

EL COLEGIO DE MEXICO

LA CRISIS DE LA ENERGIA NUCLEAR

-El Aspecto Económico-

Tesis que para optar por el grado de
Licenciado en Relaciones Internacionales
presenta

José Treviño Botti

Agosto de 1983

I N D I C E

INTRODUCCION	I
CAPITULO I:	
LA ENERGIA NUCLEAR EN LA ENCRUCIJADA	1
Aspectos de la crisis	2
Crecimiento con altibajos	7
Un futuro incierto	11
CAPITULO II:	
LA ILUSION DEL ATOMO BARATO	20
El átomo pacífico	23
El fin del secreto atómico	25
El triunfo del reactor norteamericano en Europa	27
El período del reactor "llave en mano"	32
Expectativas y costos estimados -vs- Experiencia y costos reales	39
La competitividad de la energía nuclear	46
CAPITULO III:	
LOS ACCIDENTES FINANCIEROS DE LA NUCLEOELECTRICIDAD	51
La caída en la demanda de electricidad	53
La escalada de costos	57
Costos del combustible y costos ocultos	66
Three Mile Island	72
CAPITULO IV:	
LOS PLANES NUCLEOELECTRICOS DE MEXICO	77
Los vaivenes en la demanda de electricidad	79
La espiral de costos	86
Consideraciones adicionales	95
CONCLUSION	102
REFERENCIAS	113
INDICE DE CUADROS	130
BIBLIOGRAFIA	131

INTRODUCCION

El embargo y la subsiguiente cuadruplicación de los precios del petróleo en 1973 y 1974 fueron los detonadores de un estado de inquietud internacional ante lo que se visualizó como la más seria amenaza de la posguerra al crecimiento económico y los estándares de vida alcanzados en Occidente. Algunos países sufrieron una escasez temporal de crudo y muchos otros la incertidumbre sobre los suministros, pero el mundo no padeció la temida crisis de energía. Esta idea de la crisis fue, sin embargo, admirablemente manejada por los gobiernos, las transnacionales petroleras y los medios de comunicación de los países industrializados importadores de petróleo para concitar la repulsa mundial contra los países de la OPEP y utilizar el río revuelto en su propio beneficio, ganando tiempo para diseñar y poner en práctica una estrategia de respuesta.

Dos de los principales elementos de esa estrategia, la conversión al carbón y la conservación, cumplieron bien su cometido de reducir los niveles de consumo y por ende la importación de hidrocarburos. La explotación de los ricos yacimientos de México y del Mar del Norte contribuyeron a su vez en forma significativa a incrementar los volúmenes de oferta de petrolíferos. La inflación mundial combinada con recesión intervino finalmente como el factor macroeconómico determinante en la configuración del escenario vigente desde mediados de 1981, cuyas características son la saturación de los mercados de crudo y la declinación de sus precios.

El actual panorama energético entraña una situación paradójica: si bien no existe ni remotamente una crisis de energía, sí se puede hablar en cambio de energías en crisis. Este es en cierto modo el caso de la industria petrolera,

paralizada ante el dilema que pende sobre gran parte de su capacidad extractiva y de refinación, de permanecer ociosa para tratar de evitar mayores caídas en los precios del petróleo o de trabajar a plenitud e inundar aún más los mercados, con la consiguiente presión a la baja de dichos precios.

Pero quizá el mejor ejemplo de una fuente de energía en dificultades lo ofrece la energía nuclear. Habiéndose iniciado su explotación comercial a mediados de los años cincuenta, la electricidad proveniente de la fisión atómica experimentó durante los dos decenios siguientes un crecimiento rápido y constante gracias al entorno particularmente propicio del sector eléctrico y al generoso impulso que recibió de sus promotores, crecimiento sólo interrumpido por breves periodos de desilusión e incertidumbre a consecuencia de problemas técnicos y económicos imprevistos.

La escena cambia radicalmente a partir de la segunda mitad de los setentas. Factores adversos al desarrollo de la nucleoelectricidad que habían estado más o menos latentes durante los años de expansión, irrumpen con gran fuerza y en forma casi simultánea provocando la desaceleración de los programas nucleares de muchos países y el aplazamiento indefinido de otros nuevos, y precipitan a la industria nuclear en el estado de depresión más prolongado y complicado de su historia.

El más notorio de estos factores es la oposición anti-nuclear, surgida del temor a los accidentes graves en las centrales nucleares, a los efectos nocivos de las radiaciones de bajo nivel y al impacto ambiental causado por el almacenamiento de los desperdicios radioactivos. Esta oposición, fragmentada y dispersa en sus inicios, cunde con sin-

gular facilidad en las democracias occidentales con programas nucleares incipientes o avanzados, acrecienta cada vez más su número de adeptos y se internacionaliza, y con el tiempo alcanza una mayor organización, representatividad e influencia en los gobiernos.

Con el estallido del artefacto nuclear de la India en 1974 toma cuerpo la conciencia del riesgo de proliferación de las armas nucleares en relación con la diseminación de centrales alimentadas con uranio. El movimiento se articula más bien en los altos niveles gubernamentales que entre el público, y dirigido por las potencias nucleares se traduce en una serie de políticas orientadas a restringir y controlar la transferencia de tecnología, equipos y materiales nucleares. No se trata de un obstáculo formal a la expansión de la nucleoelectricidad, pero en la práctica se produce ese efecto.

El tercer gran factor de freno al crecimiento de la energía nuclear en el mundo lo constituyen los problemas económicos en que ésta ha incurrido en virtud tanto de las dificultades inherentes al diseño, construcción, operación y mantenimiento de centrales nucleares, como a los problemas causados por elementos externos, tales como la crisis económica mundial y la oposición antinuclear. Para 1975 sólo algunos sectores del establishment nuclear continúan alimentando la creencia y las expectativas, desmentidas por los hechos, en los bajos costos de la nucleoelectricidad. El cuestionamiento de su competitividad frente a la electricidad generada por combustibles fósiles agudiza la controversia sobre las ventajas y desventajas de esta forma de energía y se convierte en una de las armas predilectas de quienes quisieran verla borrada de la faz de la tierra.

La literatura sobre los aspectos técnicos de la energía nucleoelectrónica ofrece puntos de vista diferentes sobre cuál de estos grandes problemas es el más importante o el que más obstaculiza su crecimiento. En opinión de algunos analistas, los beneficios de la nucleoelectricidad no son comparables a los enormes peligros para la salud que subyacen en la radioactividad; de ahí que consideren la cuestión de la seguridad como el problema número uno y el que al final de cuentas decidirá el destino de la energía nuclear. Otros centran su preocupación en el riesgo de que ésta pueda propiciar una mayor difusión de armas nucleares en el mundo, a partir de los materiales fisionables que resultan de la irradiación del combustible nuclear en los reactores de potencia. Un último grupo de observadores localiza en los enormes costos económicos el verdadero talón de Aquiles de la energía nucleoelectrónica, el punto vulnerable que la puede hacer sucumbir ya sea ante fuentes clásicas como el carbón o ante fuentes nuevas como la energía solar.

El tema y la orientación del presente trabajo reflejan la adhesión a esta última posición. Sin minimizar ni menos negar la peligrosidad inherente a la energía nuclear, sostenemos que sus propias dificultades económicas han hecho más para detener su avance que todas las marchas de protesta y los escritos de sus opositores. La verdadera espada de Damocles que cuelga sobre ella se expresa en las sumas estratosféricas que cuesta construir, operar y mantener una planta nuclear, no en el número de países que pudieran acceder en la clandestinidad al estatuto de potencias nucleares ni en la cantidad de muertes que podría acarrear el escape de gases radioactivos de una central accidentada.

Es imposible saber qué habría pasado con la industria nuclear en el mundo si el accidente de Three Mile Island hu biera sido una catástrofe ecológica y social. La oposición antinuclear sin duda alguna se habría fortalecido, al poder fundamentar en adelante sus ataques ya no en argumentos de probabilidad sino en hechos consumados. De cualquier manera, el accidente reanimó una oposición relativamente aletargada y elevó a primer plano los cuidados de la industria en materia de seguridad. Pero lo más cierto de todo es que tanto los paros de centrales como las revisiones y modificaciones reglamentarias y de diseño que provocó el episodio se endosaron a la factura financiera.

La proposición central de este trabajo es que la crisis actual de la energía nuclear es básicamente de índole económica. El balance al cabo de casi treinta años de funcionamiento comercial de nucleoelectricas es satisfactorio en cuestión de seguridad pero insatisfactorio en el terreno económico, con un saldo desfavorable tanto en términos absolutos como relativos, pues la energía nuclear ha resultado ser más costosa y menos competitiva de lo que previeron sus promotores y apostaron sus más apasionados defensores.

La observación de nuestra realidad nacional añade a la convicción teórica una motivación utilitaria o práctica: el tema aquí desarrollado responde también a la necesidad de contar con elementos que nos permitan entender mejor lo que ha ocurrido con el primer proyecto nucleoelectrico de México, la construcción de la central de Laguna Verde.

Existe en el país una gran ignorancia y desinformación sobre cuestiones nucleares. La información al respecto que se produce en México es bastante escasa y mala. La lectura de la prensa periódica relacionada con Laguna Verde suscita

más dudas de las que aclara, y lo único que deja en claro es que la construcción se retrasa y encarece sin cesar. Esta fuente ofrece versiones y evaluaciones del problema tan con tradictorias e incompletas que el investigador que emprenda la tarea de sistematizar la historia de la central con base en estos materiales se topará seguramente con dificultades insuperables. Es probable que al término de su pesquisa só lo retenga un puñado de artículos periodísticos confiables y se vuelva a las contadas fuentes de que dispone a través de dos o tres buenos estudios académicos y de algunos infor mes oficiales. Y aún así cabe esperar que no encuentre una respuesta satisfactoria a todos sus interrogantes.

El ingreso de México en la era nuclear, proclamado con entusiasta ingenuidad por funcionarios y periodistas en relación con sucesos carentes de tal significación, sólo se consumará cuando el primero de los dos reactores de la central nuclear de Laguna Verde obtenga las licencias para ope rar y sea incorporado a la red eléctrica nacional. Desde ese momento, que se vislumbra será en 1986, hasta la entrada en operación de la segunda unidad pasarán todavía muchos años, y no es remoto que el conteo final adjudique a la ing talación completa de la planta una duración total de entre 16 y 20 años, cifra récord en los anales sobre construcción de nucleoelectricas. ¿Cuántas veces se habrá multiplicado para ese entonces el presupuesto originalmente estimado?

Este trabajo parte del supuesto de que para entender mejor la accidentada evolución del proyecto nuclear mexicano es preciso conocer lo que acontece en otras latitudes. La información proveniente de países con programas nucleares avanzados nos permite ver que nuestros problemas, si bien únicos en su especie, por así decirlo, no lo son en su género. Laguna Verde dista de ser la única central que re-

gistra aplazamientos en su construcción y costos crecientes en su inversión; el que los retrasos encarecedores cobren aquí proporciones dramáticas no contradice sino corrobora el hecho de que se trata en esencia de un fenómeno de alcance mundial. Así pues, aun cuando la problemática de Laguna Verde revista las características específicas de nuestro estadio de desarrollo tecnológico y administrativo, es válido afirmar que con la notoria excepción de la oposición antinuclear, inexistente en México, compartimos con el resto del mundo los problemas que más severamente limitan la expansión de la electricidad de origen nuclear, los económicos en primer lugar.

Implícitos en este razonamiento hay dos o tres argumentos a fortiori de gran peso. Si los países colocados a la vanguardia en diseño, operación y comercialización de reactores nucleares están enfrentando serios problemas económicos e incertidumbres, es lógico suponer que los países importadores de tecnología experimentarán dificultades aún mayores. Y si aquéllos, dotados de una impresionante infraestructura técnica e industrial y de inmensos recursos humanos y financieros, empiezan a cuestionar la viabilidad económica de la opción nuclear, con mayor razón y urgencia deberían planteárselo los países en desarrollo.

En este contexto, la necesidad de conocer a fondo y con objetividad la problemática de Laguna Verde debe constituir una exigencia de política nacional. Sería muy triste justificar la existencia de la central considerándola, como parecen sugerir algunos, un laboratorio experimental donde se habrán hecho patentes los errores que no debemos volver a cometer. Lo verdaderamente trascendental será decidir si el país se puede dar el lujo de tener una segunda oportunidad. La evaluación rigurosa de costos que se practique al

término de la construcción de la central deberá aportar los elementos necesarios para determinar la conveniencia o no de que México se embarque en un programa nucleoelectrico de mayor envergadura.

El tratamiento preferencial que se da en el trabajo al caso de Estados Unidos obedece a tres motivos principales. En primer lugar, por el papel preponderante que este país ha desempeñado en el desarrollo de la energía nucleoelectrica; lo que los norteamericanos hagan o dejen de hacer en este campo tiene más probabilidades de afectar los programas nucleares de otros países que la circunstancia inversa. En segundo lugar, porque el caso de Estados Unidos es quizá el que mejor ilustra la crisis por la que atraviesa la industria nuclear en el mundo. Y en tercer, porque este país ha sido hasta la fecha el único proveedor nuclear de México.

El estudio está dividido en cuatro capítulos. En el primero -La energía nuclear en la encrucijada- se describe el panorama crítico que ofrece la energía nuclear en el mundo, con un énfasis particular en los problemas que afectan su crecimiento y las incógnitas que plantea su futuro. En el segundo -La ilusión del átomo barato- se hace un breve repaso histórico de las dos primeras décadas de desarrollo de la energía nucleoelectrica en Europa y Estados Unidos, contrastando las expectativas y condiciones favorables del impulso inicial con las circunstancias adversas que frenaron la expansión de la nucleoelectricidad en el decenio de los setenta. El capítulo tercero -Los accidentes financieros de la nucleoelectricidad- está dedicado al análisis general de las condiciones económicas de dentro y fuera de la industria nuclear que explican su estancamiento en los países industrializados, en particular en Estados Unidos. Por último, el capítulo cuarto -Los planes nucleoelectricos de México- constituye un ejercicio de aplicación de los indicadores económicos al caso de México, con las limitaciones y salvedades que imponen la escasa experiencia e información disponible en materia de planeación y construcción de centrales nucleares.

CAPITULO I

LA ENERGIA NUCLEAR EN LA ENCRUCIJADA

"A fines de 1980 se hallaban funcionando más de 300 reactores de investigación en 48 Estados Miembros, y 253 reactores de potencia en 22 Estados Miembros. Estos últimos generaban el 8% del total de la electricidad mundial. Así pues, la energía nucleoelectrónica desempeña ya un papel importante en la esfera que antes estaba exclusivamente reservada a las fuentes convencionales de energía. En 1985 se generará por medios nucleares el 17% del total de la electricidad mundial. No hay duda de que viviremos con la energía nuclear por mucho tiempo, pues el mundo no encontrará fácilmente otra manera de generar tanta electricidad".

Sigvard Eklund

Estas palabras fueron pronunciadas en septiembre de 1981 por el Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica al inaugurar la Conferencia General XXV de ese Organismo. No se puede encontrar en ellas inexactitud, error o interpretación distorsionada de los hechos. Pero proyectadas sobre un telón de fondo histórico, esas mismas cifras y aseveraciones admiten otro tipo de lectura y revelan una realidad que debe ser matizada. Los logros alcanzados en el campo de la energía nuclear resultan en verdad impresionantes si se los compara con los progresos obtenidos en cualquiera otra fuente de energía durante el mismo lapso de treinta años. Sin embargo, las cifras aducidas representan logros sumamente modestos en comparación con los que expertos y gobiernos pronosticaron y planearon desde que se inició la comercialización de las plantas nucleoelectricas y durante las dos décadas de expansión que le sigue.

Por otra parte, la afirmación de que "viviremos con la energía nuclear por mucho tiempo" tiene un alcance menos in definido del que a primera vista sugiere, pues de no presentarse más órdenes de reactores durante la presente déca da, sólo nos consta que habrá electricidad de origen nuclear mientras dure la vida útil de las plantas actualmente en operación y de las que empiecen a operar al momento de ser entregadas.¹

Con el fortalecimiento de la supremacía de los combustibles fósiles y con los éxitos alcanzados a través de las políticas de conservación, parecen confirmarse cada vez me nos los augurios de quienes presagiaron un futuro ilimitado a la energía nuclear, la cual, a juzgar por los graves problemas que ha venido enfrentando, se encuentra literalmente en el filo de la navaja. Tanto es así, que de continuar o aumentar el alud de cierres prematuros en centrales nucleares y de cancelaciones de órdenes colocadas, el aporte previsto del 17% al total de la electricidad mundial para 1985 muy probablemente se verá amenazado.

ASPECTOS DE LA CRISIS

Para ningún enterado en la materia es un secreto que desde hace algunos años la energía nuclear ha experimentado dificultades crecientes prácticamente en todo el mundo. Una compleja red de problemas económicos, técnicos, sociales y políticos han trabado a la industria nuclear hasta el punto de suscitar muy serios interrogantes sobre el ritmo y los caminos de su desenvolvimiento futuro.

A pesar de las continuas y reiteradas afirmaciones de muchos gobiernos en torno a la importancia de la energía nu clear, todo parece indicar que la futura capacidad instala da de energía nucleoelectrónica en el mundo será aún menor de

lo que las estimaciones más recientes, ya de por sí inferiores a las de años anteriores, permitirían esperar. Entre las causas de esta situación se encuentran la rápida escalada en los costos de las plantas nucleares y de las instalaciones conexas del ciclo del combustible, así como una disponibilidad de plantas menor de lo previsto, lo cual ha erosionado todavía más la cuestionada competitividad de la energía nuclear. Por otra parte, los retrasos crecientes durante las fases de licenciamiento y construcción han agravado aún más las restricciones financieras de las compañías eléctricas. En un plano más general, una serie de reducciones importantes en las proyecciones de demanda global de energía, derivadas de la recesión económica continua y de la efectividad creciente de los programas de conservación en los países industrializados, han obligado con frecuencia a recortar los planes establecidos de construcción de plantas nucleares y a posponer, a veces por tiempo indefinido, la colocación de nuevos pedidos.²

Durante los últimos años casi todos los países occidentales importadores de petróleo han tenido que revisar y ajustar continuamente sus estimaciones sobre la futura capacidad nuclear instalada. Hoy en día ya nadie se atreve a sostener, como se hizo en otras épocas, que para el año 2000 podría haber 500 y hasta 1,000 reactores en operación en los Estados Unidos. A fines de la década de 1970 únicamente Francia, y entre los países de economía centralmente planificada los miembros del COMECON, en particular la Unión Soviética, continuaban desarrollando sus planes nucleares más o menos de acuerdo con lo programado en años anteriores.³ Fuera de estos casos, existe en la actualidad un retraso considerable en los programas originales de construcción de reactores en Estados Unidos, Suecia y Alemania Federal, así como en los programas nucleoelectrónicos de muchos países.

El accidente en la central de Three Mile Island, en marzo de 1979, ha sido en parte responsable del estancamiento que padece la industria nuclear. Sin embargo, ya desde antes que ocurriera, las compañías eléctricas norteamericanas habían dejado de solicitar equipo nuevo para generar energía atómica. El número de reactores comprados en Estados Unidos entre 1975 y 1980 no llegó a la media docena. En este mismo período hubo alrededor de cincuenta cancelaciones de órdenes anteriores y se registraron más de cien casos de aplazamiento por lapsos de entre cinco y diez años.⁴ En los últimos cinco años no se ha ordenado ninguna central nueva en ese país. Una situación semejante se produjo en otros países, como Australia, Austria, China, Dinamarca, Irán, Nueva Zelanda y Noruega. A ello se añadieron moratorias de facto sobre nuevas órdenes en Alemania Federal, Holanda, Italia, Suecia e Irlanda.

A mediados de 1979 había en el mundo unas 240 plantas de potencia en operación. Este número representaba una capacidad agregada de generación de alrededor de 130 gigavatios (GW). El 40% de esta cantidad se localizaba en Estados Unidos; el resto se hallaba distribuido entre 21 países, dos de los cuales, Japón y la Unión Soviética, contaban con poco más de 10 por ciento cada uno, como puede verse en el Cuadro 1. Es significativo constatar que este total mundial de 131 GW de capacidad nuclear operativa constituía menos de una tercera parte de los 420 GW, aproximadamente, ordenados desde que se compraron los primeros reactores de potencia en Gran Bretaña, a principios de los años cincuenta.⁵

Cuadro 1: CAPACIDAD NUCLEAR OPERATIVA EN EL MUNDO

País	Número de reactores de potencia en operación	Capacidad operativa (GW)	Porcentaje de la capacidad operativa en el mundo
1. Argentina	1	0.3	< 1
2. Bélgica	3	1.6	1
3. Bulgaria	2	0.8	< 1
4. Canadá	10	5	4
5. Checoslovaquia	2	0.5	< 1
6. República Democrática Alemana	6	2	2
7. Finlandia	3	1.5	1
8. Francia	16	8	6
9. India	3	0.6	< 1
10. Italia	4	1.4	1
11. Japón	22	14.5	11
12. Países Bajos	2	0.5	< 1
13. Paquistán	1	0.1	< 1
14. Corea del Sur	1	0.6	< 1
15. España	3	1	< 1
16. Suecia	6	4	3
17. Suiza	4	2	2
18. Taiwán	2	1	< 1
19. Reino Unido	33	7	5
20. Unión Soviética	30	14	11
21. República Federal de Alemania	13	9	7
TOTAL SIN ESTADOS UNIDOS	167	76	59
22. Estados Unidos	74	55	41
TOTAL MUNDIAL	241	131	100

FUENTE: Kidder, Peabody, & Co., "Electric Utility Generating Equipment: Status Report on Worldwide Nuclear Reactors", (octubre de 1979). Tomado de Irvin C. Bupp, op. cit., p. 50.

Un verdadero maremágnum de reducciones en los programas nucleares, de cancelaciones, moratorias y retrasos, han puesto a la industria nuclear a la defensiva y aun en peligro de desaparecer. El fenómeno obedece a una diversidad de causas además de las económicas. Por un lado se encuentran las cuestiones técnicas, entre las cuales se pueden citar la controversia en torno a la llamada "economía del plutonio", a la reelaboración (o reprocesamiento) y al reactor reproductor rápido, así como las relativas a la fase final del ciclo de combustible, en particular las concernientes a la gestión y el almacenamiento de los desechos nucleares; figura también el problema de la incompatibilidad de las plantas nucleares grandes con respecto a las redes de distribución pequeñas o descentralizadas de muchos países.

Está, por otra parte, el problema candente de la seguridad nuclear, convertido en cuestión política a raíz del accidente de Three Mile Island. Tres asuntos principales concurren en el debate nuclear: la seguridad operativa de los reactores nucleares, la seguridad ambiental vinculada con los desperdicios altamente radioactivos, y los efectos para la salud de la radiación de bajo nivel. Este debate ha adquirido características y sesgos particulares en cada país, pero por regla general ha constituido un freno al desarrollo o la consolidación de los programas nucleares.

Finalmente, un tercer conjunto de problemas está representado en el peligro de que la energía nuclear contribuya a una mayor proliferación de armas nucleares. No se ha logrado un acuerdo internacional sobre la relación que hay entre expansión del potencial nuclear y diseminación de armas nucleares, y se han originado opiniones divergentes con respecto a la reelaboración, la efectividad del sistema de salvaguardas del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), las restricciones al comercio de equipo y materiales nucleares, y la transferencia de tecnología. Una

lucha sorda entre concepciones y políticas diferentes sobre qué debe constituir y cómo debe funcionar el actual régimen nuclear mundial ha deteriorado sensiblemente la confianza internacional que prevaleció durante los años florecientes de la industria nuclear, estrechando el mercado nuclear y reduciendo el nivel de cooperación en la materia.

CRECIMIENTO CON ALTIBAJOS

La nuclear es la única energía descubierta y desarrollada a escala industrial en el presente siglo y se distingue por haber alcanzado el estadio de utilización mundial en menos de cuarenta años. No deja de ser impresionante que en sólo un tercio de siglo a partir de la explotación comercial de los primeros reactores, la energía nucleoelectrónica proporcione ya el 8% de la electricidad generada en el mundo.

Es preciso notar, sin embargo, que aun cuando la energía nuclear ha seguido en su desarrollo una tendencia ascendente, lo ha hecho pasando a través de etapas sucesivas de crecimiento y depresión. En efecto, la alternancia de ciclos de optimismo y crecimiento, por un lado, y de ciclos de relativa desilusión y depresión en el mercado nuclear, por el otro, ha marcado una constante en la historia de esta forma de energía. Vista dentro de este marco, la crisis por la que atraviesa actualmente la industria nuclear no constituye un fenómeno nuevo. La novedad estriba en las características de la crisis, en su gravedad, duración y complicación crecientes, que muchos interpretan como posibles síntomas de un estado de coma en el que ha caído la energía nuclear y del que podría no volver a recuperarse. Es decir, existe la posibilidad de que la presente moratoria de facto, que de acuerdo con los antecedentes debiera ser transitoria, se convierta en una moratoria permanente y definitiva.

Un breve recuento histórico ayudará a entender mejor la situación presente. El primer ciclo de crecimiento de la energía nuclear, de 1955 a 1958, comenzó con la decisión del gobierno británico de emprender un programa nucleoeléctrico de gran envergadura y con el entusiasmo provocado por la primera conferencia de Ginebra sobre los usos pacíficos de la energía nuclear, la cual puso fin a la política del secreto nuclear practicada desde los años de la guerra. Durante este período aparecieron los primeros prototipos de reactores comerciales en Gran Bretaña, los Estados Unidos y la Unión Soviética, y se dieron a conocer tanto el informe de la Comunidad Económica Europea, que recomendaba un compromiso decisivo con la energía nuclear, como una nueva decisión del gobierno británico, en 1957, de acelerar su ya ambicioso programa.

A este primer ciclo, en el que el entusiasmo por las perspectivas del desarrollo nucleoeléctrico alcanzó proporciones de euforia, siguieron varios años de repliegue en los que algunas de las primeras expectativas no llegaron a materializarse. Un gran desánimo se apoderó de la comunidad nuclear al constatar que la falta de experiencia técnica e industrial no había sido debidamente ponderada.

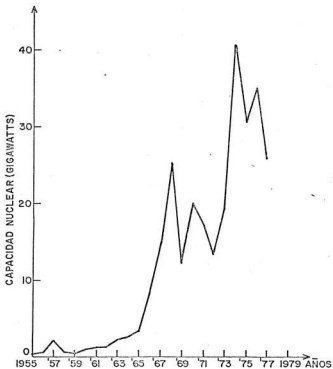
Este estado de decaimiento no duró mucho tiempo. A principios de los años sesenta empezó a despuntar un nuevo ciclo de crecimiento, estimulado por la entrada en operación de dos grandes reactores de agua ligera en los Estados Unidos y por la primera compra de una planta nuclear sin que mediaran subsidios del gobierno y a un precio ampliamente competitivo con el de las plantas a base de combustibles convencionales. En 1962, la Comisión de Energía Atómica presentó un informe al Presidente Kennedy en el que predeciía que la mitad de la energía eléctrica por producir en los Estados Unidos hacia el año 2000 provendría de la fisión nuclear. De 1962 a 1968 la industria experimentó un

período de rápida expansión, con tasas anuales de incrementos crecientes. Sin embargo, al término del ciclo las expectativas volvieron a debilitarse y durante los tres o cuatro años siguientes los niveles de nuevas órdenes sufrieron grandes fluctuaciones.

A estos años de incertidumbre y depresión siguió una nueva tendencia a la recuperación de la industria nuclear, un tercer ciclo de expansión que se inició en 1971-1972 y que, en gran medida como consecuencia de la crisis petrolera de 1973, se tradujo en una tasa creciente de nuevas órdenes en los Estados Unidos. Los programas nucleares de otros países industrializados como Francia, Alemania Federal, Italia, España y la Unión Soviética, recibieron también un fuerte impulso; países que carecían de energía nuclear empezaron a comprar reactores, algunos en gran escala como Irán, Brasil y Taiwán; y, finalmente, otros países como Corea del Sur y Paquistán, demostraron su nuevo interés firmando cartas de intención y elaborando planes ambiciosos a largo plazo.

Este último ciclo de crecimiento concluyó hacia mediados de la década, cuando se inició el período de depresión que continúa hasta el presente. De esta manera, la industria nuclear se ha desarrollado siguiendo una serie de ciclos que se sobreponen a una tendencia de expansión subyacente, como puede verse en la Gráfica 1.⁶

GRAFICA 1. CAPACIDAD NUCLEAR QUE ENTRA ANUALMENTE
EN FASE DE CONSTRUCCION 1955-1975



FUENTE: AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA,
"POWER REACTORS IN MEMBER STATES" VIENA, 1977.

UN FUTURO INCIERTO

La pregunta acuciante que ha venido ocupando a muchos observadores, así partidarios como enemigos de la energía nuclear (aunque por razones diametralmente opuestas), es: ¿qué significa el actual ciclo de depresión con respecto al desarrollo futuro de la energía nuclear? Las respuestas recorren toda la amplia gama que lleva del optimismo al pesimismo. Para algunos éste es un período más difícil y prolongado que los anteriores pero transitorio como ellos, porque tan pronto como se superen los problemas macroeconómicos a escala mundial que afectan a la industria nuclear y se presenten nuevos requerimientos de energía, se sucederá inevitablemente una nueva etapa de expansión.

Otros analistas relacionan la posibilidad de recuperación con la necesidad de modificar las condiciones de la industria misma en todas las fases del ciclo de combustible y en todos los niveles del diseño, construcción y operación de las instalaciones nucleares, a fin de que la energía nuclear se convierta en una fuente más rentable y segura de energía. En opinión de algunos, la escena actual evidencia los fracasos de un sistema particular de generación de energía nucleoelectrónica pero no el fin de ésta; la industria nuclear se encuentra apenas en la etapa adolescente de su desarrollo y está destinada a seguir creciendo por un nuevo camino, con otra tecnología, sobre bases diferentes.

Otros, finalmente, estiman que la industria nuclear se halla atrapada en sus propias complejidades insolubles y que la presente situación de parálisis la conduce lentamente pero inexorablemente hacia una muerte por inanición. Esta es sin duda alguna la suerte que desean y pronostican los enemigos acérrimos de la energía nuclear, para quienes el pesado fardo de los costos económicos no se aligerará con el tiempo sino al contrario, los peligros para la salud que en

trañan los reactores nucleares no los conjurará ningún progreso técnico o regulatorio, y no se establecerá ningún mecanismo internacional tan efectivo que cancele por completo la posibilidad de desviar materiales fisionables hacia la fabricación de artefactos nucleares.

Sin embargo, ninguno de los pronósticos o vaticinios anteriores ofrece una respuesta confiable y completa al interrogante sobre el futuro de la energía nuclear. Son tantas las variables que inciden en su desarrollo y tan encontrados los intereses tanto a favor de su crecimiento como de su desaparición, que nadie puede contestar con seguridad a esta pregunta. Muchas de las proyecciones de la década pasada fallaron sobre todo porque se sobreestimó la velocidad de expansión de los programas nucleares. Además, no se tiene un buen precedente histórico en el campo de las tecnologías de energéticos que permita dilucidar si los problemas que enfrenta la energía nuclear impedirán su desarrollo en un futuro indefinido o si lo que ahora ocurre no es más que un fenómeno pasajero.

La pregunta sobre el futuro de la energía nuclear abarca gran cantidad de cuestiones. Por ejemplo, los casi 300 reactores en construcción a principios de esta década ¿serán concluidos dentro de lo planeado o siquiera concluidos? Una respuesta afirmativa tal vez sólo se aplique con certeza a los reactores parcialmente construidos en Francia y en la Unión Soviética. ¿Cesarán por completo las moratorias sobre nuevas órdenes, de forma tal que la capacidad de generación nuclear en los años noventa crezca por encima del límite mundial de los 420 GW que se alcanzaría si se cumple con todas las órdenes pendientes? ¿O habrá nuevas oleadas de cancelaciones que afecten a muchas de las plantas que están en vías de ser entregadas? ¿Cuántas de las plantas que estaban funcionando a principios de la presente década serán cerradas prematuramente antes de que ésta termine?

Si resulta difícil dar respuesta a estas cuestiones para cada país, mucho más lo es para el mundo en general. Sin embargo, para tener una cierta idea de lo que podría deparar el decenio de los ochenta, puede ser útil considerar dos grandes grupos de países. El primero estaría formado por quince países, cada uno con buenas posibilidades de tener una capacidad nuclear operativa superior a los 5 GW para fines de la década (ver Cuadro 2). El otro grupo lo integrarían 34 países capaces de tener una capacidad instalada dentro de un rango de 0.5 a 5 GW para la misma fecha (ver Cuadro 3).

Cuadro 2: PAISES QUE PUEDEN ALCANZAR UNA CAPACIDAD NUCLEO-ELECTRICA SUPERIOR A LOS 5 GW PARA FINES DE LOS 1980s.

Pais	Capacidad probable (GW)
1. Estados Unidos	50-150
2. Francia	45-60
3. Unión Soviética	30-40
4. República Federal de Alemania	30-40
5. Japón	25-35
6. Reino Unido	10-15
7. Canadá	10-15
8. Suecia	10
9. República Democrática Alemana	5-10
10. España	5-10
11. Taiwán	5-7
12. Corea del Sur	4-8
13. Suiza	4-7
14. Bélgica	4-6
15. Brasil	3-6

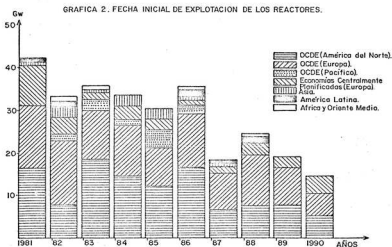
Cuadro 3: PAISES QUE PUEDEN ALCANZAR UNA CAPACIDAD NUCLEO-ELECTRICA DE 0.5 a 5 GW PARA FINES DE LOS 1980s. (los asteriscos indican alguna capacidad operativa en 1979)

1. Luxemburgo	13. Hungría	25. Israel
2. Austria	14. Bulgaria*	26. Irán
3. Portugal	15. Rumanía	27. Iraq
4. Dinamarca	16. China	28. Egipto
5. Finlandia*	17. Italia*	29. Libia
6. Irlanda	18. México	30. Sudáfrica
7. Países Bajos*	19. Argentina*	31. Austria
8. Yugoslavia*	20. Indonesia*	32. Nueva Zelandia
9. Grecia	21. Filipinas	33. Venezuela
10. Turquía	22. Tailandia	34. Corea del Norte
11. Polonia	23. India*	
12. Checoslovaquia	24. Pakistán*	

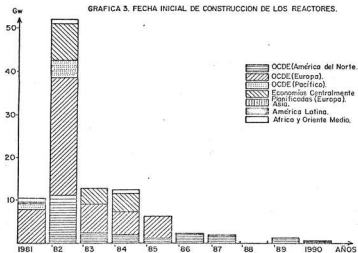
FUENTE: I.C. Bupp, op. cit., p. 62.

Ninguno de estos dos cuadros representa un "modelo" o un "escenario" sino meras especulaciones en base a información abundante que maneja uno de los estudiosos de la industria nuclear más críticos y objetivos.⁸ El Cuadro 3 en particular no es tanto una predicción sobre el número de países que adquirirán energía nuclear instalada durante los años ochenta, cuanto una aproximación a las fronteras probables de la distribución geográfica de los programas nucleoelectrónicos de una escala relativamente pequeña para fines del decenio. Lo importante estriba en determinar las dimensiones de cada uno de esos programas posibles. En la mayoría de los países listados en el cuadro la única perspectiva realista permite considerar la construcción de una o dos plantas nucleares en ese período.

Las realizaciones en el campo de la energía nucleoelectrónica durante la primera mitad de la presente década pueden preverse con un grado bastante elevado de precisión, porque debido a los largos períodos de maduración de los proyectos electronucleares los acontecimientos de estos años han quedado determinados por las decisiones que se tomaron a principios de los setentas. En la Gráfica 2 -más precisa que los cuadros anteriores por cuanto se basa en los reactores que están en construcción o cuya construcción ha sido encargada en firme- se puede observar el aumento anual de la capacidad nuclear durante el período 1980-1990. Según estas estimaciones, en 1981 se añadirían unos 43 GWe a la capacidad nuclear existente; para el período 1982-1985 se añadirán anualmente entre 30 y 35 GW/e, y a partir de 1987 la capacidad nuclear añadida será del orden de 15 a 25 GWe cada año.⁹



La escena se ensombrece, sin embargo, si se considera la fecha inicial de la construcción de reactores para el mismo período (Gráfica 3). En 1981 estaba planeado comenzar la construcción de reactores con una capacidad de algo más de 10GWe, y en 1982 la de unos 52 GWe. Después de 1982 la construcción de centrales nucleares ya encargadas en firme disminuye drásticamente: unos 12 GW en 1983 y 1984, y a menos de 5 GW durante los años posteriores a 1985.¹⁰



FUENTE: OIEA BOLETIN, VOL. 23 N° 3.

En las gráficas anteriores se ve con claridad cómo la industria nuclear continúa beneficiándose del clima favorable de la primera mitad de los años setenta, no obstante la declinación creciente, a medida que avanza la década, en los inicios de construcción y explotación de reactores.¹¹

Sin embargo, ya se perfila también el impacto de la situación actual de depresión, que se hará más visible aún en la década siguiente. Si ahora no se encargan nuevos reactores y tomando en cuenta los largos periodos que han de transcurrir entre la fecha de encargo en firme de las centrales nucleares y el comienzo de su explotación, parece no sólo probable sino además inevitable que a partir de 1990 se produzca una desaceleración general de los programas nucleoeléctricos, con graves consecuencias para la industria nuclear de muchos países.¹²

Debido a las incertidumbres políticas y económicas, nacionales e internacionales, que se ciernen sobre la energía nuclear, la determinación del curso que ésta seguirá en la próxima década no pasa de ser una mera especulación por lo que se refiere a la mayoría de los países. Llamam la atención a este respecto las enormes discrepancias que hay entre los diversos estudios proyectivos sobre los próximos veinte a cuarenta años. Esto se debe fundamentalmente a la forma como se visualizan los actuales impedimentos al desarrollo de la industria nuclear. Casualmente, muchos estudios e informes oficiales parten del supuesto optimista de que esos impedimentos irán desapareciendo en los años por venir, y con este enfoque lo único que logran es seguir fomentando la confusión sistemática entre las expectativas y los hechos, entre las aspiraciones y la realidad, que ha sido un rasgo característico de la empresa nucleoeleéctrica en sus treinta años de historia.¹³

No es posible predecir con exactitud cuánto crecerá la energía nucleoeleéctrica en el mundo durante ésta y las próxi^{mas} décadas, pero lo menos que se puede afirmar con certeza es que el crecimiento de los ochentas será sumamente modesto en comparación con las expectativas del pasado. En lo que resta del siglo, los mercados combinados de países desarrollados y en desarrollo probablemente ocuparán menos

del 25 y no más del 50 por ciento de la capacidad con que la industria de reactores del mundo occidental estaba equipada en 1979.¹⁴

Lo que ocurra en estos años tendrá una repercusión decisiva en el desenvolvimiento futuro de la energía nuclear, y de ahí la trascendencia de la crisis actual. Aquellas industrias nucleares que no reciban órdenes de sus propios países o del extranjero enfrentarán tarde o temprano la misma suerte de su producto: el cierre. Cabe esperar, sin embargo, que no todos los países dotados de tecnología nuclear compartirán semejante destino, o al menos no al mismo tiempo.

Esta cuestión se halla estrechamente vinculada al aspecto más apremiante de todo el debate nuclear: la necesidad de la energía nucleoelectrónica. Propositiones proverbiales como aquella según la cual la energía nuclear es la fuente de energía "más barata, limpia y segura" de todas, o la de que es "una alternativa energética que tiene un papel importante que desempeñar", han estado en la mira del movimiento antinuclear desde hace muchos años y, sin embargo, muchos gobiernos las siguen defendiendo con entera convicción.

Pero, ¿es en verdad una alternativa necesaria? La respuesta depende de las condiciones de cada país y no es posible dárla en general. En cada caso se deberán considerar cuestiones tales como la disponibilidad o viabilidad de otras fuentes energéticas, las necesidades previsibles de capacidad de carga para generar electricidad, los problemas que plantea el uso intensivo del carbón, las restricciones macroeconómicas al gasto público y, acaso más importante que todo lo anterior, las cuestiones relativas a la seguridad de operación de los reactores y a la seguridad ambiental de los desechos radioactivos.

En el ambiente de euforia que acompañó al nacimiento de la energía nucleoelectrónica se proclamó que ésta llegaría a ser tan abundante y barata que no habría necesidad de medirla. Luego se promovió su explotación en gran escala atendiendo a la contribución que podría hacer para resolver las necesidades de un abastecimiento seguro de energía. En fechas más recientes se ha reconocido, aun en círculos oficiales, que la energía nuclear tiene sus serios bemoles pero que a pesar de ello se justifica como fuente de transición hacia las energías del futuro, incluso como la "vara con que se medirán mañana las demás formas de energía".¹⁵

La tónica y la especificidad de los argumentos legítimos han cambiado con el tiempo, pero el balance que arroja la tecnología nuclear hasta el momento es el de una contribución tan sólo marginal, temporal y costosa a los requerimientos mundiales de energía.

¿Cómo se explica este fenómeno? ¿Por qué la energía nucleoelectrónica, de la que tanto se esperaba, ha desempeñado un papel tan deslucido? ¿Qué factores y circunstancias concurren para precipitarla en una crisis de las actuales proporciones? En las secciones que siguen analizaremos con mayor detalle las causas estructurales más importantes del panorama tan sombrío que la industria nuclear contempla.

CAPITULO II

LA ILUSION DEL ATOMO BARATO

"Una vinculación íntima y permanente entre leyenda y experiencia es el tema más obvio en la historia de la fisión nuclear. Tan sólo un poco menos evidente ha sido la extravagancia de la profecía -profecía de esperanza así como de desencanto. Tanto es lo que parece haber estado siempre en juego; sin embargo, ha sido difícil en todo tiempo discernir entre la imagen y la realidad, entre la promesa y la realización".

Irving C. Bupp
Jean Claude Verian

La energía nuclear controlada para fines pacíficos ha sido objeto de predicciones y expectativas casi desde el momento en que se descubrió la fisión nuclear. Con el paso del tiempo algunas de esas predicciones demostraron ser erróneas y otras exageradas, distorsión ésta que parece constituir una constante en la historia de la nucleoelectricidad. La primera de tales predicciones decidió no sólo la conclusión de la Segunda Guerra sino el curso de la historia posterior. En 1940, los alemanes, al igual que los franceses, cometieron el error de creer que la combustión era más fácil de dominar que la explosión atómica y a ella se dedicaron durante el conflicto bélico, mientras que los aliados anglosajones, con Estados Unidos a la cabeza, decidieron comprometer todos sus recursos científicos y técnicos a la fabricación de la bomba. El éxito político y militar de esta decisión implicó, sin embargo, una consecuencia funesta para el desarrollo ulterior de la energía nucleoelectrónica que, al haber nacido de una reconversión de las instalaciones y

artefactos militares hacia propósitos civiles, quedó marcada para siempre con el pecado de origen.¹

Al término de la guerra el grupo de sabios encargados del Proyecto Manhattan elaboró las primeras predicciones sobre la realización de la reacción en cadena, la existencia del plutonio y la posibilidad de enriquecer el uranio por separación isotópica. A pesar de las dificultades para evaluar los efectos de un descubrimiento que se hallaba en sus comienzos, estos científicos preveían dos grandes sectores de aplicación civil: la producción de energía controlada y la utilización de radiaciones y radioelementos en la ciencia y la industria, campo éste al que auguraban un mejor porvenir que al primero. Tal predicción se vería también corregida con el tiempo.

A finales de la década de los cuarenta se pronosticaba que diez o veinte años más tarde la energía nuclear se podría aplicar a casos especiales como la construcción de centrales en las regiones polares o desérticas, y en los decenios siguientes agregarse masivamente a las fuentes clásicas, con las que competiría hasta llegar a suplantarlas. Las previsiones demostraron ser relativamente exactas en cuanto a la escala del tiempo, pero inexactas y muy optimistas en lo relativo a la utilización y costo de esta energía en regiones apartadas, en donde lo adecuado habría de ser la instalación de reactores de menor tamaño y más costosos.²

Muchas otras predicciones se hicieron sobre las potencialidades de la energía nuclear controlada, pero lo que más interesa destacar aquí es que ya desde la cuna de la industria nuclear estuvo presente la esperanza de producir electricidad con un átomo barato, capaz de competir en términos económicos y ambientales con otras formas de energía: "La electricidad barata parece haber sido siempre una de las pro

mesas más importantes de la fisión nuclear".³ Esta promesa se vio muy fortalecida durante los primeros diez años de desarrollo de la industria nuclear, entre 1954 y 1964.

Este período comienza con la realización de los primeros prototipos de reactores experimentales -en Estados Unidos, Gran Bretaña, Francia, Noruega, Holanda y Suecia- y con la instalación de los primeros reactores de potencia en la Unión Soviética (1954), Gran Bretaña (1956) y los Estados Unidos (1957). La entrada en escena del petróleo a mediados de los años cincuenta constituye un parteaguas en la historia de los energéticos, porque va a destronar al carbón para convertirse en la fuente principal de energía primaria en el mundo occidental.

Durante estos años, los Estados Unidos producen su electricidad a un costo variable dependiendo de las regiones, pero netamente inferior al de las redes europeas. El país posee reservas inmensas de carbón y de petróleo; el gas natural cobra una importancia creciente como fuente de energía primaria; los combustibles fósiles son menos costosos que en Europa occidental y la energía calorífica producida con ellos es dos veces más barata que en Francia. Estas circunstancias contribuirán a que la energía nuclear se vuelva competitiva más pronto en Europa que en los Estados Unidos.⁴

Las expectativas sobre la competitividad de la energía nuclear desempeñaron un papel decisivo en la elaboración de los primeros programas nucleares y en la adopción de la tecnología nortamericana por la mayoría de los países europeos que iniciaban esos programas. Varios factores se unieron para hacer de tales expectativas el sueño que habría de dominar el mercado nuclear hasta la primera mitad de la década de los setenta.

EL ATOMO PACIFICO

El histórico discurso "Atomos para la paz", que el Presidente Eisenhower pronunció ante la Asamblea General de Naciones Unidas en diciembre de 1953, puede ser considerado el primer acontecimiento importante en esa dirección. En esencia, los Estados Unidos ofrecían compartir a un ritmo acelerado los frutos de su gran adelanto tecnológico en materia de aplicaciones civiles de la energía nuclear a cambio de la aceptación de condiciones concebidas para controlar los efectos desestabilizadores que podrían derivar de esa asistencia.

La propuesta representaba un cambio de enfoque innovador con respecto a la política seguida hasta entonces por el gobierno norteamericano. En 1947 había fracasado en el seno de Naciones Unidas la primera tentativa de desarme nuclear internacional. En efecto, en el Plan Baruch - Lilienthal, Estados Unidos propuso el establecimiento de un sistema de gestión nuclear internacional en todo el mundo, y sobre todo en la Unión Soviética, antes de renunciar a sus bombas, pero ésta última exigía proceder primero al desarme nuclear norteamericano para pasar luego a la consideración del control internacional. No fue posible superar este antagonismo. Por otro lado, las explosiones atómicas realizadas por la Unión Soviética (1949) y Gran Bretaña (1954), y la bomba termonuclear soviética en agosto de este último año, significaron el fin del monopolio nuclear norteamericano. Washington reconoció el fracaso de su política del secreto y decidió cambiar de estrategia.

Bajo un eslogan conciso y sugerente el discurso de Eisenhower combinaba una motivación compleja y sutil con objetivos igualmente complejos. La propuesta constituía un importante esfuerzo por manejar el equilibrio político y militar

internacional. Subyacente a la retórica de compartir los frutos del adelanto científico y técnico nortamericano había un razonamiento pragmático: favorecer el logro de algunos objetivos de la política exterior de los Estados Unidos mediante la promoción de la energía nuclear. Uno de ellos era controlar el desarrollo de esa energía en Europa occidental como un elemento de mayor seguridad frente a la amenaza militar soviética. Otro, fomentar el desarrollo de la tecnología norteamericana de reactores como una ayuda a la integración económica y política de Europa.⁵

El impacto innovador del enfoque "Átomos para la paz" residía en la definición de la política y el marco conceptual que habría de controlar el pensamiento de Estados Unidos sobre la energía nuclear en los siguientes veinticinco años. Su consecuencia más inmediata fue la revisión completa de la Ley de Energía Atómica. La nueva ley federal de 1954 transfirió la energía nuclear a la industria privada, permitiendo a las compañías eléctricas poseer y operar plantas de potencia nuclear sujetas a las licencias de la Comisión de Energía Atómica. Asimismo, autorizó a los gobiernos y a las compañías eléctricas extranjeras la construcción de plantas nucleares de "demostración" en cooperación con la industria norteamericana de reactores. Poco después la Comisión de Energía Atómica creó incentivos especiales para la inversión extranjera en proyectos semejantes.⁶

El efecto institucional más importante que suele vincularse al discurso de Eisenhower fue la creación, en 1957, del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) con el encargo de promover los usos pacíficos de la energía nuclear. Sin embargo, se le critica el haber fomentado el desarrollo de ciertos aspectos de la energía atómica antes de que ésta fuera viable en términos económicos: "La Política ("Átomos

para la Paz") pudo haber sido exagerada y no del todo bien pensada en su ejecución en un momento en que se sabía muy poco sobre el ritmo y costo del desarrollo nuclear..."⁷

EL FIN DEL SECRETO ATOMICO

En 1955 hubo varios hechos que contribuyeron de manera decisiva a difundir la imagen de una energía nuclear cargada de promesas. En febrero de ese año, el gobierno británico sorprendió al mundo industrial y político con el anuncio de un extenso programa nucleoelectrico. Los ingleses preveían que para 1963 el costo del kilowatio/hora de origen nuclear sería competitivo con el de otras centrales clásicas. En agosto, en la sesión de apertura de la Primera Conferencia de Ginebra sobre los usos pacíficos de la energía nuclear, el plan fue confirmado con el respaldo de cifras muy ambiciosas: construir unos dos millones de kilowatios de capacidad nuclear en diez años, y satisfacer mediante el "átomo pacífico" casi la mitad de las necesidades de electricidad de Gran Bretaña para 1975.⁸ El asombro causado por tales proyectos se explicaba en razón de que Gran Bretaña había desarrollado hasta el momento la más amplia capacidad en materia de energía nucleoelectrica.

El entusiasmo causado por el anuncio británico se transformó en euforia gracias a las deliberaciones y descubrimientos de la Conferencia de Ginebra.⁹ Con una concurrencia sin precedentes -1,500 delegados de todo el mundo- la reunión se convirtió en un acontecimiento científico y político trascendental porque en ella llegó a su fin la política del secreto observada en muchos campos de la fisión nuclear durante los años anteriores. La comunidad científica y técnica del mundo entero pudo conocer por primera vez las caracte-

rísticas técnicas de los procedimientos utilizados en casi todas las etapas del llamado "ciclo de combustible nuclear" con excepción de los datos relativos a las reservas nacionales de uranio, de cierta información sobre los métodos de separación isotópica del uranio y de algunos detalles sobre la fabricación de los elementos combustibles y su funcionamiento en los reactores.¹⁰

La divulgación masiva de conocimientos que tuvo lugar en Ginebra fue interpretada como el primer paso hacia la difusión de los usos pacíficos de la energía nuclear en todo el mundo. El afamado científico indio Dr. Homi Bahba, presidente de la conferencia, había proclamado al inaugurarla que la energía nuclear estaba destinada a desempeñar un papel muy importante tanto en los países avanzados como en aquellos en vías de desarrollo. Las asombrosas revelaciones de la conferencia así parecieron confirmarlo.

Curiosamente, el velo descorrido al secreto atómico en la Conferencia de Ginebra fue arrojado sobre las dificultades políticas, los obstáculos técnicos y los problemas económicos de la nueva fuente de energía. Los Estados Unidos supieron aprovechar el clima de euforia para concertar "acuerdos de cooperación" aún cuando todavía no tenían ninguna planta nuclear en existencia. Para fines de 1955 habían firmado más de veinte convenios bilaterales con países de la Organización Europea de Cooperación Económica. En 1956, la Comisión de Energía Atómica y el Banco de Exportación e Importación acordaron actuar conjuntamente en el financiamiento de reactores de demostración en los países que suscribieran ese tipo de contratos con el gobierno de Estados Unidos. Los préstamos sólo podían ser utilizados para comprar equipo, materiales y servicios técnicos de la industria nuclear norteamericana.¹¹

Por estas fechas existía todavía en Europa y Norteamérica la creencia en el liderazgo del programa nuclear inglés, concentrado en el concepto "Magnox" (a base de uranio natural moderado con grafito y refrigerado con gas carbónico), frente al norteamericano, disperso en varios diseños de reactor (a base de uranio enriquecido y agua ligera) al mismo tiempo. Muchos observadores estaban convencidos incluso de que el diseño británico era el mejor candidato a contribuir en forma inminente y significativa a la capacidad mundial de energía eléctrica.

Esta visión habría de cambiar en pocos años. Para fines de los sesentas todos los países con programas nucleares de Europa occidental, con excepción de Gran Bretaña, habían elegido el reactor norteamericano de agua ligera. La Comisión Europea de Energía Nuclear (Euratom) desempeñó un papel decisivo a favor de dicha tecnología.

EL TRIUNFO DEL REACTOR NORTEAMERICANO EN EUROPA

*La crisis de Suez de 1956 reforzó la convicción generalizada de que era esencial para Europa un desarrollo rápido de la energía nuclear. Con objeto de estudiar los requerimientos futuros de energía de los seis países de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero (CECA), futuros miembros de Euratom, se elaboró el informe Un objetivo para Euratom. Sus autores, llamados "los tres sabios",¹² afirmaban que la CECA necesitaba con urgencia nuevas fuentes de energía y recomendaban la instalación, para 1967, de 15,000 MW de capacidad de generación nuclear, o sea alrededor de la cuarta parte del sistema de suministro eléctrico del Mercado Común en esa fecha. El informe recomendaba una cooperación estrecha

con Estados Unidos. Esto constituía un desafío al consenso prevaleciente de que la tecnología del gas-grafito desarrollada por Francia y Gran Bretaña era la más avanzada o probada.* Para los autores del documento, la tecnología del reactor de agua ligera había alcanzado un progreso semejante. Más aún, el informe dejaba entender que "la unificación nuclear de Europa occidental abriría pronto el Continente a la tecnología superior de la industria nuclear norteamericana".¹³

* No es difícil entender por qué el informe Un objetivo para Euratom favorecía la opción del reactor nuclear norteamericano. Louis Armand era un fervoroso creyente en la superioridad tecnológica de los Estados Unidos, la que veía fuertemente vinculada a la organización misma de la sociedad norteamericana. Por otra parte, el documento fue redactado con ayuda de funcionarios norteamericanos que acompañaron a los tres europeos durante su viaje por Estados Unidos: -

"La influencia de estos expertos fue muy grande. Ellos proporcionaron los datos técnicos para las estimaciones de energía y garantizaron a los Tres Sabios el apoyo total de Estados Unidos para alcanzar las metas de construcción nuclear. Ellos hicieron pronósticos color de rosa sobre el desempeño económico de los reactores norteamericanos de agua ligera que aún estaban en construcción. Euratom no tenía personal técnico ni datos independientes que pudieran contraponer a las estimaciones norteamericanas".¹⁴

* Aun cuando no todos los miembros de la CECA compartían ese entusiasmo por la tecnología norteamericana, ésta acabó por ser adoptada. "Para 1958, la mayoría de los países europeos, incluyendo a Francia, habían firmado acuerdos bilaterales con los Estados Unidos para la entrega de cantidades limitadas de material fisiónable destinado a investigación."

En noviembre de ese año se suscribió un contrato para la construcción (según patentes norteamericanas) de un millón de kilowatios de origen nuclear en los países miembros de Euratom. De esta manera, el Tratado de Euratom echó los cimientos de lo que llegaría a ser, en poco más de 10 años, un sistema europeo de suministro nuclear basado totalmente en la tecnología norteamericana.

* Euratom no sólo fue el Caballo de Troya del reactor norteamericano de agua ligera en Europa, sino también el campo de prueba de esta tecnología fuera de Estados Unidos. En efecto, la planta de Shippingport, Pennsylvania, recién había abierto sus puertas en diciembre de 1957, y las perspectivas de la competitividad económica de la energía nuclear seguían siendo muy inciertas. En realidad, y al revés de como se veía desde Europa, el desarrollo industrial de la energía nuclear en Estados Unidos al momento del acuerdo de cooperación con Euratom estaba aún en la infancia.

* El retraso en el desarrollo de la industria nuclear norteamericana era el resultado de dos factores básicos. Por un lado, la política de energía nuclear de Estados Unidos durante la posguerra estuvo supeditada al objetivo militar y estratégico. Mantener el monopolio atómico y acrecentar la disponibilidad de materiales fisionables para explosivos, fueron las dos prioridades máximas del gobierno de Truman. A principios de 1952, el imperativo fundamental en los laboratorios nacionales consistía en perfeccionar el diseño de reactores cuyo único propósito era producir plutonio para la fabricación de bombas: "Un reactor productor de plutonio que pudiera también producir electricidad barata constituía un objetivo secundario".¹⁵

Por otro lado, durante los años cincuenta tuvo lugar una persistente controversia política en torno a la intervención del Estado y el papel de la empresa privada en la comercialización de la energía nuclear, la cual frenó y complicó el paso a esta etapa.⁶ La legislación de 1954 permitía la propiedad privada de los reactores civiles, pero la Comisión de Energía Atómica, dirigida por el republicano Lewis Strauss, interpretaba esta disposición como un mandato a dejar en manos de la industria privada el desarrollo de esa tecnología. Los parlamentarios demócratas en el Comité Mixto del Congreso pugnaron, sin éxito, para que el Estado asumiera la responsabilidad financiera de los diversos prototipos de centrales, en particular de los reactores más grandes. Había también división de posiciones dentro del sector eléctrico privado, entre aquellos productores que buscaban una asistencia gubernamental y una gran mayoría que la rechazaba por considerarla como un principio de nacionalización. Finalmente, la Ley Price-Anderson de 1957 otorgó mayores incentivos a las compañías eléctricas así como garantías del gobierno federal por la reclamación de daños.¹⁶

El retraso del programa nuclear norteamericano impedía despejar la incógnita sobre los costos reales de la energía nuclear. Sin embargo, los acuerdos de cooperación suscritos dentro del programa "Átomos para la paz" hicieron posible emprender en Europa los proyectos que se veían obstaculizados en Estados Unidos.⁷ Las empresas manufactureras norteamericanas supieron aprovechar la oportunidad. Los tres primeros "reactores de Euratom" -una central nuclear de 150 MW vendida en Italia en 1958, otra de 380 MW a Francia-Bélgica y una de 237 MW a Alemania Federal, ambas en 1961- fueron otros tantos triunfos sobre el sistema británico de gas-grafito, cuya excelencia técnica compartía, si no es que ya aventajaba, el reactor de agua ligera.¹⁷

Los intereses comerciales de Gran Bretaña no fueron los únicos perjudicados por esos contratos. Aunque con un programa menos ambicioso, Francia seguía de cerca los progresos de los ingleses y destinaba un importante presupuesto al desarrollo experimental del reactor de uranio natural moderado con grafito y refrigerado con gas comprimido, cuya ulterior comercialización en Europa constituía un objetivo primordial de la política nuclear francesa. La Francia de de Gaulle veía en los avances norteamericanos una amenaza a sus pretensiones de lograr un desarrollo atómico europeo e independiente. Su proyecto de una fábrica de separación isotópica en el seno de Euratom para hacer frente al monopolio norteamericano del enriquecimiento había fracasado en 1957. Igual fin tuvieron los esfuerzos desplegados a principios de los sesentas para modificar la orientación del programa de Euratom.¹⁸ Ello hizo que la actitud de Francia en la Comisión se volviera más y más negativa. La combinación de un antagonismo sistemático de Francia hacia ese programa y la declinación del sentimiento de urgencia en Europa por una construcción masiva de capacidad nuclear condujo al colapso de los planes originales de Euratom, que se vieron drásticamente reducidos de los 15,000 MW previstos a sólo tres plantas con una capacidad agregada de 750 MW.¹⁹

o El período de euforia que siguió al levantamiento del secreto nuclear duró hasta fines de 1958. En ese año se celebró la segunda conferencia atómica de Ginebra. Menos trágica que la de 1955 por el número menor de revelaciones, fue sin embargo importante porque, con excepción del tema tabú de la separación isotópica, acabó de disipar las últimas nubes del secreto político, aun cuando no las brumas del secreto industrial. Por primera vez se ofreció información sobre reservas nacionales de uranio que confirmó la

abundancia de este elemento. Y lo más significativo desde la óptica de este trabajo fue que se dejó entrever un ajuste en las predicciones sobre costos y competitividad de la electricidad de origen nuclear a consecuencia de las dificultades que se habían presentado en la construcción de prototipos y de centrales más poderosas. °

° A principios de los años sesenta se produce un cambio en el panorama energético de Europa y en la coyuntura atómica mundial. Cesa la escasez de carbón que había empezado en 1957 y declina el precio del petróleo con el descubrimiento de grandes yacimientos en el Sahara, lo que aunado a los progresos realizados en las centrales térmicas convencionales provoca la baja en el costo de la electricidad de origen clásico. Un resultado concomitante es la reducción de las expectativas sobre la energía nuclear en el continente. ° Los años que siguen a la segunda conferencia de Ginebra se dedican a la construcción de las primeras grandes centrales nucleares de los años de euforia, y se caracterizan por la desaceleración de los programas ulteriores en espera de los resultados técnicos y económicos en el funcionamiento de las primeras unidades. Una sobreproducción de uranio y un cierto desencanto de la industria y del público acompañan este proceso. Parece llegado el momento para Estados Unidos, donde una baja comparativamente menor en los costos de los combustibles fósiles hace más atractiva a la energía nuclear, de capitalizar la experiencia europea.

EL PERIODO DEL REACTOR LLAVE EN MANO

Entre fines de 1962 y mediados de 1966 se practicó en Estados Unidos un sistema de contratación de reactores nucleares que seguía una pauta diferente a la conocida en los

contratos convencionales²⁰ y que produjo, a su terminación, una verdadera oleada de órdenes nuevas -la mayor alcanzada hasta la fecha por la industria nuclear- que duró hasta 1974. Ese importante período de tres años y medio se conoce como la época de los contratos "llave en mano". Las principales empresas manufactureras de reactores establecieron una serie de contratos con las compañías eléctricas en los que se comprometían a asumir la responsabilidad del diseño, construcción y pruebas de un reactor, incluyendo el cumplimiento de las directrices regulatorias, y a entregar el reactor listo para ser operado. Estas ofertas establecían además un precio "firme", es decir, un precio que entre el principio y el fin del proyecto podía cambiar únicamente de acuerdo a ciertos índices diseñados para reflejar la inflación monetaria.²¹

La implantación del sistema llave en mano estuvo precedida por el cese de órdenes de reactores en 1961. Desde 1960 el Programa de Demostración de Reactores de Potencia -emprendido con financiamiento conjunto de la Comisión de Energía Atómica (CEA) y de las compañías eléctricas- enfrentaba el problema de que los costos del capital de los reactores pequeños eran tan altos que excedían las ventajas del costo del combustible nuclear. Entre 1960 y 1961 la CEA empezó a retirarse de esas actividades de desarrollo del reactor de agua ligera. En estas circunstancias, las empresas manufactureras de reactores y las compañías eléctricas presionaron al Congreso a favor de una expansión del programa de la CEA con subsidios para los reactores de mayor escala (400 MW y más), a fin de reducir los costos de capital sobre una base dolar/kilowatio. En 1962, el Comité Mixto autorizó se destinaran 20 millones de dólares de los fondos de la CEA a subsidiar el diseño, construcción y operación de tales reacto-

res. Dos nuevos reactores se financiaron en parte bajo este programa: Connecticut Yankee (diciembre de 1962) y San Onofre (enero de 1963). Fueron encargados a Westinghouse y contratados en términos llave en mano, a un precio de US\$153/kw el primero y de US\$180/kw el segundo. Sin embargo, a pesar del subsidio y del tipo de contrato, los dos reactores no eran aún competitivos con las plantas de carbón, cuyos costos oscilaban entre US\$110-140/kw en 1962. Estos fueron los dos últimos reactores que recibieron asistencia financiera del gobierno.

En diciembre de 1963 sobrevino la noticia que sacudió a todo el sector nuclear norteamericano: la compañía Jersey Central Power había contratado con la General Electric (GE) un reactor llave en mano de 650 MW en Oyster Creek, Nueva Jersey, al precio de US\$132/kw. A este costo de capital, la energía nuclear resultaba ser más barata que la producida con carbón en Oyster Creek. Esta era la primera instancia de un reactor ordenado exclusivamente por consideraciones económicas. En los dos años y medio que siguieron, GE, Westinghouse y otras empresas menores ofrecieron contratos llave en mano al mismo precio de Oyster Creek o a niveles cercanos. Un total de 13 reactores fueron ordenados en estos términos. En junio de 1966, GE anunció su retiro del sistema llave en mano; por las mismas fechas Westinghouse dejó de hacer esas ofertas, aunque retrasó hasta 1971 el anuncio formal. Desde entonces no ha habido más contratos llave en mano en Estados Unidos.²²

El aspecto más impresionante de este período lo consti-
tuyen quizá las cuantiosas pérdidas en que incurrieron las
empresas constructoras. A falta de datos disponibles de GE
y Westinghouse, se estima que estas dos compañías absorbie-

ron pérdidas combinadas por más de un billón de dólares. Tan alta cifra puede ser exagerada, pero no hay duda de que la experiencia fue un desastre financiero para sus promotores, como puede comprobarse en el Cuadro número 4.

Cuadro 4: PRECIOS, COSTOS ESTIMADOS Y PERDIDAS ESTIMADAS, DE PLANTAS LLAVE EN MANO (millones de dólares)

Unidades	Costo presupuestado a la compañía eléctrica	Costo estimado para el contratista	Pérdida Estimada
<u>General Electric</u>			
Oyster Creek	\$ 90	\$ 170	\$ 80
Dresden 2,3	196	413	217
Millstone	97	182	85
Quad Cities 1,2	200	448	248
Monticello	<u>105</u>	<u>168</u>	<u>63</u>
Totales	\$ 688	\$ 1,381	\$ 693
<u>Westinghouse</u>			
San Onofre 1	\$ 106	\$ 131	\$ 25
Ginna	83	161	78
Robinson	78	179	101
Point Beach 1,2	145	329	184
Connecticut Yankee	<u>104</u>	<u>149</u>	<u>45</u>
Totales	\$ 516	\$ 949	\$ 433
Totales combinados	\$ 1,204	\$ 2,330	\$ 1,126

FUENTE: Power Plant Capital Costs. WASH-1345, AEC, October, 1974, Steam Electric Plant Construction Cost and Annual Production Expenses, PPC. (Tomado de Burness, et. al., op. cit.).

¿Cómo se explican estos resultados? A pesar de las diversas interpretaciones que se han hecho del sistema llave en mano y de lo controvertido que siguen siendo algunos de sus aspectos, parece estar fuera de duda que los costos finales de los reactores, superiores en 100 por ciento o más a lo calculado al momento de las órdenes, respondieron en parte a errores de cálculo y en parte también a la intensa competencia entre los vendedores por asegurar una mayor participación en el mercado. En efecto, el tránsito del reactor experimental de 50 MW al reactor comercial de 600 MW o más implicaba grandes problemas técnicos; a esto se añadía la falta de experiencia incluso en la construcción de centrales de carbón de las mismas dimensiones. Por otra parte, el ingreso de Westinghouse en el sistema mantuvo los precios de los reactores llave en mano a niveles que incrementaron los costos de inversión tanto para esa compañía como para GE y que redujeron sus utilidades en el período posterior.

Sin embargo, el período llave en mano reportó beneficios que compensaron con creces el fracaso financiero. En primer lugar, las pérdidas pueden verse como inversiones en la obtención de información a través de un "aprender haciendo", en un intento por capturar utilidades de la segunda generación de reactores. El retorno al sistema de contratación convencional se dio tan pronto como las compañías manufactureras tuvieron el número suficiente de pedidos que les permitió adquirir la información necesaria sobre los problemas asociados con la elevación del tamaño de los reactores a escala comercial y, asimismo, cuando las compañías eléctricas alcanzaron una sólida capacidad técnica para participar en el diseño, construcción y ensayos de los reactores.²³

En segundo lugar, una victoria indiscutible de la estrategia llave en mano fue la explosión de órdenes nuevas

sobre bases convencionales que se produjo a partir de 1966. No se sabe si los dos mayores fabricantes de reactores se recuperaron con los contratos convencionales de las pérdidas sufridas con las ofertas llave en mano, pero sí que se quedaron con la parte del león en el mercado nuclear durante el período de euforia que siguió, como puede verse en el Cuadro 5.

Cuadro 5: ORDENES DE REACTORES NUCLEARES, 1955-1978.
(con participación de GE y Westinghouse).

Período	Total de Órdenes		Westinghouse			GE		
	No.	MWe	No.	MWe	% del Total	No.	MWe	% del Total
1955-1965	16	7,471	4	1,690	23	10	5,401	72
1966-1969	71	62,342	26	23,648	38	26	23,157	37
1970-1974	115	130,630	45	48,620	37	33	37,744	29
1975-1978	13	14,940	6	6,400	43	0	0	0
TOTAL	215	215,003	81	80,358		69	66,252	

FUENTE: Electrical World, enero 15 de 1979.

NOTA: Otras participaciones en el total: Babcock and Wilcox, 32 unidades, 32,328 MWe, 15% del total; Combustion Engineering, 33 unidades, 36,065 MWe, 17% del total. (Tomado de Burness, et al., op. cit.).

Antes del período llave en mano la industria de reactores en Estados Unidos se hallaba parada; inmediatamente después de concluido tuvo lugar un verdadero alud de ventas de

reactores que, incluyendo las del propio período, elevó a 40 por ciento la tasa anual de crecimiento de dicha industria entre 1962 y 1976, probablemente el mayor récord de crecimiento sostenido en la historia de la gran industria de ese país.²⁴

No se puede negar la trascendencia de la era llave en mano si se toma en cuenta que dio respetabilidad a la tecnología del reactor de agua ligera y confirmó la realidad e inminencia de la energía nuclear comercial. A los rivales más poderosos -GE y Westinghouse- se añadieron otros dos fabricantes -Babcock & Wilcox y Combustion Engineering-, y entre los cuatro se desató una intensa competencia en términos de precios del equipo y de garantías suplementarias sobre entrega de combustible y otros factores, que habría de repercutir en los costos futuros de operación de las plantas. Surgió un mercado de compradores que se caracterizó por las continuas revisiones a la baja de los costos estimados de la electricidad de origen nuclear. Hacia fines de 1967, las compañías eléctricas habían ordenado 75 plantas nucleares que totalizaban más de 45,000 MW de capacidad instalada. Más del 80 por ciento de estas órdenes se hicieron entre 1966 y 1967.²⁵

Se ha especulado sobre los motivos que llevaron a las empresas eléctricas a aceptar los contratos llave en mano y los contratos convencionales de los años de expansión posteriores. Un primer atractivo residía en los subsidios directos e indirectos con que la CEA apoyó la tecnología de los reactores de potencia. Un factor adicional fue el temor de los inversionistas privados de que las compañías estatales interesadas en la energía nuclear pudieran sacarlos del negocio, de la misma forma como la Tennessee Valley Authority

llegó a convertirse en un productor dominante en la explotación del carbón. Otro factor poderoso fue la inclinación de la industria eléctrica, alentada por su notable crecimiento, a adoptar nuevas fuentes de progreso tecnológico. Pero quizá la circunstancia más importante haya sido el carácter altamente predecible de la demanda de electricidad. La década anterior a la era llave en mano registró una tasa de crecimiento anual del 7 por ciento y el crecimiento de las compañías se mantuvo en aumento constante. En estas circunstancias era relativamente fácil pronosticar el crecimiento del consumo de energía y planear la inversión de capital.

Pero hubo también razones de carácter más subjetivo. Los funcionarios públicos citaban los análisis de la industria nuclear sobre el reactor de agua ligera como una prueba del éxito de las políticas gubernamentales de investigación y desarrollo. La industria, a su vez, citaba esas declaraciones como una afirmación oficial de la competitividad económica de su producto. Se creó así un círculo vicioso de declaraciones que se reforzaban mutuamente e inhibían el escepticismo natural que provocaba una publicidad comercial manejada como si se tratara de verdaderos análisis. Con el tiempo se fue perdiendo la distinción entre prospecto promocional y evaluación crítica. Lo que realmente caracterizó a este período fue la falta de un análisis independiente sobre la experiencia real de los costos.

EXPECTATIVAS Y COSTOS ESTIMADOS vs EXPERIENCIA Y COSTOS REALES

En los dos años que siguieron al período llave en mano, las empresas manufactureras recibieron órdenes en firme por 49 plantas que totalizaban 39,732 MW de capacidad, equi

valente a más del 80 por ciento de las 75 plantas nucleares (45,000 MW) que las compañías eléctricas habían ordenado hasta fines de 1967. Se hablaba de una "revolución de la energía nuclear" basada en la disponibilidad permanente y omnipresente de energía barata. El más famoso crítico de los estudios optimistas de la época, Philip Sporn, presidente de la Compañía Americana de Energía Eléctrica, interpretó el furor de las compañías eléctricas como un apresuramiento originado en análisis nebulosos y motivado por el deseo de participar en el negocio nuclear. Pero en 1968, en el ambiente de euforia provocado por este segundo período de gran expansión, la industria nuclear norteamericana se lanzó a hacer pronósticos para 1975 y 1980 que cinco y diez años después habrían de parecer, por lo menos, sorprendentes.

La ausencia de una corriente de análisis que cuestionara los costos reales del reactor de agua ligera y su competitividad frente a las plantas convencionales contribuyó de manera decisiva a mantener la ilusión de la energía nuclear barata. La situación se hizo extensiva al viejo continente, donde el reactor norteamericano encontró en la ingenuidad de los europeos un poderoso aliado para su penetración definitiva. Al terminar la década de los sesenta todos los países europeos con programas nucleares, incluida la recalcitrante Francia pero con la única excepción de Gran Bretaña, habían adoptado la tecnología norteamericana.

Inglaterra fue el primer país en reconocer la magnitud de las dificultades que enfrentaba la comercialización del reactor nuclear, y el primero también en reducir sus metas de construcción de capacidad nuclear debido a una elevación imprevista en los costos de la energía nuclear. En abril de 1964, el gobierno decidió abandonar la tecnología del reactor Magnox y sustituirla por un nuevo sistema refrigerado con

dióxido de carbono, llamado "reactor avanzado de gas". Aun cuando este nuevo diseño habría de producir frustraciones y fracasos, es importante señalar que su adopción y desarrollo obedeció fundamentalmente a consideraciones económicas.

Como se señaló más arriba, la abundancia de petróleo barato en Europa trajo consigo la elevación de los costos de construcción y operación de las plantas nucleares y por ende una notable reducción del ritmo de crecimiento de la industria nuclear. De hecho, el petróleo importado dominó la política energética en el continente durante los sesentas. En estas circunstancias, Francia siguió el ejemplo inglés de revisar su programa y su tecnología nucleares. Los reactores originales de gas-grafito fueron rediseñados para aumentar su tamaño y mejorar su ejecución y con ello asegurar su competitividad frente a la electricidad de origen fósil. Sin embargo, pronto se vió que las modificaciones técnicas eran insuficientes. En 1968, la influyente Comisión PEON (Commission Consultative pour la Production d'Electricité d'Origine Nucleaire), grupo asesor gubernamental de alto nivel, llegó a la conclusión de que la competitividad de esos reactores sólo se lograría introduciendo elementos combustibles con un mayor rendimiento. En mayo de 1969, con información proporcionada por la Compañía Creusot-Loire, subsidiaria francesa de Westinghouse, y por compañías alemanas con experiencia en el reactor de agua ligera, la Comisión PEON recomendó al gobierno francés la construcción de cuatro o cinco reactores de agua ligera de entre 700 y 900 MW, argumentando que los costos combinados de construcción y operación de dichos sistemas eran inferiores en aproximadamente 15 por ciento a los del sistema de gas-grafito. La aceptación por parte del gobierno francés de esta recomendación tuvo enormes consecuencias dentro y fuera de Francia.

Por un lado, puso fin a un debate de cinco años entre los abogados de la línea nacionalista de innovación tecnológica y los partidarios de un desarrollo industrial más abierto y competitivo aún cuando éste significara un mayor recurso a las tecnologías extranjeras. Los representantes principales de estas tendencias eran el Comisariado de Energía Atómica y Electricidad de Francia, respectivamente, enfrascados desde mediados de los cincuenta en una lucha cerrada por el control de la energía nuclear.²⁶ La decisión del gobierno canceló las esperanzas del Comisariado de llevar adelante la comercialización de la tecnología del gas-grafito, y lo excluyó también de participar en el desarrollo del reactor comercial en Francia. La tecnología del agua ligera quedó enteramente en manos de la industria francesa y de las filiales norteamericanas, hecho en verdad irónico si se toman en cuenta los quince años anteriores de esfuerzos por desarrollar en Francia una industria nuclear independiente.

Por otra parte, la decisión del gobierno francés significó el reconocimiento oficial a un hecho por demás obvio: el poder mercantil casi irresistible de la tecnología nuclear norteamericana. En 1970, la Comisión PEON resumió así la situación: "Fuera de Gran Bretaña y Canadá, el éxito de la energía nuclear es el éxito de los reactores norteamericanos de agua ligera..., los cuales han arrasado en todos los mercados donde existe una verdadera competencia".²⁷ Este juicio estaba basado en una interpretación errónea de las causas de tal triunfo.

En efecto, la muestra evidente de que en Estados Unidos las estimaciones de costos de las plantas de potencia ordenadas desde mediados de los años sesenta se fundaba más en expectativas que en la experiencia real, es que todavía a

principios de los setenta no se podía dar una respuesta pre cisa y satisfactoria a la pregunta de cuál era el costo de una planta nuclear. Lo único que se sabía con seguridad era que los proyectos tendían siempre a ser mucho más caros de lo previsto. Con todo, tanto los fabricantes de reactores como la CEA reiteraban que todo se hallaba bajo control y aseguraban que al estandarizarse la producción de reactores de gran tamaño sobrevendría una estabilización de los costos que, junto con el "aprender haciendo", produciría un de cremento general de los mismos.

La prometida estabilización y la ulterior declinación de los costos no habrían de llegar nunca; más aún, acabaría por imponerse la situación contraria. No menos grave todavía, en las estimaciones de costos tampoco se alcanzaría con el tiempo una mayor exactitud. Sin embargo, lo que más interesa destacar aquí es que durante el de cenio de los se- tenta la ofuscación en torno a los costos reales de la en ergía nuclear cundió con singular facilidad fuera de los Est ados Unidos. Europa occidental fue un mercado propicio para la actividad publicitaria de las compañías manufactureras no rteamericanas, cuyos informes, más propagandísticos que anal íticos, promovieron una intensa competencia entre las empresas ma nufactureras de la fragmentada industria nuclear por adquirir los derechos para construir los reactores de agua ligera. Dieciocho compañías o consorcios europeos se convirtieron en filiales de las empresas norteamericanas, de las que pa saron a depender en menor o mayor medida debido a su escasa o nula experiencia en la tecnología del agua ligera.

En enero de 1970 sólo tres reactores de agua en ebulli ción y tres de agua presurizada con capacidades mayores a los 100 megavatios llevaban más de un año de operar en Euro pa. Tan reducida experiencia en la operación del sistema de agua ligera se hallaba, por añadidura, dispersa entre varios

países. El más experimentado de todos era Alemania, con tres plantas en funcionamiento durante más de un año. Italia tenía una experiencia algo más prolongada con dos reactores. Francia había cooperado con Bélgica únicamente en la construcción de la planta de Chooz.

Los fabricantes norteamericanos supieron aprovechar este vacío; sus concesionarios europeos eran demasiado inexpertos para proceder con escepticismo en la interpretación de la información preparada por ellos. Salvo raras excepciones de duda sobre las supuestas ventajas económicas del reactor de agua ligera, por regla general no hubo en Europa un cuestionamiento serio y sistemático de sus costos reales. Habría que esperar a la crisis petrolera de 1973 para que tanto en Estados Unidos como en Europa se esfumara la ilusión de los bajos costos del sistema de uranio enriquecido y agua ligera.²⁸

Entre tanto, a principios de los setentas era evidente que el reactor norteamericano había conquistado todos los mercados de occidente, salvo el británico y el canadiense.²⁹ En el clima de euforia provocado por ese triunfo no se prestó suficiente atención a dos hechos importantes: la escasa experiencia adquirida en la operación de los reactores de gran tamaño, por un lado, y las grandes diferencias existentes entre la situación económica de esta generación de reactores y la de los ordenados a principios y mediados de los sesenta, por el otro. En efecto, la experiencia real se limitaba a las plantas ordenadas antes de 1965, que representaban una capacidad agregada de generación de sólo 4,200MW, es decir, una fracción mínima de los 72,000 MW de capacidad ordenada o en construcción en ese entonces. Las diferencias de escala, por su parte, hacían que la información económi-

ca sobre los nuevos reactores descansara más en expectativas que sobre hechos demostrados.

Ante la falta de verdaderas relaciones de costos al inicio de esa década, los fabricantes de reactores recurrían al expediente de citar a cada comprador adicional como una prueba de la competitividad de su producto. A los clientes potenciales de dentro y fuera de Estados Unidos el argumento les parecía muy convincente, y de esta forma la carrera hacia la energía nuclear se convirtió en un proceso autosostenido.

Pero, ¿cuál era la relación entre los costos estimados y los costos reales? Durante la oleada de ventas del período 1966-1968 la publicidad señalaba que se podría construir una planta nuclear a un costo inferior a los 150 dólares por kilovatio. Por ejemplo, la planta Pilgrim Station, ordenada por Boston Edison en 1965, debería costar alrededor de 100 dólares por kilovatio; sin embargo, cuando entró en operación en julio de 1972, su costo final excedió los 300 dólares por kilovatio. En 1974, la compañía Northeast Utilities estimó que su planta Millstone No. 3, ordenada en 1966 y programada entonces para iniciar operaciones en 1982, costaría más de 900 dólares por kilovatio al ser concluida en 1978.³⁰

Las discrepancias entre costos estimados y costos reales se explican por varias razones. En primer lugar, la inflación complica las estimaciones, por lo que los cálculos deben hacerse en base a dólares constantes (en un año determinado) y no a dólares corrientes. Ahora bien, el problema de reducir los costos de capital a dólares constantes se complica adicionalmente debido al tiempo que lleva construir una planta nuclear. El costo total de la planta es un agre

gado de los costos parciales de cada una de sus secciones, que son pagadas en diferentes momentos y con un distinto poder de compra de la moneda en cada uno. En tercer lugar, el espectro de costos para dos plantas construidas al mismo tiempo varía dependiendo de las diferencias regionales.

Finalmente, y pese a las apariencias en contrario, las relaciones de costos reales, por oposición a los estimados, eran escasas todavía a mediados de los setentas. A fines de 1975 había en Estados Unidos 50 plantas nucleares con permisos para operar. Pero ninguna de las plantas ordenadas después de 1968 había sido concluida y sólo 3 de las 14 ordenadas en ese año estaban listas para entrar en operación. Más aún, sólo 21 de las 30 plantas ordenadas en 1967 se hallaban funcionando. De los datos disponibles sobre variaciones en los costos de capital se deduce que, por regla general, las plantas que entraron en operación en 1975 costaban tres veces más en dólares constantes que las primeras plantas comerciales terminadas cinco años antes, correspondientes a los pedidos de la era llave en mano.³¹

LA COMPETITIVIDAD DE LA ENERGIA NUCLEAR

El embargo y la subsiguiente cuadruplicación de los precios del petróleo en 1973 convencieron a muchos observadores de que la energía nuclear no sólo se volvería ampliamente competitiva frente a la electricidad de origen fósil, sino que además se convertiría en un importante elemento de defensa de los países importadores de petróleo. Así se explica que, a pesar de los enormes y crecientes incrementos en los costos de la energía nuclear, entre 1973 y 1977 se elaboraran planes de suministro que demandaban la construcción

acelerada de plantas nucleares en Estados Unidos, Europa occidental y Japón.

Luego de la crisis de 1973 la industria nuclear experimentó un cierto alivio. La magnitud de los aumentos de precios de los combustibles fósiles, incluido el carbón, prometía resolver de una vez por todas el problema económico. Y si se hacía caso a los pronósticos de los expertos en el sentido de que los precios de los combustibles fósiles seguirían subiendo, entonces todo parecía indicar que, al cabo de 30 años de dudas, la energía nuclear se volvería por fin económicamente atractiva.

El petróleo había sido la piedra angular de las políticas energéticas de los países de Europa occidental durante los sesentas. En vísperas del embargo petrolero, casi todos ellos importaban por lo menos la mitad de sus requerimientos de energía y algunos (como Francia y Suecia) el 75 por ciento. De ahí que hacia 1975 Europa reaccionara a las alzas de precios de los hidrocarburos con la convicción de que los años ochenta serían una década de energía atómica. En diciembre de 1974, la Comunidad Económica Europea anunció una nueva política común consistente en reducir entre 40 y 50 por ciento la importación de petróleo para 1985 y en duplicar la capacidad nuclear en el mismo período. En Estados Unidos, el "Proyecto Independencia" del Presidente Nixon articulaba un compromiso semejante: la energía nuclear proporcionaría entre 30 y 40 por ciento de la electricidad del país en los próximos 10 ó 15 años, y más del 50 por ciento en el siglo XXI.³²

De las tres fuentes alternativas de energía disponibles -carbón, conservación y energía nuclear- la última represen

taba la opción más razonable, sobre todo en Europa occidental, debido a las enormes dificultades que ofrecía tanto la conversión al carbón como el recurso en gran escala a la conservación. La comunidad nuclear de ambos lados del Atlántico parecía suficientemente consolidada para acometer la nueva empresa. En Europa occidental era notorio el grado de concentración alcanzado por la industria nuclear, y los gobiernos vieron coincidir sus objetivos con las ambiciones de las empresas: la energía nuclear no sólo sería el mejor sustituto del petróleo sino que, además, la exportación masiva de tecnología nuclear contribuiría en forma significativa a aliviar los problemas de balanza de pagos creados por los nuevos precios de los hidrocarburos.

Detrás de la planeación nuclear de los años setenta hubo, sin embargo, fallas de interpretación y errores de juicio. Así como en años anteriores se fincaron programas nucleares sobre promesas y expectativas de bajos costos, ahora se minimizaba la importancia de los costos políticos y sociales que implicaba el compromiso con la energía nuclear. Las dudas en torno a la seguridad de los reactores nucleares había surgido desde los albores de la energía nuclear y crecido en número e intensidad durante el período de acelerada comercialización. El sector nuclear tendía a considerar tales dudas como confinadas a un puñado de personas vagamente informadas o mal intencionadas, y reaccionó asegurando que también en el aspecto de la seguridad todo estaba bajo control.

Esta evaluación de la situación resultó desafortunada, porque la seguridad de la energía nuclear, fundamento de su aceptación social, estaba siendo cuestionada en los países donde se construían plantas nucleares. Apostar a favor de

la energía nuclear como la respuesta al desafío de la OPEP sin ponderar la significación y el alcance políticos de la oposición antinuclear constituía un serio error de cálculo, pues dicha oposición contribuiría a la postre a incrementar aún más los costos absolutos de esta forma de energía y a reanimar la discusión sobre sus costos relativos, o sea sobre su competitividad frente a los combustibles fósiles.

El segundo error de apreciación consistió en creer que las alzas continuas en los precios del petróleo ratificarían automáticamente el atractivo económico de la energía nuclear eléctrica. Ninguna de las dos consecuencias previsibles de tales acontecimientos -inflación económica generalizada o recesión- constituyen condiciones macroeconómicas propicias al crecimiento acelerado de una tecnología muy intensiva en capital y con períodos de recuperación de diez años o más. El horizonte se estrecha aún más si, tal como acontece desde la segunda mitad de los setentas, lo que se presenta es una situación de estanflación, con una disminución de la actividad económica y de la demanda de electricidad, altas tasas de interés y elevación creciente en los costos de construcción, operación y mantenimiento de las centrales nucleares. El hecho es que, independientemente de la relación causal que pueda haber entre la escalada de precios de los hidrocarburos entre 1973 y 1981 y el lento desempeño de las economías industrializadas en ese período, los precios elevados del petróleo no produjeron los efectos saludables para la industria nuclear que se esperaban.³³

Por otra parte, con la bomba atómica india de 1974 hace su aparición un tercer elemento que perturba el ámbito político y altera el panorama comercial de la energía nuclear: el problema de la proliferación de armas nucleares. El esta

llido de Rajasthan convierte en realidad la posibilidad de utilizar con fines militares las instalaciones nucleares pacíficas. En respuesta, los países proveedores de equipos y materiales nucleares modifican las reglas del comercio nuclear internacional mediante la imposición de condiciones y restricciones que afectan el clima de confianza prevaleciente en las dos décadas anteriores y estrechan el marco de las transferencias nucleares.

Ante esta convergencia de factores adversos de índole social, económica y política, a escala mundial y nacional, poco o nada puede hacer la industria nuclear para demostrar la validez de los pronósticos optimistas en términos de baratura y competitividad sobre los cuales fincó dos decenios de desarrollo ascendente. Más bien, el escenario actual parece haber sido montado para hacer patentes las enormes debilidades de este sector energético, en otras épocas tan próspero y seguro de sí mismo.

(

CAPITULO III

LOS ACCIDENTES FINANCIEROS DE LA NUCLEOELECTRICIDAD

" El colapso de los mercados nucleares ha sellado el destino de una industria instrumentada para afrontar las infladas expectativas de principios de los setentas. Aun con mayores subsidios internos y derivados de la exportación, el retiro de grandes compañías parece inevitable. Mientras que en la retórica la empresa nuclear en el mundo sigue pujante, en la realidad se está contrayendo y aun retrocediendo. El mayor de los colapsos que haya sufrido empresa alguna en la historia de la industria se ha iniciado".

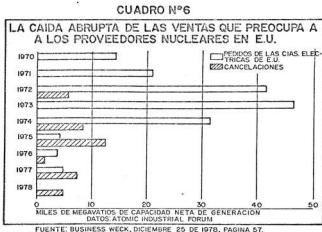
Amory Lovins

Al finalizar 1981, había 276 reactores nucleares produciendo electricidad en 23 países, lo que representaba una potencia total de 165 GWe. La generación lograda con tales centrales nucleares ascendió a 830 TWh. En el curso de ese año 21 nuevas unidades nucleares entraron en funcionamiento con una potencia de 18.5 GWe en ocho países diferentes.¹

Lo significativo de estos datos es que los últimos reactores fueron encargados entre fines de la década de los sesenta y principios de la siguiente. Desde mediados de esta última, la industria nuclear en su conjunto entró en una fase de depresión que se ha venido acentuando año con año. La curva de desarrollo de la energía nucleoelectrónica durante esa década resultó ser muy contrastante, con un período de alto crecimiento durante la primera mitad y otro de declinación y aun de desplome en la segunda. Por lo que hace a las órdenes nuevas de reactores en Estados Unidos, el punto más alto se alcanzó en 1973 con 41 y el más bajo en 1978

con ninguna, como puede observarse en el Cuadro 6. Nunca antes en la historia de la energía nuclear se había visto que a un ciclo de crecimiento elevado siguiera otro de crecimiento cero, e incluso negativo si se toman en cuenta las numerosas cancelaciones.

Cuadro 6: LA CAIDA ABRUPTA DE LAS VENTAS QUE PREOCUPA A LOS PROVEEDORES NUCLEARES EN ESTADOS UNIDOS.



¿Cómo se explica este comportamiento? Entre los diversos grupos de factores a que se ha hecho alusión en los capítulos anteriores hay que distinguir básicamente los económicos de aquellos otros que de una u otra forma han re-

percutido en la industria nuclear elevando los costos de su producto. La baja en la demanda de electricidad que ha acompañado a la recesión económica mundial, así como el encarecimiento del dinero por la inflación y las altas tasas de interés, pertenecen a la primera categoría. En la segunda caen toda una serie de factores políticos, sociales, administrativos y jurídicos que, como el debate nuclear o las políticas de no proliferación, parecieran haberse confabulado para impedir un mayor crecimiento de la energía nuclear eléctrica en el mundo.

LA CAIDA EN LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD

El sector eléctrico de los países industrializados ha experimentado cambios drásticos en los últimos años. Durante unos veinticinco años, desde fines de los cuarentas hasta principios de los setentas, la demanda de electricidad tuvo un incremento rápido y sostenido que promedió alrededor del 7 por ciento al año. A partir de 1974 la situación cambió radicalmente; el patrón de los cincuentas y sesentas fue sustituido por otro de crecimiento muy errático, por lo general bajo y con períodos de declinación. Entre 1975 y 1980 las proyecciones sobre el crecimiento futuro fueron una y otra vez ajustadas a la baja. A principios de 1980 muy pocos expertos predecían un retorno a la tasa del 7 por ciento y la mayoría pronosticaba un 3.5 por ciento o menos.²

Una razón que explica tales ajustes es el eficaz esfuerzo de conservación con que los consumidores (tanto el sector industrial, como el residencial y comercial) respondieron a las alzas de precios de los energéticos durante los setentas. Sin embargo, el factor decisivo fue el cambio que se produjo en el entorno del sector eléctrico. Du

rante las dos décadas de fuerte expansión no sólo hubo un crecimiento rápido y previsible de la demanda de electricidad sino también economías de escala en los sistemas de producción y distribución, precios estables o decrecientes de los combustibles y, más importante todavía, poca o ninguna preocupación por los costos sociales asociados a los procesos de construcción y suministro eléctrico. Se creó así un verdadero círculo virtuoso de costos reales, y por ende de precios, a la baja, altos rendimientos sobre el capital invertido y fácil acceso al financiamiento.

Este ambiente tan propicio prácticamente se invirtió durante los setentas. Tanto los costos de construcción de las plantas como los del combustible empezaron a subir y la inflación contribuyó a elevar los costos del dinero. El círculo virtuoso se convirtió en círculo vicioso: el equipo nuevo se pagaba aumentando el precio de la electricidad, lo cual desalentaba el crecimiento de la demanda, que se mantenía por debajo del nivel sobre el que se habían calculado los requerimientos de equipo; pero con esto disminuían las utilidades, lo que hacía necesario elevar los precios a fin de cubrir los costos fijos; esto deprimía aún más la demanda, y así sucesivamente.

Los productores de electricidad no reaccionaron ante estos cambios con la misma prontitud que los consumidores. Lo que había variado era la estructura fundamental de los costos de la industria eléctrica; la elevación de los costos marginales de producción, no su disminución, se convirtió en la característica económica básica de la actividad.³ Ahora bien, al fijarse el precio de la electricidad al público en base a los costos promedio y no a los costos marginales, una década o más de costos marginales crecientes vino a significar que el precio de la electricidad resultara inferior al costo de producirla.

Un hecho de esta naturaleza obliga a modificar las estrategias de planeación y manejo de la capacidad de generación. En un período de costos marginales a la baja (y por lo tanto de precios superiores a los costos) es preferible el riesgo del exceso de capacidad al riesgo de una capacidad insuficiente. Pero en una situación prolongada de costos marginales crecientes la estrategia indicada consiste en adicionar capacidad mediante incrementos relativamente pequeños cuyos períodos de maduración sean lo más cortos posible.

La industria eléctrica en los Estados Unidos procedió con lentitud frente a esta nueva situación de mediados de los setentas. Una importante consecuencia de ello fue la existencia de un exceso considerable de capacidad en el sistema total de generación eléctrica del país durante el decenio de los ochenta.

Como resultado del embargo petrolero de 1973, el crecimiento de la carga pico en Estados Unidos cayó drásticamente, por lo cual el margen de reserva del país entre 1973 y 1979 alcanzó alrededor del 35 por ciento, superando el nivel deseado de 20-25 por ciento. Este margen habría sido aún mayor en 1979 si la capacidad nuclear lista para entrar en servicio hubiera recibido la autorización prevista, en vez de que ésta se retrasara a consecuencia del accidente de Three Mile Island. Si los incrementos de la capacidad programados en 1980 para el resto de la década llegan a materializarse y el crecimiento de la carga pico promedia el 3 por ciento anual, el margen de reserva en todo el país se acercará al 55 por ciento hacia fines de la década. Más aún, si no se añadiera más capacidad de la que estaba en construcción en 1979, el margen de reserva sería de aproximadamente 35 por ciento para esa fecha.⁴

En algunos países de Europa occidental y en Japón existen ciertas posiciones gubernamentales que tienden a favorecer la electrificación, como por ejemplo el apoyo al uso creciente de la electricidad para calefacción. Esto podría incrementar de manera significativa la demanda de electricidad y proporcionar un mercado potencial para nuevas plantas de potencia. Pero en Estados Unidos un mercado tal parece inexistente. Un severo crítico de la energía nuclear en ese país llega a afirmar que "el mercado para las centrales eléctricas de cualquier tipo es simplemente imaginario".⁵

Es indudable que la sobrecapacidad de generación existente en los Estados Unidos ha contribuido decididamente a desalentar la inversión de las compañías eléctricas en la energía nuclear. Cabe recordar que hasta 1973 la demanda de electricidad sostuvo un crecimiento impresionante a una tasa anual cercana al 8 por ciento. El año de 104 órdenes nuevas de reactores que se hicieron entre 1970 y 1974 se explica por la esperanza de las compañías de que continuaría esa tendencia. Pero a partir de ese último año el crecimiento de la demanda se desplomó, mantuvo una tasa anual de 4 por ciento en los cuatro años siguientes,⁶ y aún menor a últimas fechas.

El estrechamiento de las proyecciones de crecimiento de la demanda de electricidad en Estados Unidos ha llegado a ser interpretado como un preludio del colapso inevitable de la nucleoelectricidad en ese país. En 1978 las estimaciones más optimistas del sector nuclear norteamericano hablaban de 180 órdenes nuevas de centrales por colocarse entre 1980 y 1992, lo que representaba menos de cuatro pedidos por año para cada uno de los cuatro grandes fabricantes de reactores. Es del conocimiento público que cualquier proveedor necesita entre cuatro y seis órdenes para mantener

se "sano". Ahora bien, desde 1978 no sólo no ha habido órdenes nuevas sino que continúa en aumento el número de cancelaciones. Tan sólo en 1980 se produjeron ocho cancelaciones y 45 aplazamientos de unidades ordenadas.⁷

En estas circunstancias algunos analistas piensan que aun cuando se pudieran resolver los problemas políticos, regulatorios y económicos de la industria nuclear, la contracción de la demanda de electricidad hace poco probable que subsista un mercado apropiado para nuevas centrales. Esta interpretación es más pesimista de lo que a primera vista parece porque esas dificultades adicionales, lejos de poder disiparse en el horizonte de la energía nucleoelectrónica, se acumulan como negros nubarrones haciéndolo aún más sombrío.

LA ESCALADA DE COSTOS

Hacia mediados de los setentas la mayor parte de la comunidad nuclear continuaba alimentando la creencia de que la energía nucleoelectrónica se beneficiaría de las economías de escala, los bajos costos del combustible y una tecnología más moderna y segura. Así se pensaba a pesar del número creciente de evidencias en contrario, como el hecho muy significativo de que en sólo una década se hubiese duplicado el lapso de cuatro a seis años que tomaba construir una planta nuclear a principios de los sesentas. Ilustrativo de esa fe ciega en el brillante futuro de la nucleoelectricidad es el siguiente fragmento de un trabajo presentado en 1975 por una compañía norteamericana involucrada en la energía nuclear:

"El costo de una planta nuclear de potencia puede reducirse e indudablemente se reducirá en el futuro, a dólares constantes, en una proporción más sig

nificativa que una planta a base de carbón. Conforme aumente la experiencia adquirida en el diseño, manufactura, construcción y operación, se podrán realizar mejoras que disminuyan el costo y al mismo tiempo hagan la central más segura y confiable. Los trámites de licenciamiento se pueden agilizar sin que sufra menoscabo la seguridad. Estos factores deben reducir los tiempos de construcción de una planta nuclear de 10 a 6 años[...] La experiencia y una mejor estandarización traerán consigo ahorros considerables en los costos de construcción, material y mano de obra que representar[...] casi el 70 por ciento del costo total. Las compañías de luz han demostrado creer en la energía nucleoelectrica como la opción económica al invertir alrededor de cien mil millones de dólares luego de un cuidadoso análisis económico. Esto representa una evidencia mayor de la situación económica que las denuncias in sustanciales de los críticos antinucleares.⁸

Las realidades económicas de la energía nuclear se impusieron por sí mismas, invalidando no sólo las estimaciones alegres de la industria nuclear sino incluso los pronósticos más serios sobre el crecimiento futuro de la energía nucleoelectrica. Durante los setentas, los costos de capital de ésta crecieron a un promedio anual de 20 por ciento. Más de la mitad de esos incrementos correspondían a los requerimientos regulatorios y de diseño. Por razones no relacionadas con el accidente de Three Mile Island, hacia fines de la década hubo más cancelaciones que órdenes nuevas de reactores. La nucleoelectricidad había llegado a ser muy costosa y, desde el punto de vista financiero, demasiado riesgosa para seguir conservando el atractivo que ejerciera en otros tiempos.

Riesgosa tanto para los inversionistas como para las compañías eléctricas. Consultores de inversionistas e intermediarios financieros que controlan los miles de millones de dólares necesarios para pagar la construcción de centrales nucleares, evalúan ahora con sumo cuidado el apoyo que solían prestar a este tipo de proyectos y adoptan es-

trategias de inversión más cautelosas. Los accionistas se han vuelto mucho más conscientes de los riesgos financieros que conlleva la energía nuclear; unos han dejado de solicitar los bonos de las compañías eléctricas más comprometidas con la energía nuclear, mientras otros demandan mejores intereses y dividendos por sus acciones.

Para muchos una central nuclear es una verdadera bomba de tiempo que de un día para otro puede colocar a una empresa al borde de la quiebra. Se dice que el accidente de Harrisburg causó mayores daños a las finanzas de la compañía propietaria que al reactor mismo. El escepticismo y la preocupación han cundido entre las compañías eléctricas porque hay muchos indicios de que la energía nucleoelectrica ya no es un negocio para ellas. Los períodos de construcción se amplían sin cesar, las estimaciones iniciales de costos acaban siendo pulverizadas por los costos reales y el financiamiento se torna cada vez más oneroso y difícil de obtener. Agobiadas por la presión financiera de los proyectos en curso, las compañías eléctricas tienen cada vez menos probabilidades de embarcarse en otros nuevos.

Los tres componentes básicos del costo de la energía nuclear son el capital (materiales de construcción, mano de obra y el costo de financiarlos), los gastos de operación y mantenimiento y el combustible. El gasto mayor corresponde al primer rubro, que supera a los otros dos en una proporción de dos tercios.¹⁰ Durante los setentas los costos de capital aumentaron a un ritmo mucho mayor que la tasa de inflación para el conjunto de la economía, en tanto que el costo del combustible se elevó siete veces. La rápida escalada de costos se ha hecho más notoria en el renglón del capital y es probable que la tendencia continúe. Asimismo, se ha registrado un alza histórica de las tasas de interés.¹¹

En Estados Unidos abundan los casos de plantas nucleares que se han convertido en una pesadilla para sus constructores debido a los grandes retrasos y altos costos en que han incurrido. Entre unidades nucleares de un mismo conjunto o entre reactores con características similares pero pertenecientes a diferentes centrales se llegan a registrar diferencias impresionantes en cuanto a costos y tiempos de construcción. Acaso el ejemplo más notable lo constituye el famoso proyecto conocido como WPPSS por el nombre de la empresa Washington Public Power Supply System, rama constructora de la compañía eléctrica estatal de Washington. La empresa se distingue no sólo por construir el proyecto nuclear más ambicioso en el país sino también por ser el mayor emisor de bonos exentos de impuestos. Al iniciarse los trabajos en el primero de los cinco reactores, a principios de los setentas, la obra se estimó en 4,000 millones de dólares. Diez años después esta cifra llegaba a los 17,000 millones y amenazaba con aumentar aún más; el proyecto había generado sobregiros en costos, retrasos en los programas, pifias en la construcción, intromisiones regulatorias y bandazos administrativos, pero ni un solo kilovatio de electricidad.¹²

La espiral de costos parece haberse convertido en una norma dentro de la industria nuclear. Esto explica que una de las mayores preocupaciones de las compañías involucradas en la construcción de centrales nucleares sea la obtención de financiamiento. Costos que multiplican hasta nueve veces el presupuesto original las obligan a allegarse miles de millones de dólares suplementarios. Pero dada la disminución de la demanda de electricidad estas empresas tienen una menor capacidad para generar un flujo interno de capital. De ahí que deban recurrir a dos medidas básicas: elevar las tarifas eléctricas y colocar cantidades crecientes de bonos en el mercado. La primera medida suscita la oposi-

ción y el criticismo de los consumidores; la segunda se to
pa con la renuencia de los inversionistas externos a pro
porcionar las enormes sumas de dinero que requieren las com
pañas. Y los viajes frecuentes al mercado de dinero se
vuelven cada vez más onerosos ante las demandas de mayores
dividendos por parte de aquéllos. En efecto, las compañías
se ven forzadas a pagar primas adicionales para cubrir el
factor "riesgo", lo cual grava aún más su pesada carga fi-
nanciera. Muchos proyectos nucleares se han tenido que
cancelar o diferir por años debido a la falta de fondos.
Queda entonces el recurso a mayores subsidios gubernamenta-
les, pero esto vá en contra de quienes abogan por una me-
nor intervención del gobierno en la reglamentación de la se
guridad.¹³

¿Qué factores explican esta elevación acelerada de los
costos? Parece estar fuera de duda que uno de los más im-
portantes es el proceso regulatorio, estrechamente vincula-
do a la introducción continua de mejoras técnicas. Los fa-
bricantes y los constructores de reactores nucleares están
obligados a efectuar los ajustes y cambios de diseño que se
requieran para hacer las plantas tan seguras como sea huma-
namente posible. Esos cambios de diseño durante la cons-
trucción inciden por partida doble en los costos de capi-
tal, afectando recursos humanos y materiales y alargando
los lapsos de construcción.

En algunos países, como Alemania Federal y Japón, y so
bre todo en Estados Unidos, el número de reglamentos fede-
rales y regionales ha aumentado considerablemente y las pre
scripciones se han vuelto más restrictivas. Como consecuen
cia, el proceso de licenciamiento y la delegación de res-
ponsabilidad en el área de la autorización de permisos se
ha tornado cada vez más complicada y confusa. Para la in-

industria nuclear ha sido motivo de desaliento la práctica de modificar los requisitos normativos durante las fases de diseño, ingeniería y construcción de las nuevas plantas, y en ocasiones aun de las instalaciones en operación.¹⁴

Los requerimientos reglamentarios habían estado aumentando desde antes del accidente de Three Mile Island; después de éste la tendencia se acentuó, en especial en Estados Unidos. La Comisión Reguladora Nuclear (CRN), entidad oficial que supervisa la construcción y operación de las plantas nucleares comerciales, ha sido fuertemente crítica por la industria nuclear, que la acusa de haberse convertido en un gigantesco impedimento a la expansión de la energía nucleoelectrónica. Las compañías se quejan, por ejemplo, de que la comisión tarda demasiado tiempo en expedir permisos para nuevas plantas y de que cambia constantemente las reglas de seguridad. Este comportamiento, argumentan, ha elevado artificialmente el costo de la energía nuclear y desanimado a las empresas de hacer nuevos pedidos.¹⁵

La llegada de Reagan a la presidencia hizo a la industria nuclear acariciar la esperanza de una revisión a fondo de la CRN. En respuesta a las presiones de la industria a favor de acelerar el licenciamiento y construcción de las plantas nucleares, el gobierno de Reagan ha pedido a la comisión agilizar sus procedimientos regulatorios. Sin embargo, de acuerdo con un estudio reciente de la Oficina de Contabilidad General, es difícil que se reduzca el problema de los retrasos regulatorios de una década o más; es probable más bien que empeore, a medida que las entidades supervisoras ejerzan una mayor vigilancia, como promete hacerlo la CRN. Los funcionarios de esta agencia sostienen que gran parte de la dificultad reside en las deficiencias propias de la industria nuclear.¹⁶

A las fallas y peculiaridades en la construcción de centrales nucleares corresponde el segundo factor responsable de la escalada de costos. Por ejemplo, en los Estados Unidos existe la práctica común de diseñar cada central de manera distinta, lo cual demanda una larga y complicada revisión de cada sitio. El tratar con 65 compañías eléctricas, cuatro fabricantes de reactores y gran cantidad de proveedores no le facilita las cosas a la CPN. Por otra parte, ésta tiene que vérselas con frecuencia con una construcción de mala calidad, como por ejemplo el colado defectuoso del concreto, que deja numerosos huecos. Otro problema adicional es el desfasamiento entre la programación y la ejecución de las obras, que suele ir aparejado al descontrol administrativo. Debe citarse finalmente el aspecto de los problemas laborales, como las huelgas, que también contribuyen a elevar los costos.¹⁷

La prolongación de los períodos de construcción de centrales nucleares constituye la tercera causa mayor de la espiral de costos. Este fenómeno es a su vez consecuencia de múltiples factores: unos de tipo técnico, como las dificultades para extrapolar a potencias que han llegado a quintuplicar las de las primeras generaciones de reactores; otros industriales, como los retrasos en la entrega de componentes mayores de una central o las fallas de construcción y los cambios de diseño; finalmente, otros de tipo administrativo y social, como la participación creciente de los sindicatos y la importancia cada vez mayor otorgada a los problemas del medio ambiente y a la oposición de las comunidades afectadas. La protesta antinuclear trajo consigo un reforzamiento de las normas de protección contra las radiaciones y la modificación frecuente de los reglamentos administrativos, todo lo cual ha significado mayores retrasos en la elección de sitios y en la obtención de licencias para construcción y funcionamiento.

En un período inflacionario, la ampliación de los períodos de maduración eleva mucho el costo final de las centrales y por tanto el precio de la electricidad producida. Por su parte, los costos de construcción subieron a razón de un 10 por ciento al año durante los setentas. Cuanto más voluminosa es la instalación tanto más los aumentos en los costos de construcción afectan el costo total del proyecto; y las plantas nucleares, por su misma naturaleza, el medio de producir electricidad más intensivo en capital.

Los períodos de maduración de los proyectos nucleares (incluyendo la preconstrucción) promedian entre 7 y 9 años en los países de la OCDE, con excepción de Francia, comparado con 5 años a principios de los setentas. En los Estados Unidos el promedio es de 11 años, frente a 6 años a principios de los setentas, y se prevé que algunos reactores tomarán más de 15 años a partir de su ordenamiento. Anteriormente los retrasos se acumulaban en las fases iniciales de planeación y construcción, pero en la actualidad se reparten a lo largo de todo el proyecto y llegan a presentarse incluso después de terminada una central.¹⁸

Otro elemento que tiene un fuerte impacto sobre los costos totales de capital es el llamado factor de capacidad. Este factor es una medida de la cantidad de electricidad generada por una planta de potencia durante un año, comparada con la electricidad potencial que se podría generar si el sistema trabajara continua y perfectamente. El costo de construcción de una planta se recupera al transferir cada año una parte del mismo a los consumidores, amortizándolo con base en el número de kilovatios/hora vendidos anualmente. A más energía vendida, menores costos de capital por unidad, y viceversa. Algunos analistas consideran que un factor de capacidad de 55 por ciento produce un costo de capital 36 por ciento más alto que un factor de capacidad de 75 por ciento.¹⁹

Al ser el factor de capacidad un indicador de la eficiencia y confiabilidad de una planta, no es de extrañar que tanto los partidarios como los críticos de la energía nuclear lo esgriman cada cual a su manera para corroborar sus propios puntos de vista. La cuestión es delicada porque forma parte de la discusión más amplia sobre la competitividad de la energía nuclear y, en general, del debate sobre la situación económica de esta forma de energía.²⁰

Por regla general se puede afirmar que las plantas nucleares no sobresalen por su factor de capacidad. Por ejemplo, de acuerdo a las conclusiones de uno de los más conocidos expertos en la materia, Charles Komanoff, el promedio anual por unidad nuclear en Estados Unidos durante 1977 fue de 59.8 por ciento, y el porcentaje acumulado históricamente es de 64 por ciento.²¹

El desempeño de una planta de energía nuclear varía de acuerdo al tipo de reactor, a la región e incluso al tamaño de la unidad. Komanoff afirma que a lo largo de 1977 las plantas con una capacidad inferior a los 800 megavatios tuvieron un factor de capacidad promedio de 65 por ciento, mientras que las plantas por encima de esa capacidad sólo alcanzaron el 53 por ciento.²² El hecho es de suma importancia si se tiene en cuenta que la mayor parte de las plantas propuestas que no han empezado a funcionar se encuentran en el nivel de los 1,000 megavatios. Siendo las plantas menores más eficientes que las grandes cae por tierra una de las predicciones preferidas en los sesentas, la de que la industria nuclear se beneficiaría de las economías de escala.

Este rendimiento relativamente bajo de las plantas nucleares se explica básicamente por dos razones. En primer lugar, la carga de combustible del reactor toma alrededor

de un mes, por lo que en el mejor de los casos el factor de capacidad sólo podría exceder un poco del 90 por ciento.²³ En segundo lugar -y esta es la razón más importante- cuando ocurre un desperfecto serio la planta tiene que ser parada a fin de evitar el peligro de radiaciones nocivas. La aplicación de medidas de seguridad hace que las obras de reparación sean más lentas y difíciles que en las plantas a base de combustibles fósiles con descomposturas similares. La interrupción del servicio eléctrico suele prolongarse varios meses e incluso años, como lo atestigua el caso de Three Mile Island. Estos aplazamientos no sólo reducen la eficiencia de una central sino que, aunados a los altísimos costos de reparación, elevan los costos de operación y mantenimiento. No paran ahí las cuentas, pues las compañías eléctricas involucradas en un desperfecto mayor tienen que comprar electricidad de otras fuentes, sustitución que los clientes absorben a través de tarifas más altas. La General Public Utilities, compañía propietaria de la unidad dañada en el accidente de Pennsylvania en marzo de 1979, ha tenido que erogar 800,000 dólares diarios por ese concepto.

COSTOS DEL COMBUSTIBLE Y COSTOS OCULTOS

El análisis de costos del combustible nuclear y de sus implicaciones para el desarrollo futuro de la nucleoelectricidad constituye otro de los temas favoritos de controversia entre los proponentes y los detractores de esta energía. Los primeros sostienen que el precio del combustible nuclear es netamente inferior al del carbón y a ello atribuyen en alguna medida el hecho de que la energía nuclear conserve una amplia competitividad frente a la generada con carbón. Sin embargo, no ocultan su preocupación ante lo que consideran uno de los mayores desaffos de la industria nuclear en la presente y la próxima décadas: la necesidad

de armonizar una demanda muy reducida proveniente de los reactores nucleares existentes y planeados con la sobrecapacidad actual y probablemente futura de la industria de la minería del uranio.²⁴

Muy pocos críticos de la energía nuclear fundamentan sus ataques en la elevación de costos del combustible nuclear y de su complejo sistema de producción. Se reconoce que estos costos han ido en aumento, particularmente entre 1972 y 1978, cuando el precio del uranio en el mercado de disponibles subió de alrededor de 12 a 112 dólares por kilogramo. Pero a lo que se presta atención en fechas recientes es a la declinación continua del mercado de uranio. En febrero de 1981 el precio del uranio descendió a 65 dólares por kilogramo, o sea menos de la mitad del valor de 1978. Debido a la idea general de que se dispondrá prontamente de cantidades adicionales del mineral gracias a la nueva producción y a las reservas almacenadas, existen pocas esperanzas de que se invierta la situación.²⁵

A pesar del consenso prevaleciente en torno a la existencia de un exceso de oferta de uranio sobre la demanda, en especial en los Estados Unidos, surgen conclusiones muy dispares sobre el papel que juega esta circunstancia en la situación económica general de la energía nuclear. El veredicto final en cada caso depende básicamente del peso específico que se asigna al precio del combustible y a los costos de construcción en relación al costo global de la inversión, así para una central nuclear como para una a base de carbón.

De acuerdo con las ponderaciones son los resultados. Se tiene así, por ejemplo, la curiosa constatación de que dos estudios similares arriban a predicciones enteramente

contrarias. Uno de ellos, presentado en el sexto Simposio Anual del Instituto del Uranio en Londres, muestra que por cada unidad monetaria europea (UME) empleada para generar electricidad con energía nuclear, se necesitaría gastar 1.45 UME en carbón, si el precio real de éste permanece constante, o 1.77 UME si dicho precio, ajustado por la inflación aumenta 3 por ciento al año. Los costos totales de construcción son 995 UME/Kw para lo nuclear y 655 para el carbón; asimismo, los costos de operación son 25 por ciento superiores para el primero. Sin embargo, las comparaciones de costos de combustible demuestran que el carbón es de tres a cuatro veces más caro que el uranio, lo cual inclina la balanza a favor de la energía nuclear.²⁶

El otro estudio, realizado por la compañía Komanoff Energy Associates, indica que los costos de construcción de plantas nucleares durante los ochentas excederán por lo menos en 75 por ciento a los costos de las plantas a base de carbón. Lo significativo aquí es que el costo menor del combustible nuclear no alcanzará a compensar la diferencia en los costos de capital, por lo que la energía eléctrica de origen nuclear será por lo menos 25 por ciento más cara que la proveniente del carbón, asumiendo incluso que las plantas de carbón estén equipadas con los dispositivos de control de contaminación más modernos.²⁷

Ninguna evaluación del estatuto económico de la energía nuclear puede dejar de considerar una serie de costos adicionales a los tres grandes factores responsables de la escalación de costos. Estos últimos son también los costos más visibles, pero existen otros a los que se ha llamado "costos ocultos" (por ejemplo, toda la amplia gama de subsidios), y otros más de carácter potencial que o ya se han presentado (los costos de un accidente) o habrán de pre-

sentarse relativamente pronto (el desmantelamiento de una planta nuclear una vez que termina su vida útil).

El recibo mensual que paga el usuario de electricidad de origen nuclear no es sino la punta del iceberg del verdadero costo de aquélla. De hecho, como consumidor y como contribuyente, el ciudadano de un país dotado de una poderosa industria nuclear, como es el caso de los Estados Unidos, ha estado apoyando esta tecnología durante varias décadas. Es indudable que sin ese apoyo la energía nucleoelectrica no se habría podido desarrollar como lo ha hecho.

En comparación con la energía que produce, la nuclear es la fuente energética más fuertemente subsidiada en los Estados Unidos. No obstante que el carbón, la alternativa más importante a la nucleoelectricidad, contribuye con un porcentaje mucho mayor que ésta a la producción total de energía en el país, sólo ha recibido un 4.5 por ciento de los incentivos federales a la energía durante los últimos 30 años, mientras que la energía nuclear ha disfrutado el 13 por ciento del total de esos estímulos.²⁸

En un informe reciente del Departamento de Energía se estima que si no hubieran mediado los subsidios gubernamentales que por un monto de 37,000 millones de dólares se han erogado desde 1950, la energía nucleoelectrica en Estados Unidos costaría entre una y media y dos veces más de lo que cuesta en la actualidad. Es decir, gracias a ese respaldo, el kilovatio/hora de electricidad nuclear resulta ser entre 1.66 y 2.5 centavos de dólar más barato que si las compañías lo hubieran pagado todo por sí solas.

Los subsidios no sólo han disminuido los costos para los productores nucleares sino que, todavía más importante

de acuerdo con el informe, han reducido también la incertidumbre de la industria nuclear y de la comunidad que financia sus inversiones. La cantidad destinada a esos subsidios, calculada en dólares constantes de 1979, incluye los siguientes rubros:

-Gastos en investigación y desarrollo que se remontan a los trabajos de los años cincuenta en los reactores de agua ligera para impulsar submarinos y portaviones. "El proceso de desarrollo de los reactores navales contribuyó en forma directa a los diseños que luego se adoptaron para propósitos de utilización comercial", señala el informe. Posteriormente, la Comisión de Energía Atómica pagó parte de los costos para adaptar los primeros reactores a los generadores eléctricos, y el gobierno sigue haciendo fuertes erogaciones en el diseño de los reactores de fisión y de fusión del futuro.

-Asistencia a los fabricantes norteamericanos de reactores para venta de equipo al extranjero, a través de créditos a los compradores y del suministro de uranio enriquecido a tasas muy bajas.

-Incentivos a la producción de uranio en forma de garantías de precios y controles a la importación.

-Uranio enriquecido en plantas estatales, vendido a precios inferiores a sus costos reales y significativamente más bajos que los fijados por un proveedor privado.

-Compromisos del gobierno federal (que todavía no cristalizan en una política a largo plazo) de asumir los costos del almacenamiento permanente de los desechos nucleares. Mientras el asunto se debate en el Congreso, el Departamento de Energía dispone de un amplio presupuesto destinado a investigación sobre las formas de empaque o encapsulado de los desechos.²⁹

Un subsidio difícil de cuantificar y que cae fuera de la suma mencionada es el seguro de responsabilidad civil que se otorga a la industria nuclear a través de la Ley Price-Anderson. En los primeros años de la energía nuclear las compañías rehusan comprometerse a fondo con esa tecnología debido a los altos riesgos de incurrir en responsabilidad civil en caso de una catástrofe. Las aseguradoras privadas tampoco incursionaban en este campo por el temor a las grandes pérdidas potenciales. Así las cosas, en 1957, el Congreso aprobó la Ley Price-Anderson, que limita la responsabilidad civil de las empresas relacionadas con la energía nuclear.

La Ley prevé una indemnización gubernamental de 65 millones de dólares por reactor en un accidente que exceda la cantidad de 160 millones que admiten como máximo los seguros comerciales, y cubre ese monto a través de un fondo de la industria por 300 millones. El subsidio actúa de dos maneras: asegurando una planta nuclear hasta por 560 millones de dólares, cantidad superior a la que el mercado de seguros está dispuesto a conceder; y limitando explícitamente la responsabilidad civil de una compañía a 560 millones en caso de accidente. En el primer caso, la compañía se ahorra los gastos que le significaría el pago de coberturas adicionales a las aseguradoras privadas; en el segundo, queda protegida ante la eventualidad de un accidente cuyos daños excedan la cantidad fijada como límite.³⁰

THREE MILE ISLAND

Algunos de los costos potenciales de un accidente en una planta nuclear son difíciles de calcular. Mientras no se conoce la gravedad del percance no hay forma de asignar le una cifra precisa en dinero. Por otra parte, a las demandas por daños personales hay que añadir los costos por la desactivación del reactor y por la adopción de medidas especiales de seguridad durante la reparación. Asimismo, se sabe muy poco todavía sobre los costos relacionados con el cierre prematuro de un reactor a consecuencia de una avería. Igualmente imponderables son los efectos de un accidente de importancia sobre la economía de la localidad.

Pero si muchas de estas cuestiones siguen siendo objeto de especulación, el caso de Three Mile Island (TMI) ofrece una evidencia concreta sobre la magnitud de los costos asociados a un accidente nuclear grave. No se tiene todavía una evaluación específica del alcance y severidad de los daños causados al reactor. Pero aunque desde el punto de vista de la salud y del impacto ambiental el accidente no puede ser denominado una "catástrofe", es indudable que si lo fue en términos económicos.³¹

Algunos observadores están de acuerdo en que ciertas implicaciones de TMI merecen consideraciones atenuantes e incluso positivas, como el hecho de que se ha convertido en un laboratorio experimental del que la industria nuclear puede sacar un provecho enorme. Pero hay un aspecto sobre el que existe un consenso unánime, y es el reconocimiento de que el accidente tuvo consecuencias económicas desastrosas, en el sentido de que tanto la recuperación como la pérdida posible de la central supondrán una fracción considerable del costo de la misma, con independencia de la energía por sustituir.

General Public Utilities (GPU) es una de las compañías eléctricas más grandes de los Estados Unidos (sus activos a principios de 1981 se calculaban en 5,000 millones de dólares), pero no estaba preparada para hacer frente a los costos crecientes derivados del daño a la central y del pago de energía sustitutiva. Como consecuencia de esta falta de previsión, GPU ha tenido que librar una lucha desesperada para no convertirse en la primera empresa del sector eléctrico que se declara en quiebra desde la gran depresión.

Esta situación debe atribuirse más a la falta de imaginación de la industria nuclear que a negligencia de GPU. En los primeros años de la nucleoelectricidad tanto sus partidarios como sus enemigos concentraban sus temores en un accidente que pudiera perjudicar la salud o la vida de la gente o dañar las propiedades. Consecuente con esa preocupación, la Ley Price-Anderson fue considerada un verdadero triunfo como seguro, al limitar las responsabilidades por los daños causados fuera de las instalaciones. Al igual que otras plantas nucleares, TMI contaba con un seguro equivalente a 560 millones de dólares para ese tipo de responsabilidades, mientras que las reclamaciones resultantes sólo llegaron a 2.5 millones.

Pero nadie se preocupó mucho por una destrucción en el sitio mismo, debido al parecer a la experiencia previa con plantas de carbón, cuyos costos de construcción y reparación no eran excesivamente altos. Sin embargo, una planta de energía nuclear es muy diferente pues implica inversiones de miles de millones de dólares y una gran complejidad e interacción en sus instalaciones. Como se señaló antes, el seguro comercial y los fondos industriales ofrecen una cobertura máxima de 300 millones de dólares para daños en

la planta, pero tan sólo la descontaminación de TMI costará mil millones o más.³²

Las estimaciones del costo de la descontaminación de residuos radioactivos -la primera labor por realizar desde el punto de vista exclusivamente técnico y que se prevé terminará hacia 1988- se han disparado como reacción en cadena. Los cálculos iniciales de GPU hablaban de 400 a 500 millones de dólares; a fines de 1980 la cifra se fijó en 595 millones; para principios de 1981 las previsiones saltaban a los 1,000 millones, y a 1,500 millones incluyendo las reparaciones del reactor y su puesta en marcha. Algunos especialistas piensan que el costo final de la descontaminación podría ser un múltiplo de los 1,500 millones y que aún así cabe dudar que la vasija del reactor pueda ser utilizada de nuevo.³³

Aparte de lo anterior, la otra unidad de la planta ha estado fuera de servicio desde el accidente, cumpliendo con una serie de modificaciones de seguridad que para principios de 1981 habfan costado ya 60 millones de dólares. Por si esto no bastara, GPU canceló su proyecto nuclear de Forked River, Nueva Jersey, después de haber gastado 400 millones de dólares de un presupuesto estimado de 1,400 millones. Ni las autoridades de Nueva Jersey ni las de Pennsylvania le permitieron a la compañía elevar las tarifas eléctricas para recuperar algo de los 400 millones o de los costos de limpieza de TMI; sólo le autorizaron dos alzas apenas suficientes para pagar la electricidad de reemplazo.

La estrategia de GPU ha descansado en cuatro elementos:

-demandar legalmente a Babcock & Wilcox, fabricante del reactor dañado, por más de 500 millo

nes de dólares, y a la Comisión Reguladora Nuclear por 4 millones alegando negligencia de ambos: B&W por no proporcionar información sobre las deficiencias del reactor, y la CRN por no prevenir a tiempo a GPU sobre los problemas especiales que se han suscitado en otros reactores de B&W;

-pedir a las agencias reguladoras de Pennsylvania y Nueva Jersey un aumento de las tarifas eléctricas por un total de 256 millones de dólares al año;

-solicitar a otras compañías nucleoelectricas que consigan de sus clientes o accionistas una contribución al presupuesto para la limpieza de TMI;

-finalmente, demandar la ayuda del gobierno federal en la forma de fondos especiales para investigación y desarrollo, garantías de crédito e incluso la toma de la planta por parte del gobierno.³⁴

Bloqueadas hasta ahora las tres primeras vías de acción, recortado de 292 a 170 millones de dólares el crédito revolvente proporcionado por un consorcio de 45 bancos, cerrado el acceso al mercado de dinero, la GPU ha vuelto los ojos al gobierno federal como último recurso para salir del atolladero con su problema de financiamiento. Lo ha hecho, según explican sus directivos, no como quien pide caridad sino aduciendo que si el gobierno fortaleció el desarrollo de la energía nuclear y fijó las reglas de seguridad, debe también responsabilizarse de financiar las re-

paraciones, sobre todo tratándose de problemas como el de TMI, que trasciende a los dos estados afectados. Por ello, afirman, si se logra crear un seguro especial contra desastres como éste, se podrá restaurar la confianza del público y la industria nuclear saldrá más beneficiada.³⁵

Las peticiones de GPU se han topado con obstáculos y división de criterios tanto a nivel estatal como federal. Sin embargo, algunas medidas recientes indican que el Departamento de Energía asumirá una parte de la carga financiera, con lo cual se soluciona por lo pronto el problema de la quiebra de la empresa.³⁶ Por lo demás, como lo advirtieron muchas veces los analistas de la industria y los expertos del gobierno, con la insolvencia de GPU nada se habría resuelto pues la descontaminación de la central debería llevarse a cabo de todas formas. Resulta en efecto inconcebible dejar la planta convertida en cementerio de miles de metros cúbicos de agua altamente radioactiva. Entre tanto, por encima de esta intensa polémica y al margen de cualquier otra duda se alza, escueto y frío, un hecho irrefutable: independientemente de quiénes paguen las reparaciones, de la forma en que se integre el fondo de rescate y de la suerte que corran GPU y su dañada planta, los costos totales del accidente habrán de medirse en años y en sumas muy cuantiosas de dinero.

LOS PLANES NUCLEOELECTRICOS DE MEXICO

"Además de las dos plantas nucleoelectricas que deberán estar en operación en 1990, se propone iniciar a partir de 1981 la selección de sitios y tecnología para las unidades que empezarán a funcionar durante los años noventa. El objetivo planteado es que a finales de siglo se tengan instalados 20,000 MW de capacidad nuclear."

Programa de Energía 1980.

Durante los casi cuarenta años de su explotación comercial, la energía nucleoelectrica ha tenido que sortear problemas de muy diversos tipos para afirmarse como una opción energética capaz de competir en eficiencia y seguridad con las fuentes de energía tradicionales. Gracias a una eficaz campaña de promoción realizada por los fabricantes de reactores con el apoyo entusiasta de gobiernos y de organismos internacionales, la industria nuclear creció aceleradamente hasta principios de los setenta y se convirtió en fuente importante de energía para una docena de países. Otros más empezaron a incursionar en sus dominios, llevados de las promesas de obtener electricidad abundante a través del átomo barato.

Desde mediados de los setenta la euforia pronuclear empezó a perder terreno ante el cuestionamiento creciente de las bondades de la nucleoelectricidad. Esta seguía siendo asediada por los problemas de siempre pero algunos se habían hecho más notorios con el paso del tiempo y el cambio de circunstancias. El problema económico más que ningún otro, porque la competitividad de la energía nuclear había dejado de ser una promesa para convertirse en una dudosa realidad. La crisis económica hacía las veces de tijera que recortaba los programas nucleoelectricos de muchos países, al deprimir por un lado los pronósticos de demanda de electricidad y elevar por otro los costos de las inversiones nucleares.

Justamente al inicio de este nuevo ciclo depresivo de la energía nuclear, el más agudo y prolongado de su corta historia, surgió el primer proyecto nucleoelectrico de México. La central de Laguna Verde ha pasado por múltiples vicisitudes y

al cabo de 11 años de construcción todavía plantea dudas sobre su terminación y puesta en marcha. Uno de sus problemas más serios han sido los retrasos y costos crecientes en que ha incurrido. Esta problemática cuadra perfectamente con el análisis adoptado a lo largo de este trabajo. Creemos que una aplicación de los indicadores utilizados con respecto a los países industrializados arrojará luz sobre uno de los aspectos más controvertidos del proyecto de Laguna Verde y parcialmente también sobre el pospuesto programa nucleoelectrico 1980-2000.

La participación de México en la energía nucleoelectrica se inicia en 1973 con la construcción de la central de Laguna Verde, adquiere una enorme pero sólo momentánea importancia en 1980 con el anuncio de un ambicioso programa de 20,000 MW, y se hunde en la incertidumbre a partir de 1982 con el aplazamiento indefinido de dicho programa a raíz de la crisis económica. Pese a lo errático de esta evolución, la decisión de incursionar en el terreno nucleoelectrico ha descansado en una racionalidad múltiple y consistente. En primer lugar, al propósito de ir desplazando a los hidrocarburos en la generación de electricidad y de facilitar mediante la energía nuclear la diversificación de fuentes energéticas. En segundo término, a la necesidad de satisfacer una demanda creciente de electricidad derivada del rápido crecimiento del país. En tercero, a la conveniencia de aprovechar la competitividad económica de la energía nucleoelectrica. Y en cuarto, al deseo de crear una industria nuclear nacional a partir de la adaptación de tecnologías importadas.

Los criterios anteriores, sobre todo los tres primeros, han sido los argumentos típicos en la justificación de motivos de los programas nucleoelectricos que se emprendieron o ampliaron durante la primera mitad de los setenta. De hecho,

en esa época los responsables de las decisiones en esta materia en todos los países compartían una visión bastante homogénea del contexto energético, en el cual concurrían las expectativas de un crecimiento sostenido de la demanda de electricidad durante el decenio, la determinación de reducir la dependencia del petróleo importado y la esperanza de que la elevación de los precios del petróleo hiciera atractivos los costos de la energía nuclear.

Aun cuando los primeros estudios sobre la conveniencia de instalar una planta nucleoelectrica en México se remontan a 1966, la compra de los dos reactores se llevó a cabo en 1972 y 1973, años del último gran ciclo de expansión de la industria nuclear en el mundo. Cabe recordar que entre 1970 y 1974 las compañías eléctricas en Estados Unidos hicieron nada menos que 104 pedidos de reactores de potencia. Un ambiente de euforia pronuclear debió estimular a algunos de los promotores del proyecto mexicano a encontrar circunstancias y razones internas con que fundamentar y legitimar la construcción de la central.

LOS VAIVENES EN LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD

Una de las consideraciones de más peso giró en torno a los requerimientos futuros de electricidad. Se tenía como antecedente el histórico período del "milagro mexicano", caracterizado por un índice de crecimiento promedio de la economía del 7 por ciento durante el segundo quinquenio de los setenta, y como horizonte la expectativa de mantener una trayectoria de crecimiento semejante en la década siguiente. La central de Laguna Verde cubriría parte de la demanda de electricidad en el sistema interconectado nacional.

Entre 1970 y 1981 la demanda de energía eléctrica creció al 9.1 por ciento anual en promedio, por lo que fue necesario

duplicar la capacidad instalada cada 7 años. La generación de energía eléctrica creció en el mismo lapso a una tasa anual de 9.0 por ciento, hasta llegar a 73,225 GWH en 1982.¹ Esto se dio en un contexto de crecimiento económico acelerado entre 1978 y 1981, que promedió un nuevo récord del 8 por ciento. Por ello las expectativas que sustentaron el proyecto de Laguna Verde se vieron ampliamente superadas por la realidad. Sin embargo, la central no entró en operación en la fecha originalmente prevista - 1977/1978 -, por lo cual la elevación en la demanda de electricidad tuvo que satisfacerse a través de plantas convencionales, como la hidroeléctrica de Chicoasén.

Con base en los nuevos índices de crecimiento y en las estimaciones del comportamiento presumible del mercado mundial de petróleo durante los ochentas, las autoridades energéticas pronosticaron las necesidades de capacidad instalada de generación para fines de siglo y la parte que le correspondría aportar a la energía nuclear. El Plan Global de Desarrollo (abril de 1980) asignaba al sector eléctrico un crecimiento anual del 10.7 por ciento durante el trienio 1980-1982.² El Programa de Energía (noviembre de 1980) modificó esa cifra elevándola al 12 ó 13 por ciento y haciéndola extensiva a todo el decenio de los ochenta.³ El Programa basaba sus metas en un escenario B que preveía una tasa media anual de crecimiento del PIB de por lo menos 8 por ciento entre 1980 y 1995, por lo que, tomando en consideración el mayor dinamismo de la economía durante los ochentas, la demanda de electricidad se elevaría una y media veces más rápidamente que el producto interno bruto.⁴

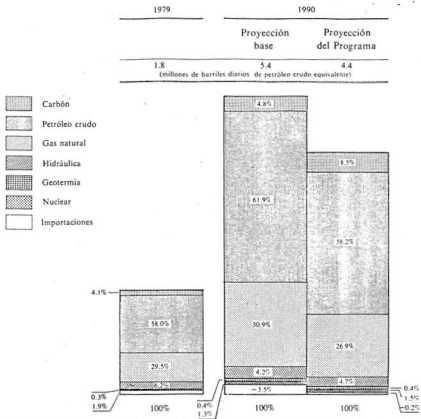
A ese ritmo de crecimiento de la capacidad instalada se hacía imperativo no sólo aumentar la eficiencia de operación sino además acelerar la diversificación energética. Hacia

1980, nueve décimas partes de las necesidades de energía primaria se satisfacían a base de petróleo y gas natural. En cuanto a las otras fuentes, la hidroelectricidad contribuía con el 5 por ciento, el carbón con el 4 por ciento y la geotermia con menos de la mitad del uno por ciento. La necesidad de reducir la fuerte dependencia de los hidrocarburos era particularmente notoria en el sector eléctrico, pues aquéllos representaban en ese momento casi el 70 por ciento de la energía insumida para su transformación en electricidad.

Por ello, a sabiendas de que no era posible modificar en forma significativa la estructura energética del país en el mediano plazo, el Programa de Energía se proponía intensificar los esfuerzos de diversificación durante los ochenta a fin de sentar las bases para fortalecer dicho proceso en el largo plazo. Tanto por razones estratégicas como económicas, los hidrocarburos se volvieron demasiado valiosos como para seguirlos destinando a la producción de electricidad, además de que las energías hidráulica, geotérmica, carbonífera y nuclear resultaban más económicas que la generada a base de dichos combustibles.

De acuerdo con esas consideraciones, el Programa de Energía preveía para 1990 un balance energético integrado por un 85.1 por ciento a base de hidrocarburos, un 15.2 por ciento a base de energías alternativas y un 0.2 por ciento a base de importaciones. De ese 15.2 por ciento, la energía nuclear contribuiría con el 1.5 por ciento, o sea con 2500 MW (véase la Gráfica 1). Esta meta incluía la terminación de Laguna Verde en 1983-84 y la instalación de otra central de tamaño semejante para 1990. Se preveía además la construcción intensiva de unas 20 centrales adicionales en las dos últimas décadas del siglo, a fin de contar en el año 2000 con una capacidad tentativa en operación de 20,000 MW. De cumplirse con esta meta, alrededor del 20 por ciento de la capacidad esperada para fines del siglo sería nuclear.⁵

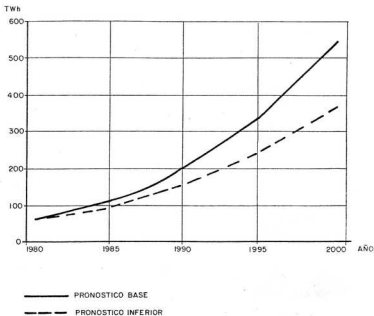
Estructura de la oferta de energía primaria con destino interno, por principales fuentes, 1979-1990



Por su parte, la CFE procedió a rectificar sus pronósticos de Desarrollo del Mercado Eléctrico a mediano (10 años) y a largo plazo (30 años), en consonancia con los objetivos, metas y políticas del Plan Nacional de Desarrollo Industrial (1979), elaborado por la SEPAPIN. Estableció dos pronósticos: uno "base" cuyos efectos se siguen manifestando después de 1990, de forma tal que en el año 2000 se llega a un requerimiento de producción de energía eléctrica de 550 TWh; y un

pronóstico inferior basado en el doble supuesto de que el crecimiento económico del país continúa la trayectoria histórica y que el crecimiento de la población alcanza los 110 millones de habitantes para fines del siglo, con lo cual la demanda de energía eléctrica al año 2000 llega a la cifra de 374 TWh. La comparación de estos pronósticos se presenta en la Gráfica 2.

**PRONOSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA
GRAFICA N° 5**



FUENTE: C.F.E., IMPLANTACION DEL PROGRAMA NUCLEOELECTRICO
CAP. IV PROGRAMA NUCLEOELECTRICO, PAG. 4.

Los planes de CFE se desarrollaron en base al pronóstico optimista de 550 TWh, lo que significa un crecimiento medio anual de 11.5 por ciento partiendo de los 62 TWh que se produjeron en 1980, año en el que se generaron 45.2 TWh (73%) en centrales termoeléctricas y 16.7 TWh (27%) en hidroeléctricas. Esa elevada tasa de crecimiento medio se estimó previendo tasas de crecimiento de la demanda eléctrica de hasta 14 por ciento durante los ochentas, para atender las demandas derivadas de las metas de desarrollo industrial.⁶

De acuerdo con estos planes, se pretendía llegar en el año 2000 a producir 80 TWh (14.5%) en centrales hidroeléctricas, 40 TWh (7.3%) en centrales carboeléctricas y 20 TWh (3.6%) en geotérmicas; los restantes 410 TWh serían producidos a base de hidrocarburos y de centrales nucleoeeléctricas. De alcanzarse la meta de los 20,000 MW de origen nuclear, la participación de los hidrocarburos en el total de la generación eléctrica a fin de siglo sería de 51%.⁷ Y más importante todavía, de lograrse el objetivo programático de crear una industria nuclear nacional y una tecnología nuclear propia, sería posible desarrollar en el siglo XXI un programa masivo de energía nucleoeeléctrica que permitiera desplazar a los hidrocarburos como fuente principal de generación de electricidad.

En algunos documentos de la CFE se constata que el pronóstico alto de 550 TWh para el año 2000 era mirado con ciertas reservas. La experiencia anterior del organismo con los pronósticos a diez años había sido razonablemente buena, pues salvo algunas instancias en las que hubo errores apreciables, tales pronósticos habían resultado acertados. En esos mismos documentos se advierte incluso que si se hubieran extrapolado los crecimientos del PIB propuestos en el Plan Nacional de Desarrollo Industrial, la demanda de electricidad en el año 2000 habría alcanzado los 870 TWh. En cambio, incorporando los ob

jetivos del Plan hasta 1990 y diversos supuestos para la década siguiente tanto en términos de crecimiento de la población como de comportamiento de la economía, se vio que el rango de valores para la demanda oscilaba entre 400 y 650 TWh, y se consideró que 550 TWh constituyeran el caso más probable. Aún así, se pensó que en el caso de que tales supuestos no se dieran, el programa de construcción de capacidad instalada con base en los hidrocarburos seguía siendo tan amplio que absorbería cualquier variación a la baja que pudiera presentarse.⁸

Este modo de razonar resultaba en verdad muy pobre y como consuelo muy ineficaz, pues en el caso de fallar los pronósticos lo que se debería sacrificar sería alguno o algunos de los proyectos de diversificación, como de hecho ocurrió. Obviamente, la víctima obligada en razón de su volumen y alto costo fue el programa nucleoelectrico. En efecto, la crisis económica alteró por completo el panorama de crecimiento económico en que este programa se sustentaba. La contracción abrupta de la actividad económica redujo a 7.3 por ciento el crecimiento de la demanda en 1982, y en el presente año se espera que sea menor al 5 por ciento.⁹ En las actuales circunstancias resulta imposible revisar los pronósticos de la demanda futura de electricidad, y para cuando los ajustes se realicen las estimaciones serán mucho más modestas que las que se manejaron hace apenas dos o tres años. Esto significa recortar en forma sustancial el número de centrales nucleoelectricas, si es que la decisión de construir las se mantiene. Pero en tal caso habría que actuar con suma cautela pues con un número reducido de centrales no se obtendrían ahorros por economías de escala ni en la fabricación de equipos y componentes, ni en la construcción, ni tampoco en la capacitación de personal. Esta circunstancia probablemente haría prohibitivo el costo de esas nucleoelectricas, además de que desvanecería por completo el incentivo de desarrollar una industria nuclear de bienes de capital.

Como quiera que sea, y haciendo caso omiso de las discrepancias existentes en las estimaciones de los diferentes documentos y dependencias oficiales, el fenómeno de "las infladas expectativas de principios de los setenta" de que hablaba A. Lovins refiriéndose a los pronósticos de demanda de electricidad en Estados Unidos y en otros países avanzados, se dio también en México una década después y fue en parte responsable del derrumbe de su programa nucleoelectrico. Una combinación letal de baja demanda de electricidad y altos costos de las inversiones nucleares condujo en Estados Unidos a cancelar un centenar de centrales nucleares durante los últimos cinco años, y en México a aplazar de un solo golpe las veinte centrales planeadas. Vale la pena analizar ahora el papel que ha desempeñado en México el componente económico propiamente dicho.

LA ESPIRAL DE COSTOS

Entre las razones que indujeron a instalar una planta nucleoelectrica en México, las consideraciones económicas desempeñaron un papel fundamental. El dictamen presentado por una comisión intersecretarial en julio de 1970, que sería revisado meses después y serviría de base a la decisión final, incluía cinco consideraciones principales que hacían aconsejable la adquisición de la tecnología nuclear:

1. Los costos menores del combustible nuclear durante la vida útil de la central (40 años) compensarían los costos superiores de la inversión nuclear (en comparación con los requeridos para una termoelectrica convencional) y, de continuar la tendencia relativa de los costos futuros para combustibles fósiles y nucleares, probablemente la nucleoelectricidad resultaría más barata que la electricidad de origen fósil.

2. El financiamiento ofrecido a la CFE para la central nuclear era mejor que los disponibles para plantas convencionales.
3. La inversión adicional en energía nuclear con respecto a la inversión en las plantas térmicas tradicionales que serían desplazadas, causaría tan sólo un incremento promedio del 3 por ciento en el programa de inversiones de la CFE durante el período de construcción de la central nuclear (cinco años).
4. Teniendo en cuenta el peso de los costos de combustible, la instalación de una nucleoelectrica tendría sobre la balanza de pagos un impacto si milar al del emplazamiento de una termoeléctrica.
5. Ante la escasez de nuevos aprovechamientos hidro eléctricos de gran capacidad y la necesidad de satisfacer el consumo futuro mediante nuevas uni dades a base de combustóleo, la planta nuclear propuesta permitiría sustituir aproximadamente 8 millones de barriles de ese combustible por año.¹⁰

» Aun cuando las consideraciones anteriores en su conjunto reforzaban la creencia en la rentabilidad económica de la energía nuclear, hubo amplias deliberaciones en los grupos de estudio sobre cuál de las tecnologías disponibles en el mercado era la más conveniente para México, en razón no solamente del rendi miento económico sino también de los requerimientos del país en materia de independencia energética -seguridad del suministro de combustible-, transferencia efectiva de tecnología, participación de la industria nacional y desarrollo científico interno.

En el concurso convocado para seleccionar la tecnología, la Atomic Energy of Canada Ltd. retiró la oferta de su reactor CANDU y fue elegido el reactor de uranio enriquecido y agua ligera, en la versión de agua en ebullición fabricado por la General Electric. En septiembre de 1972 se firmaron cartas de intención con esta compañía para la compra de una primera unidad de 654 MW y con Mitsubishi para el suministro del generador de turbina. Al año siguiente se repitió la operación para la adquisición de la segunda unidad, esta vez pasando por encima de la impugnación hecha por la Gerencia de Planeación y Programa de la CFE, que recomendaba no se comprara por considerarla inco¹¹steable.

Existe un amplio consenso que comparten expertos del sector energético y observadores externos en torno al hecho de que la central de Laguna Verde fue concebida como un proyecto aislado y de que su construcción se decidió atendiendo a un criterio eminentemente económico. Estas dos circunstancias estaban muy relacionadas y explican en buena parte la problemática de la central. Ni el OIEA, enfrascado en su actividad poco discriminatoria de diseminar por doquiera los usos pacíficos de la energía nuclear, ni los consultores norteamericanos, obviamente interesados en capitalizar el mercado nuclear potencial de México, ni las autoridades mexicanas, quizá tan propensas como las de otros países a creer en las promesas ilimitadas del átomo barato, se preocuparon de que el proyecto de Laguna Verde formara parte, si no de un programa nuclear como tal, que en esa época no era factible,¹² sí al menos de un plan amplio y coherente del sector eléctrico que contemplara las vinculaciones y los apoyos necesarios de los sectores industrial, científico y educativo del país. Además, cuando el proyecto se inició, el sector nuclear se encontraba en proceso de formación, sin una estructura jurídica sólida ni una organización institucional suficientemente diversificada.¹³

Por otra parte, el enfoque economicista del proyecto hizo que quedaran relegadas a segundo plano las cuestiones de transferencia tecnológica y de participación de la industria nacional en la construcción de la central. El hecho de que esta última se iniciara sin haber cubierto debidamente los aspectos básicos de ingeniería de detalle demuestra hasta qué punto prevaleció la idea de que se estaba comprando simplemente una central nuclear, sin mucho percatarse de que con ella se estaba comprometiendo también la soberanía energética del país en ese campo.¹⁴

No deja de ser paradójico que pese a todo el cuidado que se puso en demostrar la viabilidad económica de la central, ésta haya resultado a la postre tremendamente costosa. Porque si algo muestra la evidencia al cabo de diez años de construcción es un notorio desfasamiento entre las expectativas y los hechos, lo que a lo largo de este trabajo hemos señalado como una falta de correspondencia característica de las inversiones nucleoelectricas entre los costos estimados y los costos reales.

Por importante que sea para los efectos de este análisis tener una idea por lo menos aproximada del monto de recursos financieros invertidos en Laguna Verde y de lo que aún resta por erogar, nos topamos con la enojosa realidad de la falta de cifras oficiales sucesivas y comparables en la materia. Por el contrato de compra de los dos reactores sabemos que el precio del equipo y los servicios para las dos unidades fue de U.S.\$ 56,073,676.00.¹⁵ Pero, ¿a cuánto ascendía la inversión total estimada? Un investigador al que ya hemos citado ofrece una cifra de 128 millones de dólares que nos parece excesivamente baja para las dimensiones del proyecto.¹⁶ Es más creíble la noción que comparten algunos técnicos de CFE de que se acercaba a los 6,000 millones de pesos (unos 470 millones de dólares). De aquí saltamos a ciertas estimaciones ofi

ciales más recientes pero sin mucha correspondencia entre sí y expresadas a precios corrientes. De acuerdo con una proyección de SEPAPIN de agosto de 1980, el costo total de la inversión sería de 52,300 millones de pesos; y de acuerdo con cálculos (extraoficiales) de la CFE, el gasto acumulado en Laguna Verde, a pesos de mayo de 1982, llegaba a 37,000 millones de pesos, y el costo total de la inversión alcanzaría los 58,300 millones de pesos.¹⁷

Aun cuando fueran fidedignas, estas últimas cifras no nos dicen nada sobre los costos reales de la inversión pues no están expresadas en pesos constantes de 1972. Numerosas evidencias indican que los costos de capital de Laguna Verde han sufrido una escalada impresionante pero no tenemos cifras confiables en que fundamentarlo. Una posible explicación de esto es que no existe la disposición oficial de entregar esa información al público. Para obtenerla sería preciso quizá realizar una auditoría en el mismo Laguna Verde o en la CFE. Otra explicación, que no excluye a la anterior, es que el proyecto en sí mismo, por su propia naturaleza y complejidad, hace difícil llevar una contabilidad cronológica sucesiva. Parece poco factible hacer un corte de caja exacto en un momento dado porque no necesariamente hay una coincidencia temporal entre desembolsos, entregas de componentes y avance de la obra. Lo ilustra el caso del combustible. Según versión extraoficial, el costo de la primera carga fue de 50 millones de dólares. Una parte se pagó al momento de ordenarla (1974) y el resto a su entrega (1980). La carga se encuentra almacenada desde entonces; para cuando sea utilizada, una parte de ella se podría haber deteriorado, por lo que habría necesidad de repararla; esto representaría un costo adicional. Por otro lado, están los costos de oportunidad de la inversión, entre otros los intereses de ese capital, que también deberán contabilizarse. ¿Cuánto ha costado ese combustible a la fecha y cuánto habrá costado al fi-

nal? La contabilidad general se complica adicionalmente con las variaciones en las tasas de interés y en el tipo de cambio.¹⁸

A principios de 1983, el primer reactor registraba un avance de aproximadamente 75 por ciento, y el segundo, cuya obra civil se suspendió en 1982, un avance del 40 por ciento. Dado que aún quedan varios años de construcción por delante, resulta muy difícil, si no imposible, determinar en cuántas veces superará el costo real al estimado. Para evaluar el costo global de la inversión habrá que esperar hasta que las dos unidades entren en operación comercial, y en ese momento los cálculos deberán ajustarse a los índices de inflación (nacionales e internacionales) y a las devaluaciones del peso ocurridas desde 1976. Lo relevante para los efectos de este trabajo es constatar que más allá de cualquier ajuste o equilibrio contable que se haga, Laguna Verde le costará al país lo nunca imaginado ni previsto.

La causa fundamental del encarecimiento de los costos de la central es el alargamiento del período de construcción. De acuerdo con las fechas fijadas por la CFE y la General Electric al suscribir el contrato de compra del equipo, la unidad 1 de Laguna Verde iniciaría su operación comercial el 23 de agosto de 1977 y la unidad 2 exactamente un año después.¹⁹ Según esto, en agosto de 1983 la primera unidad cumple seis años de retraso, y para 1986, última fecha prevista para la puesta en marcha, habrá acumulado nueve. Sin embargo, si se toma en cuenta que durante los primeros cinco años a partir de 1972 hubo un avance de sólo el 6 por ciento (!) y que la construcción en firme de la central se inició hasta 1977, entonces se podría aducir que la primera unidad entrará en operación con cuatro años de atraso a partir de los cinco originalmente previstos.²⁰

El hecho es que independientemente de cómo se los interprete, los retrasos sucesivos en la construcción de Laguna Verde, como los de cualquier otra nucleoeeléctrica en el mundo, han significado una elevación incontenible de los costos. Cuanto más intensivo en capital es un proyecto, tanto más las dilaciones en su ejecución lo encarecen. Esta ley ha gravitado con todas sus consecuencias sobre Laguna Verde. Los años de crédito barato se perdieron en un sinnúmero de problemas administrativos y de organización; los años de la construcción masiva de la central han transcurrido bajo el signo del encarecimiento creciente del dinero por la inflación, las altas tasas de interés y las devaluaciones sucesivas. Estos factores han incidido conjuntamente sobre la mayor parte de los sistemas, equipos y servicios, que son importados. De hecho, hemos importado los incrementos de costos del país de origen de la tecnología, en los términos analizados en el capítulo tercero.

Por otra parte, el desarrollo mismo del proceso constructivo se ve afectado directamente por factores nacionales. En primer lugar, por la organización del equipo humano. La CFE, responsable de la instalación de Laguna Verde, no puede escapar por su carácter de empresa estatal al impacto de factores políticos disruptivos: "Los cambios de directores, la cercanía o lejanía de éstos con el Presidente de la República, las pugnas internas en la CFE y los obstáculos que ésta ha enfrentado tanto con miembros prominentes de la comunidad nuclear como con otros grupos de interés en el seno mismo de la estructura gubernamental, son elementos que no han favorecido la buena marcha del proyecto Laguna Verde".²¹ De 1972 a 1977, el período más caótico en la construcción de la central, el proyecto cambió cuatro veces de director, y a la fecha son ya siete el número de éstos. Los múltiples cambios en la administración tanto de CFE como de la dirección del proyecto han implicado cambios en el enfoque del mismo, situación que los observadores coinciden en identificar como la causa fundamental de los retrasos.²²

Otro factor de discontinuidad en el proceso provino de la falta de entendimiento y coordinación con las compañías contratistas extranjeras. Burns & Roe fue la primera empresa contratada para transferir la tecnología de ingeniería de diseño. Dudas, titubeos y cuestionamientos del proyecto en México, negligencias, mala fe e insuficiente nivel técnico del personal de Burns & Roe, condujeron en 1976 a la cancelación del contrato. En febrero de 1977 se le dio el contrato a Ebasco Services Inc., y con él muy amplias atribuciones en materia de diseño, manejo y administración del proyecto y supervisión de la construcción, prácticamente a la manera de un contrato "llave en mano". Pero el avance en la construcción no resultó como se esperaba, por lo que en 1980 se le quitaron a Ebasco ciertas funciones, la CFE asumió la total responsabilidad del proyecto y solo confirió a la transnacional un papel de asesoría.²³

Este continuo pasar la batuta de la dirección y construcción del proyecto de mano en mano y de compañía en compañía es una manifestación clara de una organización administrativa insuficiente y una infraestructura industrial inadecuada para hacer frente a las complejidades de un proyecto nucleoelectrico. Nuestra inexperiencia se ha hecho sentir también en el terreno de la seguridad nuclear. Dada la inexistencia de una reglamentación propia en esta materia, ha habido necesidad de adoptar las normas del país de origen, y con ello las revisiones y/o modificaciones que esa reglamentación ha sufrido ya sea en los procedimientos o en los sistemas y equipos.

Por otra parte, la decisión de comprar y recibir el combustible nuclear a través del OIEA obligó a México a cumplir con las normas aplicadas por el organismo y a hacerle al pro

yecto las rectificaciones que recomendaron sus expertos en diversas misiones de asistencia relacionadas con la seguridad. Además, la necesaria interacción entre la CFE y el incipiente órgano regulatorio nacional -la Subgerencia de Seguridad Nuclear del Instituto Nacional de Energía Nuclear, creada en agosto de 1977 a instancias del OIEA- no procedió en su momento con el entendimiento y la fluidez requerida. Y si a las modificaciones en los criterios de diseño y a los cambios de enfoque del proyecto se agregan los cambios en los requisitos de licenciamiento tendremos un cuadro más completo de los factores que han provocado detenciones, retrocesos y dilaciones en la construcción de Laguna Verde, con el consiguiente incremento en los costos de capital.²⁴

Los técnicos de la CFE consideran que a partir de 1980 la construcción de la nucleoelectrónica entró en una fase de normalización, sobre la base de una mejor organización y de una mayor coordinación entre las diferentes entidades involucradas. Sin embargo, subsisten problemas que provocan atraso en las obras de la primera unidad. El 85 por ciento de ellas, a fines de diciembre de 1982, se atribuyen a la falta de abastecimiento de equipo, principalmente eléctrico. A pesar de que el 98 por ciento de los equipos ya están comprados, parte de ellos no habían podido pasar la aduana o salir de los puertos debido a las restricciones arancelarias implantadas con motivo de los problemas económicos del país. De no acelerarse su trámite, el retraso de la construcción podría alargarse aún más.²⁵

Los retrasos acumulados en la construcción de Laguna Verde implican una elevación creciente de sus costos por dos razones fundamentales: 1) por el costo adicional en la construcción y el equipo debido al encarecimiento del financiamiento,

y 2) por el costo de la energía no producida. Habiendo tratado ya el primer punto, conviene hacer una somera referencia al segundo.

Una de las consideraciones económicas que se manejó en los estudios de factibilidad de Laguna Verde se refería a la conveniencia y necesidad de sustituir 8 millones de barriles de combustóleo por año.²⁶ El cálculo debió hacerse teniendo en cuenta que la nucleoelectrica operaría con sus dos reactores. En consecuencia, las pérdidas por sustitución deberán estimarse a partir de la fecha en que cada una de las dos unidades estaba programada para iniciar su operación comercial, bien sea que se utilicen como base las fechas originalmente establecidas por la CFE y la General Electric, o bien las que fijaron CFE y Ebasco para la entrada en operación de la primera unidad. No tiene mucho sentido tratar de hacer aquí esos cálculos porque son muchos los imponderables que intervienen. No sólo no sabemos si la primera unidad comenzará a operar en 1986, como se tiene planeado, sino que además ignoramos cuál será la suerte de la segunda unidad. Sin embargo, consignamos el hecho porque los costos en que finalmente se incurra por este renglón deberán integrarse al voluminoso expediente de sobregiros en costos de Laguna Verde.

CONSIDERACIONES ADICIONALES

En 1982 los planes nucleoelectricos de México sufrieron dos serios reveses: la suspensión de la obra civil en la segunda unidad de Laguna Verde y la cancelación del programa de 20,000 MW, que en una primera etapa contemplaba la construcción de una central gemela de Laguna Verde. Ambas decisiones estuvieron influenciadas por la nueva situación económica del país, pero en la primera pesaron más otras consideraciones.

En efecto, ni la escalada de costos ni la crisis económica fueron los factores determinantes de tal suspensión. El advenimiento de la crisis impuso a la CPE la necesidad de evaluar sus diversas plantas en construcción y de reasignar los recursos disponibles hacia los proyectos más seguros; la aplicación de este criterio debió ser lo que condujo a adoptar la decisión mencionada.

Una serie de evidencias disuadían de seguir invirtiendo en Laguna Verde como se había venido haciendo. La central acusa déficit que no son exclusivamente financieros; los números rojos son en gran parte una consecuencia de la concatenación de fallas en otros órdenes. Laguna Verde no ha contado con la participación de la industria y del personal científico nacionales en el grado requerido, ni ha contribuido a dinamizarlos como previeron sus promotores. Sin minimizar la experiencia adquirida por los técnicos mexicanos en el manejo de algunos elementos inherentes a la construcción de centrales nucleares, como tampoco los progresos alcanzados en la dirección del proyecto e incluso en materia de reglamentación de seguridad, se debe reconocer sin embargo que dependemos totalmente del extranjero para continuar el proyecto. En estas circunstancias lo más conveniente era reducir las dimensiones de la obra concentrando los esfuerzos y recursos en el reactor más adelantado a fin de sacarlo adelante en el menor tiempo posible y de obtener los permisos de operación sin contratiempos.

Alguien podría argumentar que la decisión de posponer la obra civil de la segunda unidad no fue resultado de un razonamiento de este tipo sino exclusivamente del apremio económico. Si éste hubiera sido el caso sería muy lamentable, pues revelaría que los responsables de las decisiones en el terreno

energético son incapaces de sacar lecciones de la experiencia y que hacen depender los cambios saludables de estrategia más del juego de fuerzas macroeconómicas que de evaluaciones objetivas. Pero cualquiera que haya sido la racionalidad de fondo, las dos decisiones a que venimos aludiendo resultaron altamente benéficas para el país. En el primer caso, porque la conclusión exitosa de la unidad 1 de Laguna Verde demostrará que los mexicanos tienen la capacidad técnica y administrativa suficiente para reanudar con mayor seguridad las obras en la unidad 2. Y en el caso del programa nucleoelectrico al año 2000, porque su cancelación brinda la oportunidad de hacer un replanteamiento exhaustivo del programa nuclear en su conjunto, ponderando su viabilidad en términos de los recursos humanos, técnicos y financieros disponibles y redefiniendo con el mayor realismo posible sus dimensiones y ritmo.

De las reflexiones anteriores se desprende una conclusión importante: la decisión de implantar un programa nucleoelectrico en un país en desarrollo como México debe depender no sólo de consideraciones económicas sino también de la ponderación de factores tales como personal científico y técnico, infraestructura industrial, reservas de uranio, recursos financieros propios, costo político, etc. Ya se cometieron dos graves errores de enfoque en los estudios de factibilidad al tratar de demostrar antes que nada la rentabilidad económica de la energía nuclear, basándola en el doble supuesto de la competitividad frente a otras fuentes y de una amplia disponibilidad de crédito externo.

El primero de esos errores fue obviamente con relación a Laguna Verde. A pesar de que no hemos contado con cifras confiables para calcular sus verdaderos costos, el análisis realizado hasta aquí aporta material suficiente para predecir,

sin temor a exageración o equivocaciones, que al momento de la entrada en operación de las dos unidades, la central caerá fuera de toda competitividad económica. Producirá electricidad -al menos esa es la esperanza o el consuelo que nos queda-, pero a un costo altísimo y fuera de toda proporción con respecto al costo del kilovatio generado por las plantas convencionales. Aun cuando los precios futuros del uranio se eleven menos aceleradamente que los del petróleo, el costo del combustible residual que alimenta a las centrales termoeléctricas acabará cancelando toda pretendida ventaja comparativa de la energía nucleoelectrónica.

El segundo error fue mucho más notorio y patético porque se relaciona con el ambicioso programa de 20,000 MW, cuyo costo a precios de 1980 oscilaba entre 30,000 y 40,000 millones de dólares, casi la mitad de la deuda externa del país a fines de 1982. En este caso, los estudios de factibilidad económica concluyeron que las inversiones requeridas para desarrollar el programa eran, a pesar de su gran cuantía, equivalentes y aun menores que las necesarias para efectuar los proyectos hidroeléctricos mexicanos, eran del mismo orden de magnitud que las requeridas para energía geotérmica y, en virtud del precio vigente del petróleo, resultaban competitivas frente a las termoeléctricas convencionales. Para financiar el programa, México canalizaría una parte de los ingresos provenientes de la exportación de petróleo y aprovecharía las ventajosas condiciones de crédito y de pago que los proveedores nucleares estaban dispuestos a otorgarle. Ya sabemos en qué quedaron esos grandiosos planes al cambiar la situación económica del país.

El análisis de los costos reales de la energía nuclear tiene plena validez en México, siempre y cuando se aplique a segmentos de experiencia suficientemente amplios y significativos. El realizado aquí es más bien un ejercicio de aproximación

mación y ello por dos razones muy obvias: la construcción de la central de Laguna Verde sólo lleva un avance del 60 por ciento y hasta ahora contamos con información muy escasa, fragmentaria y poco confiable.²⁷

Pero para tener una explicación más completa de los problemas que enfrenta nuestro incipiente desarrollo nuclear se requieren otros enfoques complementarios al económico, en los que se contemplen los demás elementos constitutivos de un sector y una industria nuclear propiamente dichos. Es preciso repetirlo: los costos crecientes de Laguna Verde están en parte vinculados a la importación de equipos, combustibles y servicios conexos, pero derivan también en gran medida de las deficiencias estructurales de nuestro medio, desde las educativas hasta las industriales, pasando por las organizativas. Estas áreas deben ser estudiadas a fondo para conocer su verdadero potencial de absorción de la tecnología nuclear sin efectos disruptivos, sean éstos económicos, sociales o políticos. En este contexto habrá que examinar también con sumo cuidado las implicaciones políticas y sociales que acarrearía el embarcarse en un programa nucleoelectrónico de envergadura.

En lo tocante a la variable económica, se advierten en el mundo dos corrientes paralelas pero de dirección contraria: una que acumula evidencias sobre los verdaderos costos de la energía nuclear y la otra que tiende consistentemente a subestimarlos. A favor de la primera está la experiencia actual del crecimiento cero o negativo de la energía nuclear en los países industrializados, especialmente en los Estados Unidos. La segunda se expresa a través de una constante histórica muy clara: los costos de inversión de las centrales nucleoelectrificadas superan siempre con creces las estimaciones originales.

Una evidente pobreza de prognosis subyace a este fenómeno y encuentra su explicación en dos hechos fundamentales: por un lado, la escasa o nula capacidad de aprendizaje de la industria nuclear, que impide introducir mejoras sustantivas en el diseño y funcionamiento de las centrales nuevas a partir de las disfunciones observadas en las centrales anteriores; y por otro, la enorme dificultad (o quizá incapacidad) para incorporar en las proyecciones de costos los incrementos provenientes de muchos otros factores además de la inflación.²⁸

A pesar de lo somero del presente análisis resulta evidente que México no se ha librado de caer en los escollos mencionados: al principio estimaciones optimistas, y a la postre sobregiros en costos deprimentes. Pero habiendo tantos elementos en juego en la decisión de introducir la energía nucleoelectrica en el país, es urgente empezar a aprender tanto de la experiencia ajena como de la propia. Aun cuando contáramos con los abundantes recursos financieros que hace tres años creíamos poseer, no tenemos bases para seguir alimentando las expectativas engañosas en los bajos costos de la energía nuclear. Lo que ocurre fuera de México y lo que Laguna Verde nos enseña ya a estas alturas basta para reconocer que el oasis de la nucleoelectricidad barata es un auténtico espejismo. En consecuencia, cualquier estudio de viabilidad económica que se emprenda en el futuro deberá basarse en proyecciones de costos más completas y realistas.

¿Es necesaria la energía nuclear en México? ¿Es una opción energética viable? Trátase de dos preguntas distintas a las que se debe responder por separado. Luego habrá que juntar las respuestas y sacar conclusiones. Si se responde afirmativamente a la primera pregunta, por la sencilla razón de que "no hay de otra", pero negativamente a la segunda, entonces la única estrategia coherente será hacer a la energía nuclear viable por necesidad o hacerla viable "a fuerzas".²⁹

Esto se traduciría en una serie de políticas bien coordinadas tendientes a intensificar la capacitación de personal, impulsar la investigación básica y aplicada, cuantificar las reservas de óxido de uranio, desarrollar una industria nuclear de bienes de capital y reestructurar el sector nuclear sobre bases de mayor productividad.

Es de lamentar que el Plan Nacional de Desarrollo no haya hecho una referencia explícita a los planes de la presente administración en materia de energía nucleoelectrónica. No deja de provocar extrañeza el silencio absoluto en torno al programa de 20,000 MW, así como el hecho de que se mencione a la nucleoelectricidad sólo como una de las tantas vías posibles a la diversificación. Cabe esperar que el programa de energía a mediano plazo vuelva a rescatar el asunto, pues aun que en este momento no hay recursos para nuevas inversiones nucleares, se debe dar una respuesta precisa desde ahora a las preguntas fundamentales formuladas en el párrafo anterior. El compromiso con la energía nuclear no admite titubeos ni improvisaciones. Ya hace tiempo que venimos pagando los altos costos de tales actitudes.

CONCLUSION

La primera y más obvia conclusión de este trabajo es que la nucleoelectricidad es una energía cara. Tanto en términos absolutos como relativos -esto es, considerándola en sí misma o en comparación con otras fuentes energéticas equiparables- la energía nuclear ha resultado ser menos viable económicamente de lo que se esperaba. No se han obtenido los ahorros de las economías de escala ni alcanzado la normalización de las centrales y de los componentes más importantes; la experiencia acumulada en la construcción y explotación de plantas nucleares no ha redundado en un acortamiento de los plazos de maduración de estos proyectos ni en una reducción de los costos de operación; tampoco se ha podido evitar que el mejoramiento de los niveles de seguridad repercuta negativamente elevando los costos y disminuyendo la confiabilidad de este tipo de energía. En suma, no sólo no se han visto realizadas las expectativas con respecto a una futura estabilización y la ulterior declinación de los costos, sino que ha acabado por imponerse la realidad contraria: la nucleoelectricidad se ha vuelto cada vez menos económica y competitiva frente a la electricidad generada por combustibles fósiles tradicionales.

Este hecho acarrea dos consecuencias importantes. En primer lugar, destruye el mito del átomo barato e invalida uno de los argumentos favoritos con que solía justificar el recurso a la tecnología nuclear para fines de generación eléctrica. A la luz de los descalabros y vicisitudes de los últimos años y de los modestos desarrollos previsibles en lo que resta del siglo, ninguna persona informada se atrevería a revivir la esperanza, tan difundida en otros tiempos, de llegar a disponer de electricidad tan abundante y barata que no habría necesidad de medirla. En segundo lugar, cancela para muchos países la posibilidad de acceder a la utilización

de la energía nuclear en el campo energético.

Parece existir una correlación significativa entre el grado de encarecimiento de las inversiones nucleares y el ritmo de crecimiento de la industria nuclear en el mundo. De hecho, los primeros veinte años de expansión acelerada de la nucleoelectricidad corrieron parejas con la falta de experiencia real sobre sus costos. Esta situación se acentuó más en Europa que en Estados Unidos, pero el proceso fue básicamente el mismo: la demanda de reactores obedeció no a la demostración fehaciente, mediante análisis fidedignos, de los costos reales, cuanto a la presión ejercida por los proveedores a través de poderosas campañas comerciales en las que se exaltaba la competitividad de los sistemas nucleares con base en promesas y estimaciones optimistas de bajos costos. La agresividad de los fabricantes de reactores contó también con el apoyo decidido de sus gobiernos y del Organismo Internacional de Energía Atómica para la apertura de mercados promisorios en los países en desarrollo, algunos de los cuales, como Irán y Brasil, se embarcaron en programas nucleoelectríficos sumamente ambiciosos pero que lo habrían sido menos si se hubiesen basado en cálculos de costos más realistas.

No fue casual por ello que a medida que se conocieron mejor los verdaderos costos de los proyectos nucleares y que se contó con evaluaciones más completas del rendimiento efectivo de las centrales nucleoelectríficas, la mayoría de los países procedieran a revisar sus previsiones de capacidad nuclear instalada. A esta apreciación, junto con la baja en la demanda de electricidad, se debe el lento descenso, primero, de las proyecciones a corto plazo (1975 y 1980), y luego la espectacular caída desde 1975 de las proyecciones a largo plazo (1990 y 2000). Incluso con la crisis del petróleo de mediados de los setentas y con la adopción de programas nacionales destinados a sustituir el petróleo por otras fuentes de

energía, las proyecciones de la capacidad nuclear efectuadas a finales de esa década, correspondientes a 1990 y 2000, cayeron en picada. Es decir, este acusado descenso se produjo a pesar de que el precio del petróleo se multiplicó al menos por siete y a pesar de que muchos países modificaron sus políticas energéticas en vista de una posible escasez de hidrocarburos.

Todo mundo parece estar de acuerdo en que no existe un futuro nuclear fácil. Sobre la energía nuclear gravita toda una constelación de factores de muy diversa índole, cuyas interrelaciones y formas de incidir en el crecimiento de aquella son muy difíciles de prever. Tal es el caso de la evolución del patrón de demanda efectiva de electricidad a largo plazo, cuya estimación resulta una tarea complicada y difícil no sólo con respecto a los países en desarrollo, en constante y a veces imprevisible cambio, sino también con relación a los países avanzados.

Desde la óptica de este trabajo, entre los factores que afectan a la energía nuclear sobresalen los factores macroeconómicos a escala nacional y mundial. Un ejemplo del primer caso es la seria amenaza que para las inversiones nucleares, tanto privadas como estatales, representan las restricciones al gasto público. Tales medidas han disminuido el crecimiento de la energía nuclear en Canadá, donde el gobierno de la provincia de Ontario recortó drásticamente el presupuesto de la compañía Ontario Hydro. Para no ir más lejos, la cancelación de la segunda fase del programa nucleoelectrónico mexicano y la suspensión de las obras en la segunda unidad de Laguna Verde estuvieron motivadas por restricciones de esa naturaleza.

De más difícil previsión y control son los factores a nivel mundial. La recesión de los últimos años con sus efec

tos depresivos sobre la demanda de electricidad, y la inflación con su secuela de encarecimiento de los costos, obligaron a muchos países a ajustar sus programas nucleares. Pero así como el alza en los precios del petróleo no produjo automáticamente los efectos saludables para la industria nuclear que se esperaban, así tampoco se puede asegurar que una reactivación de la economía internacional actuará por sí sola sacando a esta industria de su estado de atonía.

Igualmente importantes para la recuperación y aun para la supervivencia de la energía nucleoelectrica como opción energética viable son los ajustes y cambios que deben operarse en la propia empresa nuclear. Si la depresión por la que atraviesa esta fuente de energía ha de ser sólo un ciclo transitorio hacia una nueva fase de expansión y no un estado final de agonía que conduzca a su desaparición, la industria nuclear deberá emprender la tarea fundamental de hacerla nuevamente aceptable a los gobiernos y al público en general. Esta enorme campaña deberá librarse en varios frentes, que para efectos de simplificación se pueden agrupar en dos: el frente de la seguridad y el frente de la economía.

No se le puede pronosticar una larga vida a la energía nuclear, al menos en los Estados Unidos, si un accidente como el de Three Mile Island tiene 50 por ciento de probabilidades de ocurrir cada 400 años/reactor (es decir, en promedio un accidente por año o cada año y medio durante el decenio de los 80), según se afirma en un estudio auspiciado por las compañías eléctricas de ese país. De ahí la necesidad imperiosa de elevar los niveles de seguridad, o sea, de reducir las probabilidades de incidencia de un accidente o su grado de peligrosidad si llega a presentarse. Mediante la combinación de mejoras tecnológicas y de una reglamentación más apropiada y eficaz se deberá lograr que las probabilidad

des de un desperfecto se reduzcan más rápidamente de lo que aumenta el número de reactores. Mucho se ha insistido en la conveniencia de diseñar y comercializar un sistema completamente nuevo que sustituya al actual reactor norteamericano de agua ligera, en particular el de agua presurizada, pero parece lejano aún el día en que la comunidad nuclear (científicos, fabricantes, compañías eléctricas y gobierno) tenga el brío, el capital y la disposición suficientes para acometer tal empresa.

El perfeccionamiento de la seguridad comprende también cuestiones tan importantes como el mejorar la capacitación y el nivel profesional de los cuadros técnicos y administrativos, aplicar en las instalaciones nucleares medidas de guardia y protección superiores a las que se observan en las centrales térmicas e incrementar el aislamiento físico o el confinamiento de las plantas en sitios de escasa población

La gestión y evacuación de los desechos radioactivos en condiciones de seguridad constituye otro punto crucial para una mejor aceptación de la energía nucleoelectrónica. Varios países han establecido sistemas de almacenamiento temporal satisfactorios, pero aunque no se ha ideado todavía una solución definitiva a escala nacional e internacional, hay acuerdo entre los expertos respecto a que ello no representa un obstáculo insuperable.

Sin embargo, muchos grupos opositores manejan los aspectos de la toxicidad contenida en los desechos nucleares y de su gran perdurabilidad en el tiempo para fomentar la animadversión hacia la energía nuclear. Con el concurso de la televisión y de otros medios y sirviéndose del carácter "misterioso" e invisible de la radioactividad, crean el espectro temible de las radiaciones nucleares, cuya sola figuración suele desvirtuar o invalidar cualquier información, aun la más objetiva, tendiente a describir los tremendos per

juicios ecológicos que acarrearía, por ejemplo, un recurso masivo al carbón como el que tendría lugar si se pretendiera sustituir con este combustible a la energía nuclear.

Por ello, una acción necesaria para restaurar la confianza en la energía nucleoelectrica consistiría en efectuar una campaña de educación sobre la naturaleza de las radiaciones, a fin de que tanto el público como los medios lleguen a aceptar el riesgo de la radiación nuclear como no diferente de los riesgos que entrañan otras sustancias nocivas que son producto de la tecnología y cuyos efectos dañinos para la salud o el medio ambiente pueden evitarse adoptando las medidas de control apropiadas.

Con todo, para atraer de nuevo a los amigos distanciados y conquistar otros nuevos se requiere algo más que fortalecer las posiciones en el frente de la seguridad. Aun cuando las mejoras introducidas llevaran al convencimiento de que la tecnología nuclear representa la forma más segura y limpia de producir electricidad, todavía habría necesidad de probar que es también una fuente de energía económica, pues en lo sucesivo sólo 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. Para que se dé un repunte en la demanda de reactores nucleares es preciso que los compradores vean en ello un negocio rentable, y esto no ocurrirá mientras las inversiones nucleares corran el peligro de convertirse en desastres financieros y mientras las plantas en operación no mejoren su eficacia y confiabilidad. En otras palabras, para que la energía nuclear siga siendo una "opción viable", al menos para algunos países, es imperativo abatir los costos de inversión y operación y aumentar la productividad de las centrales nucleoelectricas.

Teniendo en cuenta que los factores económicos dominantes en la generación de electricidad de origen nuclear son la inversión necesaria para la central y el rendimiento de la misma, uno de los mayores problemas a que tiene que hacer frente la energía nucleoelectrónica durante el presente decenio es acelerar la concesión de licencias y la construcción a fin de reducir el costo de la inversión.

El empeño más importante debe orientarse hacia un acortamiento decidido de los plazos de maduración y construcción de las centrales nucleares, sin que ello incida en las elevadas normas de seguridad. Una duración de 10 o más años para un proyecto es innecesaria e inaceptable. La normalización de las centrales y de los componentes más importantes constituye la solución principal y una tarea común de las autoridades concesionarias de licencias, las empresas eléctricas y los proveedores, a escala nacional e incluso internacional.

El procedimiento que se sigue en cierto número de países, consistente en ajustar constantemente la concepción técnica y el diseño de una central durante su construcción, sólo aumenta un poco la seguridad pero incrementa los gastos de manera impresionante. Una definición clara de los criterios básicos que proporcionan un diseño seguro y una administración eficaz del proyecto son preferibles a una modificación constante de los requisitos. 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 incluirla entre las características técnicas de construcción y explotación de la planta nucleoelectrónica; es también la forma más lógica de evitar los graves problemas que puede ocasionar el ajuste retroactivo a

los requisitos reglamentarios una vez iniciada la construcción y explotación.

Aumentar el rendimiento de las centrales nucleoelectricas constituye el segundo gran imperativo en el plano económico. La experiencia de explotación acumulada por la industria nuclear, superior a los 2600 años/reactor, debería ser utilizada para determinar y manejar las causas de las paradas forzosas prolongadas o de las pérdidas de productividad, con miras a mejorar la confiabilidad y, por lo tanto, la economía de la energía nucleoelectrica.

La eficacia comercial y el balance costo-beneficio se hallan directamente relacionados con la disponibilidad de la central. El factor de carga medio, de alrededor del 60 por ciento para todas las plantas 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 por ciento durante largos períodos. Las paradas forzosas 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. Se deben elaborar procedimientos de explotación simplificados que tengan en cuenta todos los aspectos del intercambio hombre-máquina, y hay que lograr un mayor grado de seguridad inherente en los sistemas principales.

Se han mencionado aquí únicamente los requerimientos más urgentes para los próximos años. Los hechos observados permiten suponer que si no se dan pasos firmes y eficaces hacia la consecución de tales 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. Sobre todo en éstos últimos. Con el paso del tiempo

po se ha reducido enormemente el número de aquéllos que pueden aspirar con realismo a incorporar la nucleoelectricidad en sus redes nacionales. De un total de 24 países con reactores nucleares comerciales en operación, sólo seis (sin contar a los países europeos de economía centralmente planificada) son países en desarrollo. La disparidad es todavía más significativa si se atiende a la distribución de la capacidad de generación nucleoelectrica entre ambos grupos de países: en 1980, los países industrializados de la OCDE y los países europeos de economía centralmente planificada poseían casi el 98 por ciento de la capacidad nucleoelectrica del mundo, mientras que los países en desarrollo sólo alcanzaban alrededor del 2 por ciento.

La explicación de esa enorme brecha hay que buscarla no solamente en la limitación de recursos de los países en desarrollo sino también en las restricciones que imponen la propia tecnología nuclear y el sistema comercial ideado para transferirla. A los costos económicos y las dificultades técnicas que representan la adquisición y el dominio de una tecnología tan compleja como la nuclear--costos y dificultades que en los países en desarrollo se acrecientan por el rezago tecnológico y la escasez de recursos financieros-- se añaden otros obstáculos de índole política que hacen aún más onerosa la carga de la empresa nuclear. La conjunción de todos estos factores da cuenta de cancelaciones, recortes y aplazamientos recientes en los programas nucleares de varios países en desarrollo.

La pregunta sobre la viabilidad futura de la energía nucleoelectrica se plantea teniendo en mente a los países industrializados. Es utópico pensar que del mundo en desarrollo puede provenir un fortalecimiento de la industria nuclear en lo que resta del decenio. En la actualidad se advierte una firme tendencia entre los diseñadores y fabricantes hacia

reactores con capacidad de 1000 a 1300 Mw. Las unidades de esta potencia requieren la existencia de una infraestructura en el país en que se han de instalar, es decir, una red eléctrica de suficiente capacidad así como el personal y los servicios necesarios para hacerse cargo tanto del mantenimiento normal como de las situaciones de emergencia. Es evidente que muy pocos países en desarrollo reúnen estas condiciones. Por otra parte, el diseño y la construcción de unidades de menor tamaño no es por ahora más que una posibilidad, y podría suceder incluso que varios países en desarrollo ampliaran sus redes eléctricas convencionales antes de que tal posibilidad se concretara.

Por todas sus aristas, en particular por su elevado costo, la energía nucleoelectrónica no puede ser considerada como una más entre las diferentes alternativas de abastecimiento energético. Veinticinco años de explotación comercial despejan toda duda sobre su realidad económica, mucho más difícil de manejar para un país en desarrollo que para uno industrializado. La posibilidad de desarrollar otras fuentes de energía menos riesgosas tanto desde el punto de vista económico como político y social, en muchas ocasiones sobre la base de recursos propios todavía inexplorados, descarta a la energía nuclear como una opción necesaria para una gran parte de los países en desarrollo. La descarta también el hecho fundamental de no ser una opción práctica, pues generalmente plantea complejos problemas de balanza de pagos, restricciones financieras, escasez de personal calificado, participación de la industria nacional y dependencia tecnológica del exterior. En síntesis, para los países que carecen de la infraestructura y los recursos adecuados, la energía nucleoelectrónica significa más problemas que soluciones.

Este es probablemente el caso de Laguna Verde, una planta que en diez años de construcción ha causado muchos dolores

de cabeza y de la que algunos expertos dudan llegue a generar electricidad en condiciones normales y satisfactorias. Está visto que Laguna Verde no es el único proyecto nucleoelectrico que enfrenta problemas, pero dadas las circunstancias particulares de México podría resultar uno de los más costosos. Qué consecuencias tendrá este hecho sobre la posible implantación de un programa nucleoelectrico más amplio, es una cuestión difícil de prever. Se puede argumentar que un eventual fracaso financiero de Laguna Verde no invalidaría per se la opción nuclear en el futuro, pues la experiencia adquirida, un efectivo "aprender haciendo", nos libraría de cometer los mismos errores en un segundo proyecto. No se le puede negar validez al argumento, pero lo importante en la perspectiva de este trabajo es enfatizar que de acuerdo con esa misma experiencia cualquier posible programa nucleoelectrico deberá contemplarse con un enfoque diferente al utilizado en el pasado. Sería imperdable, por ejemplo, seguir apostando a los bajos costos de la nucleoelectricidad. Dicho enfoque incluiría, en consecuencia, un supuesto corregido sobre la economicidad de esta energía y una evaluación rigurosa de la infraestructura con que contamos para echar a andar tal programa.

A estas cuestiones capitales se deberá dar respuesta con la mayor objetividad posible, luego de una evaluación cuidadosa tanto del proyecto de Laguna Verde en su totalidad como de la experiencia y los recursos acumulados en el sector nuclear mexicano. Como parte de esa revisión global, el análisis de los problemas de la energía nuclear en los países proveedores seguirá siendo un punto de referencia obligado y un llamado de atención que no debemos desatender.

REFERENCIAS

CAPITULO I

1. Un país en el que la energía nucleoelectrónica tiene un límite preciso de vida es Suecia. El referéndum nuclear de marzo de 1980 resultó favorable a una discontinuación gradual de esta fuente energética, autorizando la operación continua de las seis plantas existentes y la conclusión de otras seis en construcción. Ello significa que este país tendrá electricidad de origen nuclear durante los próximos 25-30 años. Véase: Dean Abrahamson y Thomas B. Johansson, "Summary of the Swedish Nuclear Power Referendum", University of Minnesota Report, julio de 1980.
2. Pierre Lellouche y Richard K. Lester, "The Crisis of Nuclear Energy", The Washington Quarterly, Vol. 2, No. 2, verano de 1979, p. 35.
3. La Unión Soviética es probablemente el único entre los países industrializados que ha decidido ampliar su programa de plantas nucleares, adicionando 24,000-25,000 MW a su actual capacidad instalada durante el período 1981-1985. Este nuevo plan quinquenal es más ambicioso que el de 1976-1980, durante el cual se añadieron plantas con una capacidad total de 13,500 MW. Véase: "El programa nuclear de la URSS se acelera con un nuevo plan quinquenal", Nuclear Engineering International, Vol. 26, No. 308, enero de 1981. (Traducción del ININ, Boletín de Información No. 47, febrero de 1981). Por lo que respecta a los países de Europa oriental, éstos continúan llevando adelante sus programas a pesar de los retrasos causados por un bajo suministro de equipos y componentes y por la mala organización en algunos de sus emplazamientos. Véase: "Nuclear Power in Eastern Europe: Progress & Problems", Energy in Countries with Planned Economies, Vol. 5, No. 12, diciembre de 1981.
4. New York Times, marzo 16 de 1980, sección 3, p.1; Wall Street Journal, diciembre 15 de 1980.
5. Irving C. Bupp, "The Actual Growth and Probable Future of the Worldwide Nuclear Industry", International Organization, Vol. 35, No. 1, invierno de 1981, p.59.

B O N

6. Lellouche y Lester, op. cit., pp. 35-38.
7. Bupp, op. cit., p. 60.
8. Objetividad y espíritu crítico son dos virtudes que rara vez se hallan juntas en los estudios sobre aspectos no técnicos de la energía nuclear, donde una previa toma de partido lleva fácilmente a incurrir en la "miopía de hipótesis". Un problema en la selección de información que enfrenta el estudioso no necesariamente comprometido con una causa a favor o en contra de la energía nuclear radica en la gran polarización existente en las interpretaciones sobre los mismos asuntos, la cual se da, por otra parte, entre una masa enorme de información disponible.
9. Sigvard Eklund, "Desarrollo de la energía nucleoelectrónica: el desafío de los años 1980". OIEA Boletín, Vol. 23, No. 3, septiembre de 1981, p. 12.
10. Ibid., p. 13. En estas cifras no se incluyen las economías de planificación central.
11. No se debe olvidar que estas proyecciones presuponen el puntual y cabal cumplimiento de los proyectos nucleoelectrónicos programados, sin cancelaciones, demoras y demás obstáculos conocidos.
12. Los promedios de tales períodos en algunos países con centrales en construcción en 1981 son:
 - Japón (8 centrales), 61 meses;
 - Francia (29 centrales), 63 meses;
 - República Federal de Alemania (10 centrales), 82 meses;
 - Estados Unidos (85 centrales), 121 meses (véase S. Eklund, op. cit., p. 12).
13. Un caso ilustrativo de estudio optimista lo constituye la Evaluación Internacional del Ciclo de Combustible Nuclear, conocida como INFCE (International Nuclear Fuel Cycle Evaluation, OIEA, Viena, 8 vols., febrero de 1980). De las dos series de estimaciones que ahí se manejan, alta y baja, esta última supera todavía

con mucho las cifras de informes un poco más realistas aunque decididamente pronucleares. Véase, por ejemplo, Ulf Lantzke (director ejecutivo de la Organización Internacional de Energía), "The Role of Nuclear Energy in the Year 2000", The OECD Observer, noviembre de 1980. Aquí el supuesto último es que habrá un incremento de capacidad nuclear de dos y media veces para 1990 y de cinco veces para 2000. Esto equivale, partiendo de 100 GW en 1980, a 245 GW en 1990 y a 485 GW en 2000, lo que representa 100 GW menos que la estimación más baja de la INFCE. Por otra parte, Sigvard Eklund (op. cit.), presenta también estimaciones ambiciosas: 136 GW en 1980, 310 GW en 1985 y 458 GW en 1990. Véase también Thomas J. Connolly, et. al., World Nuclear Energy Paths, International Consultative Group on Nuclear Energy (New York and London: The Rockefeller Foundation and the Royal Institute of International Affairs, 1979), que a pesar de realizar proyecciones sobre un escenario de crecimiento lento lo hacen incorporando el supuesto de la desaparición gradual de los obstáculos que enfrenta la energía nucleoelectrica.

14. Bupp, op. cit., p. 63.
15. F.P. Blackstein, "La función del científico en el debate nuclear", OIEA Boletín, Vol. 23, No. 1, marzo de 1981, p. 20.

CAPITULO II

1. Para un seguimiento pormenorizado, anecdótico e interesantísimo de la historia de la bomba y del reactor, véase Bertrand Goldschmidt, Le Complexe Atomique (Histoire politique de l'énergie nucléaire), Fayard, París, enero de 1980.
2. Ibid., p. 252.
3. Irving C. Bupp, Jean Claude Derian, The Failed Promise of Nuclear Power (The story of light water), Basic Books, Nueva York, 1981, p. 4.

4. Goldschmidt, op. cit., p. 268.
5. Bupp/Derian, op. cit., pp 12 y 19.
6. Ibid., p. 20; Alvin M. Weinberg, "Salvaging the Atomic Age", The Wilson Quarterly, verano de 1979, p. 101.
7. Joseph S. Nye, The International Nonproliferation Regime. Occasional Paper 23, The Stanley Foundation, julio de 1980, p. 5.
8. Tan ambicioso plan ocupa un lugar privilegiado "en los anales del wishful thinking del sector público"; "What (if any) future for nuclear power," Nature, junio 19 de 1980, p. 521.
9. El entusiasmo llegó al público en general y se manifestó en la especulación bursátil: los valores menores del uranio se elevaron rápidamente y las acciones de las compañías que incursionaban en la industria nuclear experimentaron un auge inusitado. Goldschmidt, op. cit., p. 274.
10. Goldschmidt, op. cit., pp. 270-272.
11. Bupp/Derian, op. cit., p. 20.
12. Louis Armand, presidente de la Compañía de Ferrocarriles Nacionales de Francia; Franz Etsel, vicepresidente alemán de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero; y Francesco Giordani, expresidente de la Comisión de Energía Atómica de Italia.
13. Bupp/Derian, op. cit., p. 26.
14. Ibid., p. 28, nota 25.
15. Ibid., p. 31, para una interpretación diferente sobre esta escala de prioridades, ver: David E. Lienthal,

Atomic Energy: A New Start, Harper & Row, Nueva York, 1980, cap. 4.

16. Goldschmidt, op. cit., p. 280; Bupp/Derian, op. cit., pp 30-35; Weinberg, op. cit., p. 101.
17. Es curioso encontrar discrepancias en cuestiones en las que aparentemente no debería existir ninguna. Tal es el caso, por ejemplo, de estos primeros reactores vendidos por Estados Unidos a Europa. Goldschmidt (op. cit., pp. 324-326) presenta datos diferentes a los de Bupp y Derian (op. cit., pp. 36-37). Preferimos estos últimos por estar apoyados en abundantes fuentes bibliográficas, de las cuales carece el libro de Goldschmidt.
18. Los fracasos sucesivos de la estrategia francesa en la Comisión de Euratom obedecieron, por un lado, al hecho de que la mayoría de los miembros habían basado sus esfuerzos nacionales en los "acuerdos de cooperación" con los Estados Unidos -que les garantizaban ventajas financieras y participación en los resultados de la investigación y en el uranio enriquecido norteamericano-, por otro lado, al temor de todos ellos, en especial de Alemania, a una hegemonía de Francia en la Comisión.
19. A pesar de ser tan considerable, este ajuste debe interpretarse como una reducción coyuntural; la verdadera influencia de los acuerdos suscritos con las compañías norteamericanas (Westinghouse y General Electric) se hará sentir cuando la coyuntura vuelva a ser favorable, a fines de los sesentas. La venta de esas tres plantas constituyó un éxito de enorme trascendencia desde el punto de vista político, psicológico y comercial; permitió a las empresas norteamericanas estrechar vínculos con las compañías eléctricas de Alemania, Italia y Bélgica, y determinó que las más importantes industrias potenciales de reactores fuera de Francia desplazaran sus escalas de prioridades del gas-grafito a los sistemas de agua ligera.
20. La práctica convencional en Estados Unidos implica la participación de las compañías eléctricas en casi todas las fases del diseño y construcción, generalmente sobre una base de costos añadidos, de los que se exceptúan algunos componentes como la turbina del generador.

21. H. Stuart Burness, W. David Montgomery, James P. Quirk, "The Turnkey Era in Nuclear Power", Land Economics, Vol. 56, No. 2, mayo de 1980, p. 188; Bupp/Derian, op. cit., p. 42.
22. Burness, et. al., op. cit., pp. 189-190.
23. Ibid., pp. 197 y 201.
24. Ibid., p. 188.
25. Bupp/Derian, op. cit., pp 49 y 72.
26. El Commissariat à L'Energie Atomique, la comisión francesa de energía atómica, fue creado en 1945 como centro de investigación y desarrollo nuclear. Con la comercialización de la energía nuclear a fines de los sesentas, Electricité de France, la compañía eléctrica estatal asumió un control creciente. Estos dos organismos han definido la política del gobierno francés en el campo de la energía nucleoelectrónica.
27. Bupp/Derian, op. cit., p. 69.
28. Ibid., pp. 84-89.
29. En diciembre de 1979, el gobierno británico anunció sus planes de embarcarse en un programa de 15,000 MW basado, si así lo confirma una amplia investigación en 1982, en unidades Westinghouse (de 660 MW) de agua pre-surrizada; este reactor sustituirá al ineficiente reactor avanzado de gas. Véase: Nuclear Energy: the Real Costs (A special report), Committee for the Study of the Economics of Nuclear Electricity; Worthyvale Manor, Camelford, Cornwall, Gran Bretaña, S/f (publicado entre 1981 y 1982). Otro ejemplo más de las fuertes críticas suscitadas por este programa se tiene en "Unlearnt lessons?", Energy Policy, marzo de 1980, Vol. 8, No. 1.
30. Bupp/Derian, op. cit., p. 69.

31. Ibid., pp. 77-78. La mayor dificultad para determinar el costo de una planta nuclear estriba en el cálculo de los costos a futuro. Véase: Todd H. Otis. A Review of Nuclear Energy in the United States, Nueva York, 1981, capítulo 2º.
32. Ibid., p. 98.
33. Bupp, op. cit., p. 76; Anthony Parisi, "Hunde al ramo nuclear la caída del consumo de energía en Estados Unidos", The New York Times, exclusiva para Excelsior, mayo 6 de 1981.

CAPITULO III

1. Scoop Energie, No. 51, febrero de 1982, publicado por el Boletín de Información, ININ, No. 63, junio de 1982.
2. Irvin C. Bupp, op. cit., p. 65.
3. El costo marginal de la electricidad se basa en los costos de capital y de operación de las nuevas plantas, y en los costos de operación de las plantas más caras e ineficientes en un sistema cuya operación podría reducirse mediante la disponibilidad de capacidad nueva. El costo marginal varía, pues, de un sistema a otro, dependiendo de la mezcla de combustibles y de la edad y eficiencia de la capacidad instalada. Para cualquier sistema, la estimación del costo marginal de la electricidad en largos períodos requiere un pronóstico del precio futuro del combustible que podría ser desplazado así como un pronóstico del costo de construcción y operación de la nueva planta.
4. Bupp., op. cit., p. 68.
5. Amory Lovins, "Nuclear Power and Nuclear Bombs", Foreign Affairs, verano de 1980, p. 1155. Este autor, apóstol ferviente de la energía solar, argumenta que en Estados Unidos una capacidad que exceda un prudente margen de reserva de 15 por ciento duplica de hecho la contribución actual de la energía nuclear: "(La sobreproducción actual) es tan amplia que si se detuvie

ra de inmediato la construcción de todas las centrales de potencia, el crecimiento de la demanda pico a una tasa anual de 1.2 por ciento -el doble de la alcanzada en 1979- todavía dejaría un margen de reserva nacional de 15 por ciento en el año 2000". (Ibid.)

6. "Nuclear Dilemma", Business Week, diciembre 25 de 1978, p. 54. En algunos estados de la Unión Americana la tasa de crecimiento ha sido nula. En 1981 dos compañías eléctricas del estado de Massachusetts cancelaron sus planes de construcción de una central en la región occidental de la entidad, argumentando que ésta no necesitaba más electricidad. Cuando la Western Massachusetts anunció sus planes en 1974, la demanda de electricidad crecía al 6 u 8 por ciento. Pero en 1980, señalaba el vocero de la compañía, "el incremento de la demanda fue de cero". "Nuclear Plant Plans Chopped", The New York Times, enero 6 de 1981.
7. The Energy Index, 1980. Environment Information Center, Nueva York, pp. 84 y 86. Véase también: Douglas Martin, "The Now and Future Ills of the Nuclear Giant" The New York Times, noviembre 22 de 1981.
8. "Position Paper # 2. Nuclear Fission: Its Uses and Economics", Nuclear Energy and the Future, Time Inc., 1975, p. 11.
9. John R. Emshwiller, "Some Investors Shun Nuclear-powered Utilities, Jeopardizing Funds to Build New Atomic Plants", The Wall Street Journal, noviembre 20 de 1980, p. 48. Anthony Parisi, op. cit.
10. La central de Millstone II, Long Island, produjo electricidad en 1979 a razón de 2.4 centavos de dolar, el kilovatio/hora; de ellos, 1.5 centavos correspondían al costo de capital, 0.5 centavos a operación y mantenimiento y 0.4 centavos al combustible. Véase: Matthew L. Wald, "How the Cost of a Nuclear Generator Rose to Eight Times the Original Estimate", The New York Times, diciembre 16 de 1980.
11. Todd H. Otis, A review of nuclear energy in the United States; Hidden Power, p. 26. Véase también: Ulf Lantzke, op. cit., p. 43.

12. Patrick O' Donnell, "Fate of Nuclear Power in U. S. Could Depend on Troubled Project", The Wall Street Journal, enero 8 de 1981. Véase también: "Union Electric Co. Boosts Cost Estimates for 2 Nuclear Plants", The Wall Street Journal, noviembre 8 de 1980.

Otro caso muy citado es la planta que la compañía Long Island Co. construye en Shoreham, Long Island Sound, que suele ser comparada con la central más semejante y cercana a ella, Millstone II, del consorcio Northeast Utilities. Esta última, considerada un éxito de acuerdo con los estándares de la industria nuclear, fue terminada en 1975, con un año de retraso, a un costo de 434 millones de dólares, sólo 82 por ciento por encima de lo previsto. En cambio, la planta de Shoreham será concluida en 1983, ocho años más tarde, a un costo de 2,200 millones de dólares, más de ocho veces el cálculo original de 261 millones: Véase: Matthew L. Wald, op. cit., y Anthony Parisi, op. cit.

13. John R. Emshwiller, "Nuclear-Power Industry Pins Hopes for Survival in Reagan Presidency", The Wall Street Journal, diciembre 15 de 1980; Patrick O. Donnell, op. cit., Lantzke, op. cit., p. 43.
14. "Key Issues Related to Nuclear Power", The OECD Observer, septiembre de 1981, No. 112, p. 21.

Jugando con el concepto de "fusión del núcleo" del reactor (core meltdown), Bupp y Derian han atribuido buena parte de los problemas administrativos y económicos de la energía nuclear en los Estados Unidos a la existencia de un auténtico "regulatory meltdown", entendiendo por tal la dispersión o fragmentación que priva entre una docena de agencias y juntas del Ejecutivo que reclaman jurisdicción sobre diversos aspectos del licenciamiento y la operación de plantas nucleares; cfr. Bupp/Derian, op. cit., pp. XXII y XXIII.

Las complicaciones regulatorias no son un fenómeno exclusivo de los Estados Unidos. Los procedimientos de licenciamiento en Alemania Federal se han vuelto cada vez más complicados y menos predecibles. "De acuerdo con la KWU, el constante aumento de los requisitos de verificación en todas las etapas del procedimiento ha triplicado el trabajo de ingeniería, quintuplicado la documentación de control de calidad y garantía de seguridad y aumentado en 50 por ciento el tiempo requerido para la fabricación de componentes, dando por resultado un considerable aumento en los costos y tiem-

pos de construcción": "Con la construcción de ISAR-2 inician los alemanes lo que llaman el sistema de convoy de reactores", Nucleonics Week, Vol. 23, No. 30, julio de 1982, en ININ, Boletín de Información, No. 67, p. 422.

15. Incluso antes de Three Mile Island, los incrementos de costos debidos a reglamentación y diseño agregaban un 12 por ciento anual al presupuesto para energía nuclear: Todd H. Otis, op. cit., p. 28.
16. John R. Emshwiller, "Nuclear Power Industry Pins Hopes for Survival on Reagan Presidency", op. cit., Patrick O' Donnell, op. cit.
17. Los errores de cálculo, la reconstrucción de piezas o partes defectuosas de una central así como las multas y suspensiones de obras por periodos variables que la CRN impone, significan inevitablemente aumentos en los costos. Véase la nota 12 sobre la problemática planta de Shoreham, L. I., así como otro caso paradigmático de los aprietos de la energía nuclear, el de la planta de Diablo Canyon, California, a la que le fue suspendida la licencia para operar: cf. Douglas Martin, op. cit., y Raúl Monteforte, "La cuestión Nuclear", Excelsior, junio 28 de 1982. Este autor presenta en varias entregas un sugestivo análisis de los descabros económicos y sociales de la industria nuclear, cuyas causas están en la estructura obsoleta de esta última y en los problemas que de ella derivan.
18. En Suecia, por ejemplo, se concluyó la construcción de dos reactores en 1978, pero no entraron en operación sino hasta fines de 1979 por retrasos relacionados con cuestiones ambientales y de seguridad: "Key Issues Related to Nuclear Power", op. cit., p. 22. Irvin C. Bupp considera que el furor por la seguridad de los reactores que siguió a Three Mile Island añadirá dos años adicionales al período, ya una vez concluida una central nuclear: Todd H. Otis, op. cit., p. 28.
19. Sounders Miller, The Economics of Nuclear and Coal Power, New York, Praeger, 1976, p. 68.
20. Nuclear Power, Answers to Your Questions, Edison Electric Institute, Washington, D. C., 1979, es un folleto típicamente pronuclear en el que si bien se acepta

que el factor de capacidad nuclear fue inferior al del petróleo y el carbón en 1978 en comparación con 1975, las cifras para los tres tipos de plantas parecen un tanto cuanto infladas (nuclear, 76.6 por ciento; petróleo, 77.2 por ciento; carbón, 77.8 por ciento). Las discrepancias existentes en este tipo de cifras constituyen un problema para el analista.

21. Otis., op. cit., p. 29; Monteforte, op. cit., junio 30 de 1982, p. 4. La cifra acumulada de 64 por ciento resulta incluso superior a la que una fuente oficial canadiense ofrece en una tabla comparativa de los factores de capacidad para los reactores CANDU (canadiense), PWR y BWR (norteamericanos) y GCR (inglés); véase: CANDU, Nuclear Power Program, Atomic Energy of Canada Ltd., junio de 1981.
22. Otis., op. cit., p. 30,
23. Al parecer la única excepción a esta regla la ofrece el reactor CANDU, que puede ser recargado sin interrumpir su funcionamiento.
24. El impacto de los costos del combustible es menor en las centrales nucleares que en las centrales alimentadas con combustibles fósiles. Al duplicarse el precio del uranio, el costo de la electricidad generada por combustible nuclear aumentaría en solamente el 10 por ciento mientras que la duplicación del precio de los combustibles fósiles produciría un aumento del 65 por ciento en el costo de la electricidad generada por las plantas alimentadas con dichos combustibles. Véase: Eklund, op. cit., pp. 13 y 17.
25. Ibid. Véase también "Los precios del uranio están a la baja", Nucleonics Week, Vol. 21, No. 17, abril de 1980, en Boletín de Información, ININ, No. 38, mayo de 1980, p. 213. Asimismo: "Un grupo antinuclear predice una catástrofe para la industria del Uranio", Nuclear Fuel, junio de 1980, en Boletín de Información, No. 39, junio de 1980, p. 216.
26. "En los años noventa la energía generada por carbón en Europa será por lo menos 45 por ciento más cara que la nuclear", Nucleonics Week, Vol. 22, No. 36, septiembre de 1981, en Boletín de Información, ININ, No. 56, noviembre de 1981, p. 340.
27. "Los costos de construcción de plantas nucleares excederán a los de plantas de carbón", Nucleonics Week, Vol. 22, No. 16, abril de 1981, en Boletín de Información, ININ, No. 51, junio de 1981, p. 306.

28. Otis, op. cit., p. 37.
29. "Nuclear Power Cost Estimate", The New York Times, diciembre 16 de 1980; Arlen V. Large, "U.S. Subsidized Growth in Nuclear Power by \$37 Billion Over 30 Years, Study Says", The Wall Street Journal, diciembre 15 de 1980. Un subsidio que no se menciona en el informe citado es el otorgado a las compañías eléctricas por los fabricantes de reactores durante el período de los contratos llave en mano; véase Cap. II, pp. 32-39.
30. Para una descripción más completa y detallada sobre éste y los demás subsidios, véase Todd H. Otis., op. cit. Cap. 2o.
31. El accidente en la unidad 2 de la planta nuclear de Three Mile Island -considerado el peor percance en la historia de la energía nuclear comercial- se produjo cuando una pérdida de líquido de enfriamiento, agravada por un error humano, dejó al descubierto el núcleo del reactor, provocando una peligrosa subida de la temperatura. Una inspección con cámaras de televisión realizada a mediados de 1982 mostró el centro del reactor reducido a un lecho de escombros, pero ninguna evidencia de que se hubiera fundido el combustible. Otros daños siguen siendo materia de especulación. Véase: "El núcleo del reactor TMI-2 no sufrió fusión", Nucleonics Week, Vol. 23, No. 31, agosto de 1982, en Boletín de Información, ININ, No. 67, octubre de 1982, p. 422; "Three Mile Island Toll Limited, NRC Estimates", The Wall Street Journal, marzo 10 de 1981; "3-Mile Island Study Predicts Cleanup Will Extend to '88", The New York Times, marzo 10 de 1981; A. Alonso, "Accidentes con daño al núcleo del reactor. Una perspectiva para el accidente en la central TMI-2", Energía Nuclear, España, enero-febrero de 1980, pp. 18-20
32. Richard Severo, "Three Mile Island Cleanup Comes to a Virtual Standstill as Experts Ponder Next Step", The New York Times, enero 6 de 1981; "Three Mile Mess", The Wall Street Journal, abril 20 de 1981.

33. Douglas Martin, "3 Mile Island: Financial Fallout", The New York Times, enero 13 de 1981; Richard Severo, "Three Mile Island Comes to a Virtual Standstill as Experts Ponder Next Step", op. cit.
34. Douglas Martin, "3 Mile Island: Financial Fallout", op. cit.; Richard Severo, "U.S. Panel Suggests Restart of Reactor at 3 Mile Island", The New York Times, febrero 5 de 1981; John R. Emshwiller, "As Three Mile Island Clean-Up Costs Soar, GPU and Regulators Turn to Uncle Sam", The Wall Street Journal, noviembre 14 de 1980.
35. Robert D. Hershey Jr., "White House Pledges to Seak\$123 Million for 3 Mile Island", The New York Times, octubre 21 de 1981; "El DOE absorberá parte de los gastos de limpieza de Three Mile Island", Nuclear News, Vol. 25, No. 5, abril de 1982, en Boletín de Información, ININ, No. 62, mayo de 1982, p. 384.

CAPITULO IV

1. SEMIP, Programas por Ramas - Electricidad -, junio de 1983, pp. 3 y 4.
2. SPP, Plan Global de Desarrollo 1980-1982, abril de 1980, Vol. II, p. 24.
3. SEPAFIN, Programa de Energía - Resumen y Conclusiones -, noviembre de 1980, p. 47.
4. Ibid., pp. 26 y 48.
5. Eibenschutz, Juan, Mexico's Nuclear Power Program, versión mecanográfica, s/f, p. 9.
6. CFE, Implantación del Programa Nucleoeléctrico, septiembre de 1981, Cap. I, Diagnóstico, p. 9.
7. Ibid., p. 10.
8. Ibid., Cap. III, Escenarios y Alternativas de Acción, pp. 4-7; SEPAFIN, CFE, ININ, Informe sobre los Estudios de Factibilidad del Programa Nucleoeléctrico Nacional, Parte B, Análisis de los Estudios, 1980.

9. SEMIP, op. cit., p. 4. Debido a la brusca caída de la demanda en determinados momentos, la CFE se ha visto precisada a disminuir la carga de algunas de sus plantas base. En entrevistas personales con expertos de la CFE se recogió la opinión de que en 1983 el crecimiento de los niveles de demanda ha llegado a tener valores negativos. No sólo ha quedado invalidado el pronóstico de 550 TWh para el año 2000 sino que además no se cuenta por el momento con elementos de juicio suficientes y veraces para poder asignar un objetivo de generación determinado.
10. Ruiz, Rogelio, "La Problemática de la Planta Nuclear de Laguna Verde", Cuadernos sobre Prospectiva Energética, No. 28, El Colegio de México, s/f, pp. 5-6.
11. Ibid., p. 9.
12. Eibenschutz, Juan, op. cit., p. 6.
13. Señalar las limitaciones del sector nuclear mexicano en 1972 no implica, por desgracia, afirmar que aquéllas hayan desaparecido diez años después. A pesar de los progresos hechos en la legislación nuclear y de la conformación de un sector nuclear más amplio y estructurado, éste enfrenta muchos y muy serios problemas -de dirección, organización, integración, asignación de recursos, reclutamiento de personal, eficiencia, productividad y coordinación tanto intrasectorial como con respecto a la CFE- que limitan severamente sus posibilidades de participación efectiva en lo que debería constituir una industria nuclear nacional. Sobre una base tan precaria como la que ahora ofrece este sector -ana license por ejemplo los conflictos de URAMEX- es ilusorio pensar en instrumentar un programa nucleoelectrico de envergadura.
14. Toda la primera parte del Informe sobre los Estudios de Factibilidad del Programa Nucleoelectrico Nacional, SEPAFIN, CFE, ININ, 1980, está dedicada a las implicaciones del programa nucleoelectrico, lo que revela la preocupación por los impactos colaterales del mismo en varios sectores. Sin embargo, dentro del grupo que preparó el informe hubo quienes criticaban el énfasis economista del concurso para la compra de los nuevos reactores. Cfr. Treviño Botti, José, "Lecciones de un concurso fallido", Uno más Uno, junio 24 de 1982.
15. Sales Contract Between COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD and GENERAL ELECTRIC COMPANY for NUCLEAR SYSTEM EQUIPMENT AND RELATED SERVICES for LAGUNA VERDE POWER STATION UNIT I AND UNIT

2 PROJECT, suscrito en San José, Calif. y en México, D.F., en julio y agosto de 1976, respectivamente.

16. Ruiz, Rogelio, op. cit., pp. 7 y 12. El autor cita como fuente el "Dictamen 1971", que contemplaba la adquisición de un solo reactor.
17. SEPAFIN, Complemento del Programa de Acción del Sector Industrial 1980-1982, agosto de 1980, s/p; CFE, Nucleoelectricidad (Borrador, revisión 2), agosto de 1982, p. 15.

La prensa periódica ofrece cifras muy dispares y generalmente sin referencia a las fuentes; cuando la información se refiere a declaraciones de funcionarios públicos, hay que tomar los datos con toda la cautela del caso. Un ejemplo de cifras verosímiles extraídas de entrevistas al Ing. Sergio Valverde Azpiri, Jefe de Ingeniería y Construcción actualmente encargado del proyecto de Laguna Verde, y al Doctor Elías Daquer, Jefe de Control del proyecto, lo tenemos en: Segundo González, Miguel, "Laguna Verde, Costosa y Controvertida Primera Planta Nuclear en Nuestro País", El Nacional, enero 20 y 21 de 1983. Según este artículo, el presupuesto original para las dos unidades de Laguna Verde fue de 5,729 millones de pesos, lo que al tipo de cambio de 1972 equivalía a 458.32 millones de dólares. La inversión acumulada al mes de diciembre de 1982 llegó a casi 44,000 millones de pesos, y el monto global a precios de ese mismo mes y año para la entrada en operación de la primera unidad en noviembre de 1985, se elevará a más de 79,000 millones; esto representa un incremento de 379 por ciento sobre el presupuesto inicial. -Estos datos requieren algunas precisiones: 1) las cifras no están deflacionadas; 2) Según los últimos informes, la primera unidad entrará en operación no a fines de 1985 sino de 1986, por lo que la estimación de 79,000 millones ya no es válida; 3) esta cifra sólo comprende la primera unidad y por lo tanto el costo de la central completa excederá esa cantidad. He aquí sólo un ejemplo de los problemas con las cifras de Laguna Verde.

18. Para una referencia anterior a los problemas con la contabilidad de las inversiones nucleoelectricas, ver Supra, p. 45.
19. Sales Contract between CFE and GE - ver nota 15 - p. I-11.
20. En otras palabras, según técnicos de la CFE no se debe considerar que el retraso se reparte en forma homogénea a lo largo de los 12 años transcurridos, pues argumentan que el

lapso comprendido entre 1972 y 1977 fue tan peculiar que se lo debe distinguir del resto del período. Para ellos la construcción propiamente dicha empezó en 1977, luego de que se transfirió a Ebasco Services Inc. el contrato para la arquitectura e ingeniería del proyecto. En este contrato se fijó como fecha para la entrada en operación de la primera unidad el 10. de mayo de 1982 (cfr. Sánchez Gutiérrez, J. y Villalva, I., "The Laguna Verde Nuclear Project", Problems Associated with the Export of Nuclear Power Plants, IAEA, Viena, 1978, p. 72). Si se pone esta fecha como límite de referencia, en agosto de 1986 la primera unidad só lo tendrá cuatro años y cuatro meses de retraso.

21. Ruiz, Rogelio, op. cit., p. 10.
22. La continuidad en el proceso de construcción de una central nucleoelectrónica es considerada por los expertos como una condición indispensable para mantener un proyecto dentro de los plazos establecidos. El cumplimiento riguroso de esta condición ha sido una de las características más sobresalientes del programa nucleoelectrónico francés. Los franceses os tentan el récord de rapidez en la construcción de estas centrales: 5 a 6 años.
23. Para un seguimiento por etapas de todo el proceso, véase: CFE, Implantación del Programa Nucleoelectrónico, Cap. I, pp. 14-33.
24. Al entrar en vigor la nueva Ley Nuclear, en diciembre de 1979, las funciones reglamentarias quedaron concentradas en un organismo específico, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, la cual otorgó de inmediato el permisó definitivo de Construcción. La CFE había solicitado este permiso al INEN a fines de 1973, pero su otorgamiento se fue difiriendo por diversos motivos, entre otros por la falta de respuesta de la CFE a cuestiones planteadas por el INEN sobre diversos aspectos nebulosos del proyecto. Una descripción cronológica y un análisis detallado de esta problema se encuentran en: Sánchez Gutiérrez, J. y Villalva, I., "The Laguna Verde Nuclear Project: Problems Confronted by a Small Regulatory Body", op. cit.
25. Estas son observaciones atribuidas al Doctor Elías Daguer, Véase nota 17.
26. Rufz, Rogelio, op. cit., p. 11.

27. El estado de avance de Laguna Verde a agosto de 1982 era el siguiente: 98% en ingeniería de diseño; 60% en la construcción de la planta, de los cuales un 74% corresponde a la unidad 1 y un 40% a la unidad 2. La obra civil de la primera unidad está prácticamente terminada y el 100% de los equipos principales ya han sido adquiridos. Véase: CFE, Nucleoelectricidad, op. cit., p. 15.

28. Entre esos factores se deben mencionar el encarecimiento por problemas tecnológicos, la prolongación de los períodos de construcción, el factor de capacidad, la vida útil esperada y los costos de operación y mantenimiento -para no hablar de otros factores que no se pueden cuantificar por anticipado pero que contribuyen a elevar los costos relativos de la energía nuclear, tales como las reparaciones importantes, la reposición de electricidad por accidentes, el envejecimiento de las unidades, el almacenamiento de deechos radiactivos y los costos de desmantelamiento.

29. La experiencia histórica demuestra que no obstante su inmensa riqueza petrolera potencial, México se ha llegado a convertir en importador neto de petróleo. A pesar de la cuantía de nuestras reservas probadas, es un hecho que tarde o temprano los hidrocarburos dejarán de estar disponibles para fines de generación eléctrica. Por lo tanto, la opción nucleoelectrónica no se puede descartar a priori.

INDICE DE CUADROS Y GRAFICAS

	<u>Página</u>
CUADRO 1: CAPACIDAD NUCLEAR OPERATIVA EN EL MUNDO (1979).....	5
GRAFICA 1: CAPACIDAD NUCLEAR QUE ENTRA ANUALMENTE EN FASE DE CONSTRUCCION (1955-1975)...	10
CUADRO 2: PAISES QUE PUEDEN ALCANZAR UNA CAPACIDAD NUCLEOELECTRICA SUPERIOR A LOS 5 GW PARA FINES DE LOS 1980s.....	13
CUADRO 3: PAISES QUE PUEDEN ALCANZAR UNA CAPACIDAD NUCLEOELECTRICA DE 0.5 A 5 GW PARA FINES DE LOS 1980s.....	14
GRAFICA 2: FECHA INICIAL DE EXPLOTACION DE LOS REACTORES.....	15
GRAFICA 3: FECHA INICIAL DE CONSTRUCCION DE LOS REACTORES.....	16
CUADRO 4: PRECIOS, COSTOS ESTIMADOS Y PERDIDAS ESTIMADAS, DE PLANTAS LLAVE EN MANO...	35
CUADRO 5: ORDENES DE REACTORES NUCLEARES (1955-1978).....	37
CUADRO 6: LA CAIDA ABRUPTA DE LAS VENTAS QUE PREOCUPA A LOS PROVEEDORES NUCLEARES EN ESTADOS UNIDOS.....	52
GRAFICA 4: ESTRUCTURA DE LA OFERTA DE ENERGIA PRIMARIA CON DESTINO INTERNO, POR PRINCIPALES FUENTES, 1979-1990.....	82
GRAFICA 5: PRONOSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA.....	83

BIBLIOGRAFIA

Libros

Bupp, Irving C., y Derian, Jean Claude, The Failed Promise of Nuclear Power, Nueva York, Basic Books, 1981.

Environment Information Center, The Energy Index, Nueva York, 1980.

Goldschmidt, Bertrand, Le Complexe Atomique, París, Fayard, 1980.

International Nuclear Fuel Cycle Evaluation, Viena, OIEA, 1980.

Lilienthal, David E., Atomic Energy: A new Start, Nueva York, Harper & Row, 1980.

Miller, Saunders, The Economics of Nuclear and Coal Power, Nueva York, Praeger, 1976.

Otis, Todd H., A Review of Nuclear Energy in the United States. Hidden Power, Nueva York, Praeger, 1981.

Documentos y Artículos

Abrahamson, Dean, y Johansson, Thomas B., "Summary of the Swedish Nuclear Power Referendum", University of Minnesota Report, julio de 1980.

Alonso, A., "Accidentes con daño al núcleo del reactor. Una perspectiva para el accidente en la central TMI-2", Energía Nuclear, España, Vol. 24, No. 123, pp. 5-21, enero-febrero de 1980.

Atomic Energy of Canada Ltd., CANDU, Nuclear Power Program, junio de 1981.

Blackstein, F.P. "La función del científico en el debate nuclear", OIEA Boletín, Vol. 23, No. 1, marzo de 1981, pp. 20-23.

Bupp, Irving C., "The Actual Growth and Probable Future of The Worldwide Nuclear Industry", International Organization, Vol. 35, No. 1, pp. 59-76, invieron de 1981.

Burness, H. Stuart, et. al., "The Turnkey Era in Nuclear Power", Land Economics, Vol. 56, No. 2, mayo de 1980.

Committee for the Study of the Economics of Nuclear Electricity, Nuclear Energy: The Real Costs. A Special Report, CSENE, Gran Bretaña, Worthyvale Manor, Camelford, Cornwall, s/f.

"Con la construcción de ISAR-2 inician los alemanes lo que llaman el sistema de convoy de reactores", Boletín de Información, ININ, No. 67, octubre de 1982, tomado de Nucleonics Week, Vol. 23, No. 30, julio de 1982.

Connolly, Thomas U. et. al., World Nuclear Energy Paths, Nueva York y Londres, International Consultative Group of Nuclear Energy, The Rockefeller Foundation and The Royal Institute of International Affairs, 1979.

Edison Electric Institute, Nuclear Power, Answers to Your Questions, Washington, D. C., 1979.

Eklund, Sigvard, "Desarrollo de la energía nucleoelectrónica: el desafío de los años 1980", OIEA Boletín, Vol. 23, No. 3, pp. 8-18, septiembre de 1981.

"El DOE absorberá parte de los gastos de limpieza de Three Mile Island", Boletín de Información, ININ, No. 62, mayo de 1982, tomado de Nuclear News, Vol. 25, No. 5, abril de 1982.

"El núcleo del reactor TMI-2 no sufrió fusión", Boletín de Información, ININ, No. 67, octubre de 1982, tomado de Nucleonics Week, Vol. 23, No. 31, agosto de 1982.

"El programa nuclear de la URSS se acelera con un nuevo plan quinquenal", Boletín de Información, ININ, No. 47, febrero de 1981, tomado de Nuclear Engineering International, Vol. 26, No. 308, enero de 1981.

Emshwiller, John R., "As Three Mile Island Clean-Up Costs Soar, GPU and Regulators Turn to Uncle Sam", The Wall Street Journal, noviembre 14 de 1980.

Emshwiller, John R., "Some Investors Shun Nuclear-Powered Utilities, Jeopardizing Funds to Build New Atomic Plants", The Wall Street Journal, noviembre 20 de 1980.

Emshwiller, John R., "Nuclear-Power Industry Pins Hopes for Survival in Reagan Presidency", The Wall Street Journal, diciembre 15 de 1980.

"En los años noventa la energía generada por carbón en Europa será por lo menos 45 por ciento más cara que la nuclear", Boletín de Información, ININ, No. 56, noviembre de 1981, tomado de Nucleonics Week, Vol. 22, No. 36, septiembre de 1981.

Hershey Jr., Robert D., "White House Pledges to Seak \$123 Million for 3 Mile Island", The New York Times, octubre 21 de 1981.

Holt, Peter, "Nuclear Power in Eastern Europe: Progress & Problems", Energy in Countries with Planned Economies, Vol. 5, No. 12, pp. 4-6, diciembre de 1981.

"Key Issues Related to Nuclear Power", The OECD Observer, No. 112, septiembre de 1981.

Lantzke, Ulf, "The Role of Nuclear Energy in the Year 2000", The OECD Observer, pp. 42-44, noviembre de 1980.

Large, Arlen V., "U.S. Subsidized Growth in Nuclear Power by \$37 Billion Over 30 Years, Study Says", The Wall Street Journal, diciembre 15 de 1980.

Lellouche, Pierre, y Lester, Richard K., "The Crisis of Nuclear Energy", The Washington Quarterly, Vol. 2, No. 2, verano de 1979.

"Los precios del uranio están a la baja", Boletín de Información, ININ, No. 38, mayo de 1980, tomado de Nucleonics Week, Vol. 21, No. 17, abril de 1980.

"Los costos de construcción de plantas nucleares excederán a los de plantas de carbón", Boletín de Información, ININ, No. 51, junio de 1981, tomado de Nucleonics Week, Vol. 22, No. 16, abril de 1981.

Lovins, Amory, "Nuclear Power and Nuclear Bombs", Foreign Affairs, verano de 1980.

Martin, Douglas, "3 Mile Island: Financial Fallout", The New York Times, enero 13 de 1981.

Martin, Douglas, "The Now and Future Ills of the Nuclear Giant", The New York Times, noviembre 22 de 1981.

Monteforte, Raúl, "La cuestión nuclear", Excélsior, junio 28 de 1982.

"Nuclear Dilemma", Business Week, diciembre 25 de 1978.

"Nuclear Fission: Its Uses and Economics", Nuclear Energy and the Future, Time Inc., pp. 7-11, 1975.

"Nuclear Plant Plans Chopped", The New York Times, enero 6 de 1981.

"Nuclear Power Cost Estimate", The New York Times, diciembre 16 de 1980.

Nye, Joseph S., The International Nonproliferation Regime, Occasional Paper 73, The Stanley Foundation, julio de 1980.

O'Donnell, Patrick, "Fate of Nuclear Power in U.S. Could Depend on Troubled Project", The Wall Street Journal, enero 8, 1981.

Parisi, Anthony, "Hunde al ramo nuclear la caída del consumo de energía en Estados Unidos", The New York Times, exclusiva Excélsior, mayo 6 de 1981.

Severo, Richard, "Three Mile Island Cleanup Comes to a Virtual Standstill as Experts Ponder Next Step", The New York Times, enero 6 de 1981.

Severo, Richard, "U.S. Panel Suggests Restart of Reactor at 3 Mile Island", The New York Times, febrero 5 de 1981.

"Significativo avance electronuclear tuvo el mundo en 1981", Boletín de Información, ININ, No. 63, junio de 1982, tomado de Scoop Energie, No. 51, febrero de 1982.

The New York Times, sección 3, p. 1, marzo 16 de 1980.

The Wall Street Journal, diciembre 15 de 1980.

"Three Mile Mess", The Wall Street Journal, abril 20 de 1981.

"Three Mile Island Toll Limited, NRC Estimates", The Wall Street Journal, marzo 10 de 1981.

"3-Mile Island Study Predicts Cleanup Will Extend to '88", The New York Times, marzo 10 de 1981.

"Un grupo antinuclear predice una catástrofe para la industria del uranio", Boletín de Información, ININ, No. 39, junio de 1980, tomado de Nuclear Fuel, junio de 1980.

"Union Electric Co. Boosts Cost Estimates for 2 Nuclear Plants", The Wall Street Journal, noviembre 8 de 1980.

"Unlearnt Lessons?", Energy Policy, Vol. 8, No. 1, marzo de 1980.

Wald, Matthew L., "How the Cost of a Nuclear Generator Rose to Eight Times the Original Estimate", The New York Times, diciembre 16 de 1980.

Weinberg, Alvin M., "Salvaging the Atomic Age", The Wilson Quarterly, pp. 88-112, verano de 1979.

"What (if any) Future for Nuclear Power", Nature, pp. 521-522, junio 19 de 1980.

(CAPITULO IV)

Comisión Federal de Electricidad, Implantación del Programa Nucleoeléctrico, septiembre de 1981.

Comisión Federal de Electricidad, Nucleoelectricidad, (Borrador, revisión 2), agosto de 1982.

Eibenschutz, Juan, Mexico's Nuclear Power Program, versión mecanográfica, s/f.

Ruiz, Rogelio, "La Problemática de la Planta Nuclear de Laguna Verde", Cuadernos sobre Prospectiva Energética, No. 28, El Colegio de México, s/f.

Segundo González, Miguel, "Laguna Verde, Costosa y Controvertida Primera Planta Nuclear en Nuestro País, El Nacional, enero 20 y 21 de 1983.

Sánchez Gutiérrez, J. y Villalva, I, "The Laguna Verde Nuclear Project: Problems Confronted by a Small Regulatory Body", Problems Associated with the Export of Nuclear Power Plants, IAEA, Viena, 1978.

Sales Contract between COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD and GENERAL ELECTRIC COMPANY for NUCLEAR SYSTEM EQUIPMENT AND RELATED SERVICES for LAGUNA VERDE POWER STATION UNIT I AND UNIT 2 PROJECT, suscrito en San José, Calif. y en México, D.F., en julio y agosto de 1976, respectivamente.

Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Programa de Energía -Resumen y Conclusiones -, noviembre de 1980.

Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Comisión Federal de Electricidad, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Informe sobre los Estudios de Factibilidad del Programa Nucleoeléctrico Nacional, 1980.

Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Complemento del Programa de Acción del Sector Industrial 1980-1982, agosto de 1980.

Secretaría de Programación y Presupuesto, Plan Global de Desarrollo 1980-1982, abril de 1980.

Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Programas por Ramas - Electricidad -, junio de 1983.

Treviño Botti, José, "Lecciones de un Concurso Fallido", Uno más Uno, junio 24 de 1982.