidad de 600 MWe. Ello se refleja en modelos a escala (véase el Cuadro 3) que muestra exponentes escalares menores para los modelos de costos de 1976-77 que para modelos anteriores, lo que indica una variación menor de costos con respecto a la capacidad unitaria. La aplicación del modelo escalar de 1976-77 lleva a una variación de los costos en función de la capacidad de la unidad, como se ilustra en la Figura 2.

Factor Tiempo: Los gastos de construcción de las centrales nucleoelectricas están sujetos a la inflación general corriente y, además, a las crecientes exigencias en materia de seguridad y de protección del medio ambiente. Sumado a los programas más amplios de construcción

y a las tasas de interés más elevadas, ello ha producido en los últimos años un acusado aumento de los gastos totales de la central. La elaboración de criterios de concesión de licencia continúa desarrollándose. Sin embargo, la disminución de las tasas de interés (en algunos países), una competencia más acentuada entre los fabricantes, y (como se espera) la normalización, han de impedir que los costos de las centrales nucleares alcancen altos niveles característicos de tiempo atrás.

En la Figura 2 se ha proyectado provisionalmente el valor de referencia de los costos en 1976 con tasas anuales del 8% (valor supuesto para tener cuenta de la inflación general) y de 12% (posible efecto combinado de la inflación, de los criterios de concesión de licencia y de otros factores examinados precedentemente).

Características de los suministros: Las características técnicas de una central nuclear dependen de las condiciones del emplazamiento, de los criterios de concesión de licencia y de las especificaciones técnicas fijadas por el cliente. En el Cuadro 4 se describen algunos de los elementos que pueden apartarse de las características normales del abastecimiento, y se indican estimaciones de costos provisionales.

Ciertos gastos adicionales posibles podrán producirse especialmente en los países en desarrollo: por ejemplo, la construcción o la mejora de las instalaciones de transporte y de descarga, la mejora de los sistemas de telecomunicaciones, el abastecimiento de agua y de electricidad al emplazamiento, así como el establecimiento de las viviendas necesarias para el personal de la construcción (o primas de transporte para la mano de obra de la construcción). Además, los servicios públicos de los países en desarrollo suelen tratar por lo general de lograr un grado más alto de autosuficiencia en lo que respecta al mantenimiento y las reparaciones que lo que es corriente en los servicios de ese tipo en los países industrializados. Esto se explica por la necesidad de evitar los largos períodos de inmovilización que impone el transporte de herramientas especiales, de equipos de prueba y de inspección o de piezas de recambio, que solo se pueden obtener en el país del fabricante.

Condiciones económicas: Ya se han examinado anteriormente las tasas de interés y de inflación, junto con otros parámetros que dependen del factor tiempo. Además, el precio del terreno, del equipo de la unidad generadora, de los materiales de construcción y los niveles de salarios difieren de un país a otro y de un emplazamiento a otro. Se puede calcular el efecto de estas variaciones, por ejemplo, mediante el uso de programas de computadora CONCEPT/19 o ORCOST/20. El OIEA tiene estos programas de computadora a disposición de los Estados Miembros.

No obstante, cabe observar que frecuentemente se corre el riesgo de calcular en exceso las economías posibles, especialmente en lo que se refiere a los costos de la mano de obra de construcción y a los costos indirectos relacionados con la mano de obra (ingeniería, servicios de construcción, etc.). La experiencia demuestra que la economía de un régimen de salarios bajos queda anulada en gran parte a causa de la inferior eficacia de la mano de obra. Además los salarios que se ofrecen en los proyectos de centrales nucleoelectricas son con frecuencia superiores al promedio de los que se pagan en el país. Por último, los trabajos que se deben confiar a especialistas extranjeros costarán mucho más que en sus países respectivos. No es el propósito del presente artículo discutir las repercusiones de otros parámetros importantes que pueden tener influencia decisiva en el análisis comparativo de costos de las diferentes ofertas de servicios, por ejemplo, el monto y las condiciones de los créditos, el tipo de cambio para la adquisición de divisas y las variaciones de los tipos de cambio en función del tiempo.

COMPETITIVIDAD DE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA

En los países industrializados se han expresado numerosas preocupaciones respecto de los riesgos potenciales de las centrales nucleares y sus repercusiones sociales y ecológicas. A las cuestiones de orden jurídico resultantes de tales preocupaciones, se ha contestado en repetidas ocasiones reforzando los medios de seguridad y de protección ecológica. Estos progresos han llevado, junto con otros factores, a un aumento notable de los costos de

instalación de las plantas nucleoelectricas. Los precios del uranio y de ciertos servicios del ciclo del combustible nuclear han crecido también en forma espectacular. Por consiguiente, el costo de la electricidad de origen nuclear ha sufrido aumentos superiores a la tasa de inflación general. Sin embargo, como tales procesos han afectado igualmente a las fuentes de suministro de combustibles fósiles, en la mayoría de los países industrializados la electricidad de origen nuclear ha podido mantener un margen económico con respecto a la electricidad generada a base de combustible fósil. En los países en desarrollo, la competitividad de la energía nucleoelectrica es por lo general algo menor que en los países industrializados. Las razones son las siguientes:

- La energía nucleoelectrica requiere una gran inversión inicial que, para la mayoría de los países en desarrollo, es difícil de reunir.
- Por razones de estabilidad de la red eléctrica, la instalación de centrales de 1000 MWe o de capacidad superior, no es aceptable para la mayoría de los países en desarrollo. Los costos de inversión específicos son mayores (en dólares/kWe) para las centrales de menor capacidad.
- Las centrales nucleoelectricas cuestan generalmente más en los países en vía de desarrollo que en los países industrializados.
- A causa de los reglamentos menos rigurosos de protección ecológica vigentes en los países en desarrollo se pueden construir centrales termoelectricas alimentadas con petróleo o carbón, sin que sea necesario instalar sistemas de depuración de SO_x ; los gastos de instalación y de explotación serán en consecuencia inferiores a los de los países industrializados, en los que no se permiten estos tipos de centrales.

En lo que respecta a las centrales nucleares no es posible aplicar equivalentes reducciones de costos, ya que han sido diseñadas de acuerdo con los reglamentos en vigor en el país del fabricante. Sin embargo, las grandes centrales electrogeneradoras serán emplazadas por lo general no muy lejos de los centros de consumo. En vista del aumento de la contaminación atmosférica en estas regiones industrializadas y densamente pobladas de los países en desarrollo, es imaginable que en un creciente número de ellos resultará indispensable instalar sistemas de depuración de SO_x en las centrales electrogeneradoras de 600 MWe o más. Por lo tanto, sería ilusorio suponer que la relación entre los costos de instalación de las centrales nucleares equipadas con todos los dispositivos de seguridad y de protección del medio ambiente y los de las centrales electrogeneradoras alimentadas con petróleo o carbón, con exclusión de los dispositivos equivalentes, será característica de la competitividad económica de la energía nucleoelectrica en los países en desarrollo. Más bien resultará necesario evaluar la competitividad de los recursos nucleares y de tipo convencional concretamente para cada país.

Si bien la competitividad comercial es un elemento sumamente pertinente para tomar las decisiones que afectan a las grandes inversiones del capital, pueden existir ciertos aspectos importantes que tal vez favorezcan la construcción de una central nucleoelectrica, aun cuando ésta no satisfaga totalmente las condiciones económicas corriente. Así, por ejemplo:

- Un proyecto nucleoelectrico puede ayudar a desarrollar la industria local.
- El precio de los recursos energéticos competidores es de prever que aumente más rápidamente.
- Un proyecto nucleoelectrico hará disminuir la dependencia respecto de las importaciones de petróleo.

Otros aspectos importantes pueden resultar contraproducentes, especialmente para los países en desarrollo;

- La preocupación respecto a la no proliferación de las armas nucleares puede haber ocasionado limitaciones de exportación de equipo, materiales y tecnología nuclear.
- Una instalación para el ciclo completo del combustible nuclear queda fuera de las posibilidades de muchos países; aunque permitiría reducir la dependencia respecto de las importaciones de petróleo, aumentaría por otra parte la dependencia de importaciones de servicios y combustibles nucleares.

Cuadro 4: Variantes típicas de costos centrales nucleoelectricas

A) Variantes de carácter técnico ¹				
Cuenta Nº	Descripción de partidas de costos	Variantes de costos en millones de dólares de los Estados Unidos		
		Bajo	Medio	Ejemplo
Gastos Directos				
20	Evaluación del emplazamiento (incluyendo la evaluación detallada de la estructura del suelo, la medida de la radiactividad natural, el estudio de fauna, flora y meteorología)	3	6	4
21	Servicios públicos disponibles en el emplazamiento (agua, electricidad, caminos de acceso ² , sistema de comunicaciones)	2	10	3
	Mejoras del emplazamiento (excavación de terreno rocoso o fundamentos en terreno poco sólido, drenaje, etc.)	2	20	5
	Toma y descarga de agua	-5 ³	20	0
	Protección contra inundaciones o contra las olas	0	10	2
	Protección sísmica ⁴	0	20	0
	Protección contra tornados y explosión de nubes de gases	-15 ³	0	0
	Almacenamiento adicional de combustible irradiado y de desechos	5	10	5
	Previsión para la instalación posterior de otras unidades en el mismo emplazamiento	5	10	0
SUBTOTAL de las partidas 20-21 ¹⁰				19
22	Protección contra accidentes de aeronaves ¹⁰		15	0
23	Sistema de derivación adicional ⁵ y equipos de control para facilitar la explotación y el mantenimiento	5	10	5
25	Instalaciones para inspección y reparación de equipos contaminados ⁶	2	5	2
	Piezas de recambio ^{6,7}	2	8	3
	Gastos de transporte ⁶	10	15	10
SUBTOTAL de gastos directos de la central (partidas 20-25)				39

Cuadro 4 (continuación)

Cuenta Nº	Descripción de partidas de costos	Variantes de costos en millones de dólares de los Estados Unidos		
		Bajo	Medio	Ejemplo
	Gastos indirectos			
92	Servicios de ingeniería y de gestión de construcción, incluyendo los costos de la supervisión de ejecución y servicios especiales de consultores ⁶	10	20	10
93	Capacitación de personal	3	5	5
93	Campamento de construcción ⁶ (viviendas e instalaciones sociales) incluyendo los gastos de mantenimiento durante el período de construcción; o asignaciones de transporte de los obreros	5	20	6
93	Otros gastos del propietario (garantía de calidad, preparación de planos y traducción de documentos, gastos generales y administrativos, centro de información pública)	20	35	20
SUBTOTAL de gastos indirectos				41
	Costos previos al comienzo de la construcción			
	Estudios preparatorios, planificación, estudios preliminares de ingeniería a cargo de servicios públicos o consultores, estudios de viabilidad	2	4	2
	Estudio topográfico del emplazamiento, preselección de lugares del emplazamiento	1	2	1
	Convocatoria de licitaciones, evaluación de las ofertas, establecimiento de contratos	1	4 ⁸	3
	Costos de las instalaciones fuera del recinto de la central nucleoelectrica			
	Construcción o mejoras de los sistemas de transporte al exterior del recinto de la planta nucleoelectrica (caminos, ferrocarriles, puertos)	4	10 ⁹	10
	Barcazas, remolques	1	2	2

Cuadro 4 (continuación)

Cuenta Nº	Descripción de partidas de costos	Variantes de costos en millones de dólares de los Estados Unidos		
		Bajo	Medio	Ejemplo
	Gastos en instalaciones fuera de la central nucleoelectrónica (continuación)			
	Transformador principal	3	4	3
	Centro de conmutación	6	10	6
	SUBTOTAL de costos previos al comienzo de la construcción de instalaciones fuera del recinto de la central nucleoelectrónica			27
	TOTAL de variaciones de carácter técnico¹⁰			107
	B) Variantes de carácter económico			
20	Terreno y derechos del terreno ¹¹	-0,9	5	0
21-25	Costos de equipo ¹²	0	40	20
21-25	Costos de materiales ¹²	-10	10	0
21-25	Costos de mano de obra ¹³	-40	0	-10
91-93	Costos indirectos relativos a la mano	-20	20	10
	TOTAL de las variantes de carácter económico			20

¹ Variantes comparadas con la Ref. [10] (características básicas correspondientes a los primeros requisitos aplicables en 1976 en los Estados Unidos para la concesión de licencias y en condiciones ideales de emplazamiento). Se deben interpretar las variantes "baja" y "alta" en una forma clásica, más bien que como un mínimo o máximo absolutos. Las variantes de gastos se expresan en dólares de Estados Unidos con valor de principios de 1977. Se aplican a unidades nucleoelectrificadas de 600 MWe, y muchas no varían considerablemente con el tamaño de la unidad.

² En el interior del recinto de la central nucleoelectrificada.

³ Para requisitos de concesión de licencias menos rigurosos que los aplicados actualmente en los Estados Unidos.

⁴ Incluyendo la protección contra licuefacción sísmica de suelo arenoso; los actuales requisitos para la concesión de licencias en los Estados Unidos comprende la protección sísmica eficaz hasta aceleraciones horizontales de 0,25 g. La variante de gastos "alta" corresponde a la protección contra 0,4 g.

⁵ Para la derivación del 100% de la circulación de vapor a la turbina.

⁶ Especialmente aplicable a los países en desarrollo.

⁷ Los requisitos normales vigentes en los Estados Unidos consideran los gastos en concepto de las piezas de recambio en dos millones de dólares.

⁸ Para una evaluación completa, es posible que se llegue a costos más elevados en casos de plurisistemas y ofertas combinadas.

⁹ La construcción de puentes puede aumentar todavía más esta partida.

¹⁰ No se indican subtotales y totales de las variantes de gastos "baja" y "alta" puesto que no es probable que se presenten simultáneamente.

¹¹ El costo del terreno se calcula como en un millón de dólares; la variante de gastos "alta" corresponde a áreas densamente pobladas en la que el precio de los terrenos es elevado.

¹² Variantes de precios de equipo y de materiales de construcción.

¹³ Variantes de sueldos, salarios y gastos generales; no es probable que puedan lograrse economías importantes en los gastos relacionados con la mano de obra en un primer proyecto nucleoelectrificado.

Estos últimos aspectos podrían retardar la decisión de instalar una central nucleoelectrica, aun cuando ésta sea competitiva para la generación de electricidad de base.

OBSERVACIONES FINALES

El aumento de los costos de los proyectos nucleoelectricos muy por encima de los límites calculados originalmente ha dado lugar a grandes dificultades, decepciones, controversias y hasta a la anulación de proyectos. Esto ha ocurrido también en países y a empresas que posean experiencia en tecnología nuclear. Este problema presentará aparentemente más dificultades para los países y empresas que carecen de experiencia en el control de los costos de los proyectos nucleoelectricos, a menos de que adquieran una unidad nucleoelectrica estándar de un proveedor experimentado, lo cual significa una mínima participación de los fabricantes e ingenieros locales.

Entre las más importantes razones para la elevación de los costos se encuentran las demoras de construcción y de puesta en servicio, dado que conducen a aumentos de precios y de intereses pagaderos durante la construcción y que produce además gastos adicionales para la sustitución del abastecimiento eléctrico o un déficit de energía eléctrica (si no en el plano de la compañía, por lo menos al nivel de la economía nacional).

La verificación del programa mediante una buena planificación y supervisión de la construcción es, pues, uno de los medios más efectivos de control de gastos y debe estar apoyada con oportunas decisiones políticas y adecuados arreglos contractuales como los que figuran en la lista siguiente:

- Un país que dé comienzo a un programa nucleoelectrico deberá decidir con tiempo acerca de los criterios que va a seguir para el desarrollo de la industria local. Teniendo en cuenta que una estimación exagerada de la capacidad industrial de la nación, especialmente en lo que respecta a las normas de calidad, puede resultar probablemente en graves dificultades más tarde, es indispensable llevar a cabo lo antes posible una investigación a fondo sobre la capacidad local.
- Está indicado decidir con anticipación la prioridad entre la generación nucleoelectrica económicamente competitiva, y la transferencia de tecnología nuclear a la industria local. Un contrato para una "central de capacitación" con un máximo de participación local presentará probablemente una desventaja desde el punto de vista de los costos en comparación con la adquisición de una central nuclear con un mínimo de participación local (y tal vez la generación eléctrica no resulte económicamente competitiva); aunque si esa central está eficientemente organizada, permitirá una creciente participación local en los proyectos posteriores, lo cual representará a largo plazo una ventaja para los países con gran demanda potencial de energía nucleoelectrica.
- Se deberá establecer una lista de las principales decisiones requeridas en relación con los problemas ecológicos y de seguridad, así como con la preparación de una infraestructura técnica. Toda demora en las decisiones que se tomen sobre los requisitos reglamentarios, sobre el nivel más alto de tensión del sistema de transmisión eléctrica, o sobre el desarrollo de un sistema de tráfico terrestre o acuático, puede retardar considerablemente un proyecto nucleoelectrico.
- Es indispensable decidir qué códigos y normas serán aplicables a un proyecto nucleoelectrico. El caso ideal es que en un proyecto nucleoelectrico, solo intervenga un país proveedor y que el país receptor aplique las mismas normas de aquél. Así se facilitarán las contribuciones de las industrias mecánica y eléctrica locales.
- Se deberá hacer máximo uso de los diseños normalizados de las centrales nucleoelectricas. Las innovaciones serán generalmente costosas; si se omite alguno de los sistemas, no se economizará mucho dinero y el rendimiento y la seguridad del diseño modificado resultante pueden ser dudosos.

- Es de capital importancia establecer una central de referencia para cada proyecto nucleoelectrico. Debe hacerse referencia al diseño y al informe del análisis de seguridad. Se deberán adoptar igualmente otros documentos, tales como el programa de construcción y de organización del proyecto, en la medida en que resulten aplicables a las condiciones del país receptor.
- En el contrato técnico se deberá definir lo más exactamente posible el plan de suministros. Desde el principio se deberán incluir las piezas de recambio, los instrumentos especiales para inspección y mantenimiento, los servicios de combustible nuclear, etc. Los cambios que se introduzcan en los planes de abastecimiento han de resultar probablemente más costosos si se contratan ulteriormente.

El OIEA está dispuesto a orientar a los Estados Miembros con respecto a la planificación y puesta en ejecución de sus proyectos nucleoelectricos. Ha publicado Gufas [21, 22] y lleva a cabo cursos internacionales de capacitación sobre energía nuclear y seminarios regionales. Se efectúan misiones de asesoramiento y asistencia técnica a los Estados Miembros cuando se requieren estos servicios. Estas misiones pueden ayudar a calcular los costos de los proyectos nucleoelectricos y a fiscalizar sus gastos y calendario.

Referencias

- [1] Market Survey for Nuclear Power in Developing Countries, 1973—74.
- [2] IAEA, Nuclear Power Planning Study for Pakistan, 1975.
- [3] IAEA, Nuclear Power Planning Study for Bangladesh, 1975.
- [4] IAEA, Nuclear Power Planning Study for Indonesia, 1976.
- [5] IAEA, Nuclear Power Planning Study for Hong Kong, 1977.
- [6] IAEA, Nuclear Power Planning Study for Venezuela, to be published in 1978.
- [7] United Engineers & Constructors Inc. USAEC (Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos) 1000 MWe Central Station Power Plants, Investment Cost Study, WASH-1230, 1—5, 1972—73.
- [8] USAEC (Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos)/USERDA (Administración de los Estados Unidos para la Investigación y el Desarrollo en materia de energía), Power Plant Capital Costs, Current Trends and Sensitivity to Economic Parameters, WASH-1345, 1974.
- [9] Jersey Central Power & Light Co., Report on Economic Analysis for Oyster Creek, 1964.
- [10] United Engineers & Constructors Inc./USNRC/USERDA, Capital Cost: Pressurized-Water Reactor Plant, NUREG-0241, 1,2, June 1977.
- [11] Crowley, J.H., comunicación privada.
- [12] CANATOM Limited Investment Cost Study for CANDU 600, December 1976 (véase Annex I).
- [13] Información presentada en la reunión de consultores del OIEA sobre extrapolación de los gastos de instalación declarados de centrales nucleares, 1976.
- [14] Michaelis, H., Ist Kernenergie Wirtschaftlich? Reactor Conference of the Federal Republic of Germany, March 1977.
- [15] Sethna, H.N., Srinivasan, M.R., India's Nuclear Power Programme and Constraints Encountered in Its Implementation, IAEA-CN-36/385, May 1977.
- [16] Crowley, J.H., Información presentada al Grupo asesor del OIEA sobre reactores de pequeña y mediana potencia, octubre de 1977.
- [17] UE&C/USNRC/USERDA, Capital Cost: Pressurized Heavy-Water Reactor Plant, se publicará en 1978.
- [18] Rudesill, C.L., Comparing Coal and Nuclear Generating Costs, EPRI Journal, Oct. 1977.
- [19] USERDA, CONCEPT IV, ERDA-108, 1975.
- [20] USERDA, ORCOST II, 1976.
- [21] IAEA, Steps to Nuclear Power — A Guidebook, IAEA Technical Report Series No. 164, 1975.
- [22] IAEA, Economic Evaluation of Bids for Nuclear Power Plants, 1976.