

# La energía nuclear y los países en desarrollo

## El caso de Irán

BIJAN MOSSAVAR-RAHMANI\*

En los países industrializados, la energía nuclear se enfrentaba a serios problemas aun antes del episodio de Three Mile Island. Hacía varios años que las órdenes de compra de reactores nucleares no cumplían las expectativas despertadas en 1973 por el rápido aumento del precio del petróleo. Cuando disminuyeron las perspectivas de ventas en sus países de origen, los principales fabricantes nucleares (como la Westinghouse Electric Corp. y la General Electric de Estados Unidos, la Kraftwerkunion de la RFA y la Framatome de Francia) se orientaron cada vez más hacia los inexplorados y más lucrativos mercados de exportación, sobre todo en el Tercer Mundo, en busca de alivio a sus problemas.

Los vendedores nucleares se dirigieron a Corea del Sur, Taiwán, Brasil, Irán y las Filipinas, entre otros, para ofrecerles no sólo reactores sino toda la gama de los servicios vinculados con el ciclo del combustible: el enriquecimiento del uranio, la fabricación del combustible y el reprocesamiento del combustible utilizado. En rápida sucesión obtuvieron órdenes de compra por decenas de miles de millones de dólares. Parecía inminente la obtención de varias más.

No obstante, al tiempo que cada vez más países del Tercer Mundo comenzaban a levantar los cimientos de sus instalaciones nucleares, en varios lugares se empezó a debatir la conveniencia de esa evolución.

\* Investigador de la Escuela de Gobierno de la Universidad de Harvard; ex-asesor del Primer Ministro de Irán para Asuntos Nucleares; encargado de investigaciones nucleares durante el gobierno del Sha. Este trabajo se presentó en el Quinto Foro Científico sobre cambios Recientes en el Panorama Energético, realizado en México del 9 al 13 de noviembre de 1981. Traducción del inglés de Sergio Ortiz Hernán y Rubén Svirsky.

Por un lado, algunos países industrializados, y en particular Estados Unidos, expresaron su preocupación: dado el régimen nuclear internacional vigente, las ventas de tecnología contribuían a la proliferación de las armas nucleares en todo el mundo; por ello, buscaron los medios para poner coto a esa tendencia. La explosión subterránea de un artefacto nuclear de 15 kilotones, que llevó a cabo la India en 1974, desencadenó esa preocupación. Se decía que este país había construido su “bomba” con plutonio procesado a partir del combustible de un reactor suministrado por Canadá con fines de investigación, y que lo había hecho sin violar la letra de los acuerdos vigentes de salvaguardias. Creció la preocupación por la posibilidad de que se difundiera aún más la capacidad de construir armas nucleares cuando se propuso la venta del ciclo de combustible nuclear llamado “sensitivo” a Brasil, Corea del Sur y Paquistán.

Por otro lado, los planificadores energéticos de cuando menos algunos países subdesarrollados con grandes expectativas y programas de energía nuclear —sobre todo los de Irán— comenzaron a cuestionar la conveniencia de seguir adelante con esa opción. Sus planteamientos no sólo se centraban en la proliferación de las armas nucleares, sino en la viabilidad económica, técnica y ecológica de los reactores, especialmente en los países que disponían de otras fuentes de energía, sobre todo si éstas eran nacionales.

Como consecuencia de estas preocupaciones, que surgían tanto entre compradores como entre vendedores, de 1978 a 1980 disminuyeron las perspectivas de grandes ventas nucleares. Varios países en desarrollo con importantes programas de energía nuclear estudiaban la posibilidad de recortarlos considerablemente; hoy en día, las posibilidades de esta fuente no

parecen mejores en los países en desarrollo que en los desarrollados.

Irán, cuyo programa nuclear estaba entre los más ambiciosos del mundo en desarrollo (23 000 MWe —megavattios eléctricos— en veinte años), ha hecho uno de los cambios de rumbo más notables y parece haberlo cancelado. Aunque la causa inmediata fue la revolución que sustituyó al régimen de Pahlevi por un gobierno islámico, las presiones internas para reevaluar el programa se estaban acumulando desde hacía algún tiempo, y es muy probable que la meta original se hubiera recortado de todos modos.<sup>1</sup>

En este artículo describiremos los orígenes y el desenvolvimiento del programa iraní de energía nuclear de 1974 a 1978; recogeremos las principales críticas a los costos y riesgos económicos, infraestructurales y políticos del programa, tal como estaba planeado originalmente, y analizaremos las lecciones que pueden extraer del caso de Irán otros países en desarrollo que tengan programas nucleares en estudio o en ejecución.

#### LOS ORIGENES DEL PROGRAMA IRANÍ DE ENERGÍA NUCLEAR

En buena medida, el interés de Irán por emprender un programa de energía nuclear en gran escala fue estimulado, como en muchos otros países, por los acontecimientos del mercado energético internacional en 1973 y 1974. La casi cuadruplicación del precio del petróleo y la permanente incertidumbre sobre los suministros que sucedió al embargo petrolero llevaron a los principales países desarrollados a intensificar su búsqueda de fuentes energéticas baratas, abundantes y nacionales. La opción nuclear parecía la más atractiva. Cuando el crudo se vendía entre dos y tres dólares el barril, las comparaciones de costos con plantas que consumían petróleo indicaban un mercado creciente para la energía nuclear. Al subir aquel precio a más de 11 dólares, la presunta competitividad de la energía nuclear parecía mucho mayor aún en los países industrializados.

Las mismas consideraciones y cálculos de costos fueron la fundamentación del gran programa nacional de energía nuclear en Irán. Se sostuvo que los precios del petróleo seguirían aumentando periódicamente, en tanto que el costo de la energía nuclear se había estabilizado relativamente. Por consiguiente, en lugar de quemar petróleo, Irán debía exportarlo para obtener las divisas requeridas por su programa de desarrollo, y generar la electricidad con un costo menor en plantas nucleares. Además, al desarrollar la energía nuclear en su propio territorio, Irán predicaba con el ejemplo su propuesta búsqueda mundial de sustitutos de los combustibles de origen fósil, reservando el petróleo para sus usos más importantes en la industria petroquímica. También se sostuvo que la energía nuclear ayudaría a diversificar la base energética del país y a construir una infraestructura viable para cuando la

producción nacional de petróleo declinase. Debe agregarse el elemento de prestigio vinculado con la construcción y operación de plantas nucleares.

#### *Otras consideraciones*

Empero, cuando menos otras dos consideraciones también pesaron mucho en la decisión iraní de emprender un gran programa de energía nuclear. En primer lugar, Irán sufría una gran presión —por lo menos, creía sufrirla— para que “recirculase” sus recién incrementados ingresos petroleros mediante compras masivas de bienes y servicios en los principales países occidentales industrializados. En segundo término, la familia real y otras personas muy vinculadas a ella, que solían recibir enormes comisiones sobre los contratos con el exterior, para facilitar e incluso para aprobar los principales proyectos, tenían mucho que ganar en la compra de reactores, cada uno de los cuales costaba varios miles de millones de dólares. Según empresarios y funcionarios públicos cercanos al programa nuclear iraní, las comisiones de las primeras compras de reactores se fijaron cerca de un inusitado 20% de los contratos, es decir, varios cientos de millones de dólares por reactor.<sup>2</sup>

No se ha podido —y probablemente nunca se podrá— probar la cifra real de las comisiones pagadas o previstas. No obstante, no hay duda de que en los niveles más altos se manejaron considerables “recompensas”, que tuvieron su importancia para determinar el modo solapado en que se elaboró el programa nuclear desde un principio, así como para explicar la insistencia del régimen en mantenerlo a pesar del creciente reconocimiento de que era inadecuado para el país.

Es probable que las consideraciones militares no hayan contribuido en la decisión de emprender el programa nuclear. Posiblemente, el Gobierno iraní creía que podría llegar a adquirir capacidad nuclear bélica como resultado de sus grandes inversiones en esa tecnología. Sin embargo, obtener armamentos no fue la razón inmediata o importante para emprender, y después para mantener, el programa. En general, se pensaba que había formas más rápidas, baratas y “limpias” de adquirir armas nucleares que llevar a cabo grandes inversiones en reactores.

#### *Los fundamentos de la decisión*

Se había decidido instalar una capacidad nuclear de 23 000 MWe en 20 años, es decir, hasta 1994.<sup>3</sup> No es sorprendente que, una vez adoptada en principio la decisión, el estudio encargado a una empresa de consultoría canadiense-iraní confirmase la opción gubernamental por un programa nuclear de gran escala, al afirmar que “la nuclear es la fuente energética más económica para la operación de carga básica y para la de rango medio hasta por tan poco tiempo como 4 800

2. Entrevistas con funcionarios y ex-funcionarios de la Organización Iraní de Energía Atómica y con importantes empresarios vinculados con el programa, realizadas en Teherán en abril de 1979.

3. La cifra de 23 000 MWe es un dato más o menos arbitrario, basado en las expectativas del Gobierno sobre cuál debería ser la necesidad energética nacional a comienzos del decenio de los noventa. La intención explícita del Gobierno era aumentar el consumo per cápita de energía hasta llevarlo al nivel de Europa Occidental en unos 20 años, y abastecer con reactores alrededor de 40% de la capacidad instalada total requerida para tal fin.

1. Véase, del autor, “Reassessing Iran’s Nuclear Energy Program”, ponencia presentada en un congreso sobre las relaciones entre Irán y Estados Unidos, realizado en Washington en octubre de 1977. Se publicó en Abbas Amirie y Hamilton A. Twitchell (eds.), *Iran in the 1980s*, Institute for International Political and Economic Studies y Stanford Research Institute, Teherán, 1978.

horas anuales, es decir, con un factor de capacidad anual de alrededor de 55 por ciento".<sup>4</sup>

Empero, el estudio contenía varias premisas engañosas, cuando no erróneas, que determinaban sus resultados. Por ejemplo, se establecía el costo de construcción de un reactor de agua ligera de 1 000 MWe en 550 dólares por KWe instalado, más 140 dólares adicionales por KWe en pago de intereses durante la construcción, lo cual llevaría el costo total a 690 dólares por KWe instalado. En realidad, estimaciones posteriores indicaron que ese costo debía ser muy superior a 3 000 dólares por KWe instalado.<sup>5</sup> Además, al tiempo que se subestimaba el costo de la energía de generación nuclear, en el estudio se sobrestimaba el costo de la generada con los abundantes recursos fósiles del país. Por ejemplo, se establecía que el precio del gas natural nacional era de 1.8 dólares por cada mil pies cúbicos, no sólo superior al vigente entonces en todo el mundo sino 1.65 dólares mayor que las mejores expectativas de Irán según el programa de exportación que se estaba elaborando. En ese estudio también se omitieron por completo otros factores —infraestructurales, políticos, económicos, de mano de obra, sociales y ecológicos— que debieron pesar en cualquier análisis objetivo de la opción nuclear en Irán.

No obstante sus defectos evidentes, es probable que este estudio haya sido el instrumento más importante del Gobierno para justificar la puesta en marcha de su programa nuclear.

#### *La negociación de las compras de reactores*

La Organización Iraní de Energía Atómica se estableció en 1974. Inmediatamente emprendió negociaciones con varios países abastecedores (entre otros, con Estados Unidos, Canadá, Francia, la RFA, Gran Bretaña, Australia, la India y varios de África) para obtener capacitación y ayuda tecnológicas y para la compra de equipos y combustible. El primer contrato se firmó con la Kraftwerkunion (KWU) de Alemania Occidental por dos reactores de agua ligera a presión de 1 190 MWe cada uno, que se compraban "llave en mano", es decir, listos para funcionar. La KWU también se comprometió a suministrar la carga inicial de combustible y las recargas necesarias para los primeros diez años de operación.

Ya estaba muy avanzada la construcción de estos dos reactores en Halileh, cerca de la ciudad de Bushehr, sobre el Golfo Pérsico, y se preveía que comenzarían a funcionar a comienzos de 1980, cuando el país se vio sacudido por graves conflictos políticos. Como resultado de huelgas de los obreros iraníes y del gran éxodo de técnicos extranjeros, a fines de 1978 se suspendió el trabajo en los reactores, que ya tenían uno 80 y otro 50 por ciento de avance. No se ha reanudado el trabajo en estas plantas; su destino aún es incierto, a pesar de la generalizada convicción de que debe anularse todo el programa nuclear. Según el fabricante, Irán ya pagó unos 2 750 millones de dólares del costo total del proyecto, que supera los 7 000 millones.

4. Monenco Iran y Montreal Engineering Company, *Power Study of Iran 1974-75, Final Report* (informe confidencial al Gobierno Imperial de Irán), abril de 1975, pp. 3-24.

5. La Monenco estimó el costo total del programa iraní de energía nuclear de 23 000 MWe en 24 000 millones de dólares de 1974. Según cálculos posteriores, la cifra real sería de cuatro a seis veces más.

Asimismo, Irán había ordenado a la empresa Framatome, de Francia, dos reactores de agua ligera presurizada de 935 MWe, que debían instalarse en Darkhouin, cerca de Ahwaz, en el sudoeste del país, también llave en mano. El contrato con la Framatome también incluía un acuerdo para el combustible, por el cual la empresa francesa suministraría uranio enriquecido para la planta, si Irán lo solicitase, hasta por diez años. También se convino que el combustible utilizado en la planta se enviaría a Francia para reprocesarlo, y el uranio recuperado se devolvería a Irán para su enriquecimiento y uso o para venderlo a terceros. Este acuerdo no preveía la devolución del plutonio.

El trabajo en estos reactores comenzó en 1977 y se suspendió como consecuencia del conflicto político; es prácticamente seguro que no se reiniciará.

Además de los reactores en construcción, Irán había firmado una carta de intención con la KWU por cuatro reactores de 1 200 MWe, enfriados con aire o en seco, que se instalarían en la parte central del país, y se habían elaborado borradores de una carta de intención para la Brown Boverie, de Alemania Occidental, sobre dos reactores similares. A mediados de 1978, las negociaciones sobre estos cuatro reactores se suspendieron indefinidamente.

Irán había negociado la compra de reactores con empresas estadounidenses en diversas ocasiones. Las conversaciones de 1975 preveían la instalación de seis a ocho. Sin embargo, la firma de los contratos se detuvo, primero en espera de la legislación pendiente sobre la política de exportaciones nucleares de Estados Unidos y, después, de la aprobación de un acuerdo bilateral de salvaguardias nucleares entre ambos países. Es innecesario decir que el acuerdo bilateral está hoy fuera de cuestión.

#### *El suministro de combustible*

Durante el período 1974-1978, mientras se negociaba la compra de reactores, Irán también discutió con Estados Unidos y varios países de Europa Occidental la posibilidad de invertir en instalaciones de enriquecimiento de uranio. Adquirió una participación de 10% en una planta de enriquecimiento por difusión gaseosa que Eurodif construyó en Tricastin, Francia. También Francia, España, Bélgica e Italia eran accionistas. La planta comenzó a funcionar hace poco tiempo y debe alcanzar toda su capacidad de producción a finales de 1981. Irán aceptó suscribir 25% de las acciones de una planta similar que construiría Coredif, otro consorcio en el cual también participaban los cuatro países mencionados. No obstante, Irán e Italia reconsideraron después su compromiso, debido al probable exceso de capacidad de enriquecimiento que habría en el mundo en el decenio de los ochenta y a la disminución de sus propias necesidades por el recorte de sus programas nucleares. El Gobierno francés, que esperaba que la planta de Coredif se construyese en su territorio, siguió promoviendo el proyecto activamente durante algún tiempo. Sin embargo, el retiro de Irán supone que la planta será mucho menor de lo previsto, o que su construcción se pospondrá o se abandonará.

En cuanto al uranio natural, Irán adquirió unas 28 000 toneladas de mineral para sus reactores en varios países, negoció

inversiones conjuntas para exploración y desarrollo de minas en otros, y se embarcó en un plan de diez años y 300 millones de dólares para la búsqueda de uranio en el país.

En la actualidad, todavía es incierto el destino de todas estas inversiones.

#### LA CRITICA DEL PROGRAMA NUCLEAR IRANI

Mientras que Irán avanzaba con rapidez en la puesta en práctica de su programa nuclear, las perspectivas mundiales de este tipo de energía se habían modificado drásticamente. La euforia inicial había dado paso a profundas reconsideraciones sobre la conveniencia, y aun la necesidad, de depender de una tecnología que resultaba cada vez más controvertida en cuanto se refería a la seguridad, sobre todo una vez que se hizo evidente el encarecimiento de sus costos.

A los tres años de adoptada por Irán la decisión inicial de embarcarse en un gran programa de energía nuclear, se hacía cada vez más claro que ésa ya no era una forma relativamente barata de generar electricidad. En verdad, incluso en las naciones industrializadas los crecientes costos de instalación y de operación (incluidos los del combustible) habían eliminado toda posible ventaja de la energía nuclear con respecto a las plantas generadoras que utilizaban carbón o petróleo. Sin embargo, en muchos círculos iraníes, y entre el gran público de ese país, subsistía el mito de la energía nuclear como una opción casi inagotable, segura y barata. Tampoco podría esperarse que la creciente burocracia nuclear disipase el mito. Menos aún lo harían las empresas transnacionales fabricantes y exportadoras de reactores. Enfrentadas a una disminución de las ventas en sus países, éstas se habían vuelto hacia los lucrativos mercados del exterior. Puesto que cada contrato de exportación de un reactor de 1 000 MWe podía llegar a miles de millones de dólares, era mucho lo que había en juego en cada venta y las empresas desplegaban toda su capacidad de comercialización para colocar sus equipos.<sup>6</sup> Los gobiernos de los países de origen de la tecnología también promovían en forma activa la exportación de equipo y servicios, para mejorar sus balanzas de pagos y para mantener a flote a sus industrias nucleares; a menudo ofrecían grandes créditos a la exportación, cuando eran necesarios para "dorar la píldora".

#### *La necesaria reconsideración*

A fines de 1977, al conocerse los grandes recortes de la capacidad nuclear planificada por otros países, en Irán se acumuló la presión suficiente para reconsiderar las metas nucleares originales. Un pequeño grupo de críticos, integrado tanto por especialistas en energía como por economistas

6. En sus planteamientos ante el Gobierno iraní, los proveedores subestimaban sistemáticamente los costos de la energía nuclear; sólo en las etapas finales de la negociación comercial dieron a conocer cifras muchos mayores. Ya comprometidos en la compra, a los negociadores iraníes se les hacía difícil, por razones políticas, echarse atrás. Por ejemplo, cuando Francia planteó por primera vez a Irán la venta de reactores, en 1974, los informes de la prensa iraní (citando a fuentes francesas) estimaban el costo de capital del KWe instalado en unos 200 dólares. Al firmarse el contrato, un año después, el costo básico ya era diez veces mayor: 2 000 dólares por KWe instalado. El costo real, incluidos aumentos e intereses durante la construcción, casi llegó a 3 500 dólares corrientes por kWe.

oficiales y académicos, comenzó a sostener, primero en privado y después también públicamente, que la alta burocracia nuclear no evaluaba (o, quizá, no difundía) adecuadamente los costos y riesgos crecientes implícitos en un gran programa nuclear. En particular, esos críticos impugnaban la persistente afirmación del Gobierno y de su organismo de energía atómica de que ésta ofrecía al país una opción segura y barata frente a los combustibles fósiles, y exigían una evaluación cuidadosa de todas las posibilidades disponibles.

La mayoría de estos expertos no había sido consultada a la hora de evaluar y planificar el programa nuclear. Este había sido iniciado, primero, y después dirigido muy de cerca, por el propio Sha y un círculo muy cerrado de socios y consejeros políticos, nacionales y extranjeros. La puesta en marcha del programa, así como los esfuerzos por legitimarlo internacionalmente y por fundamentarlo en el interior del país, se había confiado al Director de la Organización Iraní de Energía Atómica y a varios de sus subordinados. Según los críticos, casi todos estos individuos carecían de la capacidad necesaria para conducir el programa. Por cierto, cuando el Sha comenzó a "limpiar la casa" durante el verano de 1978, en un desesperado intento por mantenerse, despidió al Director de la Organización e investigó las acusaciones de mala administración que se le formulaban.

Este movimiento era un síntoma de la creciente inquietud que el programa nuclear empezó a provocar en el Gobierno después de 1978. Como consecuencia de las críticas, cada vez más audibles, se estableció una pequeña comisión asesora del Primer Ministro para analizar el programa y recomendar los cambios necesarios.<sup>7</sup> La comisión concluyó que el Gobierno debía declarar una moratoria de todas las nuevas actividades nucleares, para dar tiempo a reevaluar el papel potencial de la energía nuclear frente a las otras fuentes de que disponía Irán.

Los acontecimientos políticos superaron a esta comisión y a otros esfuerzos por evaluar cuidadosa y objetivamente las opciones energéticas del país. Sin embargo, es probable que los principales argumentos elaborados en aquel momento contra el programa nuclear mantengan su validez en el futuro previsible. Tales argumentos pueden resumirse así:

- *La seguridad del suministro.* A largo plazo, los reactores nucleares no pueden proporcionar a Irán una fuente energética constante y segura. Para su funcionamiento, la generación actual de los reactores de agua ligera, que debía llegar a una capacidad instalada de 15 000 a 20 000 megavatios eléctricos en 1994, requiere el suministro de uranio natural. Empero, la disponibilidad mundial de uranio es limitada; por varias razones económicas, políticas y técnicas, Irán podría tener dificultades para abastecerse de uranio durante toda la vida previsible de sus plantas.

Dado el vínculo posible entre la difusión de los equipos, combustibles y tecnologías nucleares civiles, por un lado, y la proliferación de armamento nuclear, por otro, tres de los principales países con grandes yacimientos de uranio ya han

7. Esta comisión comenzó a reunirse a mediados de 1978. Dependía del primer ministro, Jamshid Amuzegar, y del ministro de Asuntos Económicos y Financieros, Mohammad Yeganeh. Ambos eran partidarios de una reevaluación minuciosa del programa energético nuclear.

intentado imponer condiciones muy severas de exportación: Australia, Canadá y Estados Unidos.

Es muy probable que las consideraciones de tipo político sigan desempeñando un papel muy importante en el mercado; puede verse una intervención todavía mayor de los principales productores por razones de seguridad, debido a lo cual el mercado seguirá siendo inestable e impredecible.

Esta inestabilidad se complicará más aún porque la mayor parte de este escaso producto seguirá en manos de sólo un puñado de países; hoy en día, los cuatro principales productores abarcan 90% del uranio que se extrae en el mundo no comunista. A pesar del ingreso de importantes productores como Nigeria, Gabón y España, se supone que el mercado seguirá dominado por aquellos cuatro países hasta fines del próximo decenio.

Este grado de concentración (si no de cartelización) del mercado tiene consecuencias importantes para los precios del uranio. Por ejemplo, es imposible saber si serán constantes en términos reales durante los próximos años, o si sufrirán aumentos considerables, como en el período 1973-1978, cuando se multiplicaron de cinco a seis veces como resultado de manipulaciones en el mercado.

Además del cártel de productores, Irán debe enfrentarse a un segundo mercado muy politizado, inestable y cartelizado: el de los servicios de enriquecimiento de uranio. En la actualidad, Estados Unidos tiene un monopolio virtual sobre esos servicios, aunque la Unión Soviética ha logrado cierto ingreso en el mercado. Otros dos proyectos europeos están en marcha: el Urenco, inversión conjunta de Gran Bretaña, la RFA y los Países Bajos, y el consorcio Eurodif, encabezado por Francia y que, por lo menos hasta la revolución, incluía a Irán. Si se construye la prevista planta de enriquecimiento alemana en Brasil, éste será el único país en desarrollo con acceso directo a tal servicio, a pesar de la participación indirecta de Irán en el Eurodif.

Debido a que los abastecedores nucleares han resuelto restringir sobremanera, cuando no prohibir, toda nueva venta de tecnologías de enriquecimiento "sensitivas", que podrían utilizarse para producir uranio apto para armamentos, los países en desarrollo con reactores de agua ligera seguirán dependiendo de ellos para obtener el combustible de sus reactores. Aun cuando fuese posible comprar instalaciones de enriquecimiento, las economías de escala impedirían que funcionaran de modo rentable en los países en desarrollo más pequeños.

Los abastecedores han mostrado cierta disposición de ofrecer uranio enriquecido en el marco de un acuerdo completo de no proliferación nuclear. Sin embargo, ciertos hechos históricos plantean dudas sobre la credibilidad de tales garantías en el largo plazo; en particular, nos referimos a la moratoria temporal que impuso Estados Unidos sobre los nuevos contratos de enriquecimiento a mediados de los años setenta, y la discusión interna que se lleva a cabo en Australia sobre la producción de uranio.

No es probable que el plutonio producido en la etapa final del ciclo del combustible pueda utilizarse como elemento para presionar a los abastecedores de uranio y de servicios de enriquecimiento.

El combustible utilizado en los reactores de agua ligera puede reprocesarse para obtener uranio aún no utilizado, así como plutonio transformado a partir de los isótopos pesados originales del uranio. Ambos pueden volver a utilizarse como combustible en los reactores.

Sin embargo, el plutonio recuperado es muy tóxico y puede utilizarse para fines bélicos, lo cual hace muy controvertido tal reprocesamiento. Estados Unidos, país clave en ese mercado, ha pospuesto en forma indefinida el reprocesamiento comercial de combustible utilizado, y ha exhortado a otros países a que hagan lo mismo; se supone que muchos lo harán. Empero, aunque varios países (Francia y Gran Bretaña, por ejemplo) mantuviesen en operación sus instalaciones actuales de reprocesamiento, seguirían siendo inciertos e impredecibles los términos en que podrían ofrecer sus servicios a los países en desarrollo. Sin duda, la venta de las instalaciones seguirá prohibida durante muchos años, debido a la preocupación por las salvaguardias. De todos modos, para los países en desarrollo con programas nucleares limitados no es conveniente reprocesar el combustible, ni enriquecer el uranio, debido a los altos costos.

Por último, Irán se enfrenta a otro grupo muy concentrado de proveedores de equipo nuclear, que suministra no sólo los reactores sino, lo que es tan importante como éstos, las refacciones y los técnicos capacitados necesarios para construir, operar, mantener y eventualmente desmantelar las instalaciones nucleares y disponer del combustible usado.

Hoy en día, el mercado de los reactores está dominado por seis grandes conglomerados que, a pesar de que compiten por las ventas al exterior, están muy vinculados entre sí. Los dos principales fabricantes nucleares estadounidenses, la Westinghouse Electric Corp. y la General Electric, que disponen de unos dos tercios del mercado interno de su país, también participan muy ampliamente en los programas europeos y japonés de energía nuclear.

Por ejemplo, el principal reactor nuclear que funciona hoy en día en Alemania Federal es virtualmente idéntico al reactor de agua hirviente de la General Electric, y el principal reactor de exportación que produce ese país es el de agua presurizada que diseñó la Westinghouse. En Francia, la Framatome produce reactores de agua presurizada con licencia de la Westinghouse, tanto para uso interno como para exportación. En realidad, hasta hace pocos años la Westinghouse era una importante accionista de la propia Framatome.

En Japón, de los tres principales fabricantes de reactores, Mitsubishi trabaja con licencia de la Westinghouse y los otros dos, Hitachi y Toshiba, tienen licencia de la General Electric.

Hay otros países con industrias nucleares más o menos independientes, como la Unión Soviética, Canadá y Suecia, pero todos integran el Grupo de Proveedores Nucleares, de Londres, establecido fundamentalmente para fijar normas básicas y restricciones a la exportación de tecnología nuclear.

Estos vínculos y controles deben afectar en forma significativa a los precios. Por otra parte, y mientras duren, los controles pueden tener como consecuencia embargos conjuntos a la venta de equipo u otros servicios necesarios para

construir y hacer funcionar instalaciones nucleares, dirigidos contra determinados países o grupos de países, ya sea debido a legítimas preocupaciones de seguridad o a la búsqueda de otros objetivos comerciales o de política exterior.

Embarcarse en un gran programa de energía nuclear, sobre todo tratándose de un país sin base nuclear propia, supone depender de un pequeño grupo de proveedores muy politizados y de gran audacia comercial. Por consiguiente, Irán debería determinar con precisión los riesgos, costos e incertidumbres que entrañan la disponibilidad y los precios futuros del equipo, el combustible, las refacciones y la mano de obra calificada necesarios para operar y mantener instalaciones nucleares, a la hora de evaluar el equilibrio entre esos costos y cualesquiera beneficios que el país pudiera obtener de la energía nuclear.

■ *Infraestructura.* La aplicación del programa nuclear original se enfrenta a graves estrangulamientos estructurales. Por ejemplo, los reactores de 1 000 MWe, elegidos por razones de economía de escala, no son adecuados debido al tamaño limitado de la red de distribución eléctrica de Irán.

Una red de distribución requiere de capacidad de generación ociosa o de reserva, sea cual fuere el combustible de las plantas que integran el sistema (petróleo, gas, carbón o nuclear), para evitar las pérdidas de carga si una o más plantas generadoras deben cerrarse para reparación, mantenimiento, recarga de combustible o por cualquier otra causa. El monto de esa capacidad generadora de reserva es una función del tamaño de la planta. A medida que aumenta el tamaño de las plantas instaladas en una red, también aumenta la capacidad de reserva necesaria; en otras palabras, la pérdida de una planta de 1 000 MWe exige una capacidad de reserva mayor que la impuesta por plantas más pequeñas.

Además, se considera que las plantas mayores son menos confiables que las pequeñas, se descomponen con más frecuencia, ocasionan problemas en la red cuando se detienen y requieren de períodos más largos de cierre para su reparación. Todo ello resulta más grave en Irán debido a la escasa, si no nula, capacidad de reserva de la red nacional de distribución. Por consiguiente, en el caso de los dos primeros reactores de 1 190 MWe, uno debió construirse simplemente como capacidad de reserva para el otro.

El elevado riesgo sísmico y la carencia de agua para enfriamiento en la mayor parte del país limitan mucho la localización posible de reactores. Los pocos sitios utilizables en el sur de Irán están a muchos cientos de kilómetros de las principales zonas urbanas e industriales, y aun de la propia red de distribución. Como consecuencia, habrían grandes pérdidas de transmisión y se necesitaría realizar grandes inversiones, de miles de millones de dólares, en líneas de alto voltaje.

■ *La economía de la energía nuclear.* En Irán, hoy en día, la energía nuclear no tiene mucho sentido desde el punto de vista económico. En apoyo del programa se han citado estudios de costos realizados en países industrializados, según los cuales la energía nuclear resulta competitiva frente a la mayoría de las otras fuentes energéticas, y en particular frente al carbón. Sin embargo, estos estudios no son aplicables al caso de Irán y, por consiguiente, resultan engañosos.

Los costos de capital, el factor individual más importante en la determinación del costo final de la energía nuclear, son mucho más altos en Irán que en casi cualquier otro país. Sólo una parte de estos costos mayores puede atribuirse a los gastos en infraestructura. En los países industrializados, la inversión necesaria para un reactor de 1 000 MWe que comenzase a funcionar a principios del decenio de los ochenta se estimaba entre 700 y 1 000 dólares por KWe instalado en la fecha de su terminación. A fines de 1978, la cifra equivalente en Irán para los primeros cuatro reactores se calculó en más de 3 000 dólares por KWe instalado. Por ejemplo, para los dos reactores de Bushehr se calculó el costo de capital, en millones de marcos alemanes, como sigue:

Construcción	5 400
Imprevistos	800
Infraestructura	1 600
Costo básico total (real)	7 800
Aumentos durante la construcción	3 100
Intereses durante la construcción	2 300
Total de costos indirectos (estimados)	5 400
Costo total estimado	13 200

El equivalente en dólares de 1978 de los costos estimados totales de los dos reactores fue de 7 500 millones; por tanto, el costo del KWe instalado fue de alrededor de 3 150 dólares.<sup>8</sup>

Los costos de capital de los dos reactores de Darkhouin, en miles de millones de francos franceses, fueron los siguientes:

Construcción	9 600
Imprevistos	1 000
Infraestructura	2 900
Costo básico total (real)	13 500
Aumentos durante la construcción	8 100
Intereses durante la construcción	4 100
Total de costos indirectos (estimados)	12 200
Costo total estimado	25 700

Es decir, el costo total estimado de estos dos reactores fue de 6 400 millones de dólares de 1978, y el del KWe instalado de 3 435 dólares.<sup>9</sup>

8. En 1979, el nuevo Director de la Organización Iraní de Energía Atómica informó que el costo total de las dos plantas germano-occidentales sería de casi 7 000 millones de dólares, dato congruente con las estimaciones citadas. Más o menos en la misma época, el fabricante, KWU, dio una cifra más baja, de 5 500 a 5 600 millones; no obstante, parece que este cálculo no incluía el costo de los intereses durante la construcción.

9. Los datos en marcos alemanes y en francos franceses se convirtieron a dólares, a la tasa de fines de octubre de 1978, por dos razones: con fines comparativos, y porque los precios del crudo de Irán se fijan en dólares y, por consiguiente, sus ingresos petroleros se reciben en esa moneda. Estas cifras deben manejarse con cautela, puesto que los gastos reales en planta y equipo se distribuyen a lo largo de los seis o siete años que dura la construcción, y durante ese lapso pueden variar las tasas de cambio.

Incluso estas elevadas cifras no reflejan a cabalidad las verdaderas necesidades de capital para construir un reactor nuclear. A ellas deben agregarse:

- Los gastos del país en honorarios de consultores, en la elección de los lugares adecuados y en capacitación.
- Los costos del sistema, tales como las líneas de transmisión de alto voltaje incremental, necesarias para conectar los reactores a la red nacional y para construir la capacidad de reserva. Para los primeros cuatro reactores estos costos podrían elevarse a varios miles de millones de dólares.
- Otras externalidades, como los subsidios ocultos y las exenciones aduaneras; por lo común, las otras fuentes energéticas no entrañan esta clase de costos.

Otro elemento importante que debe tomarse en cuenta es que, en el caso de los reactores iraníes, el costo en moneda extranjera representa probablemente más de 90%; en los países industrializados, que fabrican la mayor parte del equipo y utilizan mano de obra local, ese componente sólo representa una pequeña fracción de los costos totales. Por tanto, construir reactores en Irán exige difíciles decisiones de asignación de divisas.

Por último, como hemos señalado, en los estudios de costos que se llevan a cabo en los países industrializados, suele compararse la energía generada en reactores nucleares con la de plantas de carbón. Ello se debe a que en estos países se considera que las plantas nucleares y de carbón son las únicas formas de generación tecnológicamente viables, competitivas y que utilizan combustible nacional abundante o, por lo menos, razonablemente asegurado para toda la vida de la instalación. Por lo común, esta comparación indica que, mientras que los costos de capital para una instalación de turbina de gas de carbón, en última instancia la electricidad generada en ésta es más cara debido a los mayores costos del combustible. En cambio, la competitividad de la energía nuclear en Irán no debe medirse con el carbón sino con los combustibles del subsuelo iraní: el petróleo y, sobre todo, el gas natural.

Sin embargo, en este país nunca se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de los costos de generar electricidad a partir del gas natural. Los escasos datos disponibles parecen indicar que las plantas de gas natural ofrecen una considerable ventaja económica frente a otras opciones, incluida la nuclear. Los costos de capital para una instalación de turbina de gas de 1 300 MWe, que se terminó en Rey, se estimaron en menos de 300 dólares por KWe instalado; el costo de una planta térmica de gas y diesel de 1 600 MWe, que debía terminarse en Neka en 1980, se estimó en menos de 500 dólares por KWe instalado. Sin embargo, todavía están por calcularse los costos reales de operación de estas dos plantas, en buena medida porque todavía no se ha resuelto qué precio asignar al combustible. De todos modos, puede afirmarse que el gas natural es la fuente más económica de electricidad incremental para Irán, en cualquier conjunto razonable de hipótesis.

El gas natural ofrece otras ventajas. La localización de las plantas es más flexible; pueden ubicarse unidades más peque-

ñas en todo el país, más cercanas a los puntos de consumo, lo cual reduce los costos y las pérdidas de transmisión. El gas es menos peligroso y presenta menos problemas de seguridad que el combustible nuclear. Su combustión es más limpia. Las plantas se pueden construir en mucho menos tiempo. El uso creciente del gas natural nacional impide la dependencia excesiva de fuentes externas de combustible. Por último, las necesidades de divisas son mucho menores en el caso del gas que en el de la energía nuclear, no sólo porque la inversión inicial es menor, sino porque no se requiere importar combustible ni servicios.

#### LA REDUCCION

A fines del verano de 1978, el Gobierno comenzó a dar muestras de cierta voluntad de reevaluar discretamente, si no de recortar en forma inmediata, sus planes originales. En parte, este cambio de opinión era consecuencia de la preocupación por las estimaciones de costos rápidamente crecientes de los reactores, unida al temor de que ya no se pudiese disponer de todos los fondos necesarios para el programa completo. El precio total, que en 1978 se ubicaba entre 80 000 y 120 000 millones de dólares, según diversos cálculos, implicaba la multiplicación entre tres y cuatro veces de la estimación original de 1974, cercana a 30 000 millones.

El Gobierno se enfrentaba a graves dificultades de disponibilidad de efectivo, debido a sus gastos excesivos en un período en que los ingresos petroleros sufrían una rápida reducción; ésta se debía tanto a la menor producción (ocasionada por el exceso de oferta en el mercado mundial) como a la disminución del precio real del petróleo (resultado de la caída del dólar con respecto a las otras monedas fuertes y de la inflación generalizada). Cuando se elaboró el presupuesto nacional para el año fiscal que terminaría en marzo de 1979, el Gobierno estimó un inmenso déficit: de 16 000 a 17 000 millones de dólares, más de un tercio del presupuesto total.

La preocupación por el déficit presupuestal se intensificó a raíz de los generalizados pedidos de aumento de salarios, apoyados en amenazas de huelgas y de violencia, en el momento más agudo del conflicto político nacional. Satisfacer estas demandas, junto con la reducción de impuestos y de precios de varios servicios, amenazaba con llevar el déficit a niveles inmanejables. Se resolvió que la solución más rápida para este difícil problema sería equilibrar el presupuesto, sobre todo, recortando los proyectos industriales de gran escala.

Para soportar la carga de la reducción se eligió al programa de energía nuclear. El Gobierno le otorgaba una prioridad más baja que a los otros dos programas que podrían admitir reducciones significativas: los gastos militares y las inversiones en la industria petroquímica. Además, parecía estar convirtiéndose en una carga desde el punto de vista político interno: se hacía cada vez más impopular no sólo por las críticas formuladas por ciertos expertos que lo objetaban desde un punto de vista técnico, sino porque el pueblo percibía a los reactores como un grandioso monumento de la época posterior a 1973 y de la dispendiosa administración de los inmensos recursos petroleros del país. En 1977, la Organización Iraní de Energía Atómica ofreció a Austria almacenar en su territorio

combustible utilizado; tal oferta recibió duros ataques de influyentes dirigentes musulmanes, entre otros, quienes la calificaron como un intento de "convertir a Irán en el basurero de los desechos nucleares de Occidente".

Si bien el régimen de Pahlevi nunca anunció en forma oficial una reducción de su objetivo original de 23 000 MWe, cada vez resultaba más claro que sólo culminaría en la fecha prevista la construcción de los cuatro reactores que se habían comenzado, lo cual llevaría la capacidad instalada total del país a unos 4 250 MWe a mediados de los años ochenta. Las negociaciones de los demás reactores se abandonaron por tiempo indefinido, incluidos cuatro de origen alemán, enfriados con aire, sobre los cuales ya se habían firmado las cartas de intención, y de seis a ocho estadounidenses.<sup>10</sup>

Así, aun antes de definido el resultado final de la revolución, el programa de energía nuclear iraní había sufrido un revés considerable, debido a un cúmulo de dificultades financieras y políticas. Después de la revolución, ese revés se convirtió en un virtual abandono. El nuevo Director de la Organización Iraní de Energía Atómica recomendó al Gobierno el abandono total de todas las plantas en construcción, por "razones políticas, económicas, sociales, humanitarias y técnicas".<sup>11</sup> Es probable que haya influido en esta recomendación la enérgica oposición del personal de ese organismo a raíz del accidente en Three Mile Island. Quizá haya sido ésta la primera vez que científicos y otros trabajadores vinculados con el programa se opusieron públicamente a la construcción de centrales nucleares en el país.

### Conclusiones

El Gobierno de la Revolución Islámica no hizo aún un anuncio formal sobre el destino del programa nuclear. La situación actual se resume en el cuadro 1. Según ciertos informes recientes, algunos clérigos iraníes han propuesto la fabricación de una "bomba islámica". Es difícil saber con cuánta seriedad se han tomado tales propuestas en el propio país. Dadas las actuales circunstancias, es probable que el Gobierno esté más dispuesto que su antecesor a aceptar el costo político de semejante decisión. Más aún, es posible que la idea de una "bomba islámica" resulte muy atractiva para el pueblo y pueda utilizársela para distraer su atención de otros urgentes problemas nacionales.

Empero, el programa nuclear del país todavía está en sus comienzos; incluso con un considerable apoyo gubernamental, faltarían varios años para completar un programa militar viable. Durante ese lapso podrían ocurrir muchos acontecimientos que afectasen el rumbo de tal proyecto.

10. En efecto, el gobierno de Shahpur Bakhtiar, de corta vida, anunció la cancelación de dos reactores franceses que estaban en construcción en el sudoeste del país. Sin embargo, las tareas no habían ido mucho más allá de la preparación del lugar de instalación. El efecto de esta decisión fue limitar el programa de energía nuclear a las dos plantas alemanas de 1 190 MWe cada una, que habían alcanzado aproximadamente 80 y 50 por ciento de avance.

11. El Gobierno debería pensar en completar las estructuras exteriores de las dos plantas germano-occidentales para utilizarlas como silos de almacenamiento de cereales importados, puesto que el lugar tiene acceso a un muelle de descarga en el Golfo Pérsico, a carreteras hacia el interior del país y dispone de buena parte de la infraestructura que requeriría tal proyecto.

CUADRO 1

### La energía nuclear en Irán

---

El país es miembro del Organismo Internacional de Energía Atómica
Firmó en 1968 el Tratado de No Proliferación de Armamento Nuclear (TNPAN)
Mantiene vigente el Convenio de Salvaguardias del TNPAN
Reactores para investigación en funcionamiento: uno de 5 MWe (desde 1967)
Reactores para generación comercial de energía, en funcionamiento: ninguno
Reactores en construcción en 1978: cuatro
Reactores de conclusión probable en 1985: ninguno
Capacidad nuclear instalada prevista para 1985: ninguna
Tipo predominante de reactores previstos: de agua a presión
Recursos de uranio: desconocidos
Existencias aproximadas de uranio: 28 000 ton
Instalaciones de reprocesamiento: ninguna
Instalaciones de enriquecimiento de uranio: ninguna en Irán; participación de 10% en la planta de Eurodif en Tricastin, Francia, en sociedad con Bélgica, España, Italia y Francia
Capacidad total programada en 1974: 23 000 MWe para 1994
Capacidad total actualmente prevista: de 0 a 2 380 MWe en 1994

---

Aun si se mantuviese el programa civil de energía nuclear, en parte por razones militares —realistas o no—, sólo se completaría, cuando mucho, uno o dos de los reactores alemanes que ya estaban muy adelantados cuando comenzó la revolución.

Sin embargo, nadie ha formulado todavía una evaluación global para determinar si es deseable mantener el programa original o modificarlo y reducirlo de modo considerable. En tanto no se complete esa evaluación, se disipen las dudas subsistentes y se elabore un proyecto energético nacional, el futuro del programa nuclear iraní seguirá siendo incierto.

### LO QUE NOS ENSEÑA IRAN

Los elementos que deben tomarse en cuenta en los países en desarrollo para decidir en materia de energía nuclear son muy complejos y variados. En algunos se considera a la energía nuclear civil como una manera de desarrollar la capacidad de fabricar armas nucleares. Otros adquieren reactores para aumentar el prestigio nacional. Aún otros tienen la esperanza de que la tecnología y la capacitación nucleares los colocarán en la "curva de aprendizaje" de esa tecnología. A todos ellos, la corta experiencia iraní puede ofrecerles escasas lecciones respecto a cómo proceder o sobre la conveniencia de proceder o no.

Empero, para aquellos países que desean disponer de reactores debido a su serio interés en la generación de energía comercial, la experiencia iraní es una lección muy ilustrativa: excepto, quizá, en muy pocos casos, la energía nuclear no es viable en los países en desarrollo debido a razones económicas, técnicas, de infraestructura y de seguridad. Las posibles excepciones son la India, Taiwan y Corea del Sur, que disponen de una base tecnológica avanzada, de mano de obra relativamente bien capacitada y de escasas fuentes energéticas propias. Sin embargo, incluso en estos países se desconoce todavía el veredicto final.

La idea de la energía nuclear como una opción viable en los



países en desarrollo es, en gran parte, resultado de su promoción prematura e incluso indiscriminada en tales países. Este proceso, apodado con propiedad la "vulgarización" de la energía nuclear, no sólo ha empañado los esfuerzos por lograr un frágil y delicado equilibrio entre la no proliferación y el desarrollo de la energía nuclear para fines civiles, sino que también ha contribuido a subvertir el proceso de decisión en el campo de la energía, como los funcionarios iraníes han descubierto penosa y costosamente.

¿Cómo se perpetró este exceso en los países en desarrollo?  
¿Cómo puede evitarse este engaño?

Durante casi tres decenios, los países industrializados han depositado grandes esperanzas en el dominio del calor proveniente de la fisión nuclear para producir vapor que permita el funcionamiento de maquinaria destinada a generar energía eléctrica barata, confiable y abundante. En 1942 se logró la primera reacción nuclear de fisión en cadena sostenida y controlada, y más de diez años después se dispuso de los primeros reactores nucleares civiles operativos. Hacia fines de los sesenta, había cientos de pedidos de nuevos reactores en casi veinte países. Sin embargo, y pese a las expectativas iniciales, en muchos casos los reactores nucleares, una vez en operación, resultaron cuando mucho sólo marginalmente competitivos con las plantas que utilizan combustibles fósiles tradicionales.

Los costos de capital de los reactores, rápidamente crecientes, frustraron en buena parte las difundidas esperanzas de disponer de energía nucleoelectrónica "tan barata que no habría necesidad de medirla". De hecho, se hizo evidente que las estimaciones de costos y, por tanto, la racionalidad económica, que habían estimulado la temprana construcción de plantas nucleares, eran, en general, erróneas.

Si no hubiese cambiado el panorama energético mundial a principios de los setenta, quizá la costosa experiencia del decenio anterior habría desembocado en una considerable disminución de la construcción de plantas.

Empero, el embargo petrolero de los árabes y la concomitante cuadruplicación de los precios del petróleo en 1973-1974 resaltaron, una vez más, la presunta viabilidad comercial de la energía nuclear. Aún más, la conciencia creciente de que los combustibles fósiles, particularmente el petróleo y el gas natural, podrían escasear en el largo plazo, indujo a los productores de energía, públicos y privados, de muchos países industrializados, en desarrollo y del bloque oriental, a asignar mayor importancia a la diversificación energética. La preocupación sobre la seguridad de los suministros y el control de los precios de los combustibles fósiles aumentó los atractivos de la opción nuclear; a pesar de las pasadas experiencias con costos que desbordaron las previsiones, hubo un súbito y marcado aumento de los pedidos de reactores nucleares.

Empero, no habría de durar mucho la idea renovada de una energía nuclear que representara una posibilidad viable, desde el punto de vista comercial y tecnológico, frente a los combustibles fósiles. De nuevo fue puesta en entredicho por el cambiante panorama de los costos de construcción y operación de plantas, por un examen más preciso de las disponibilidades de uranio, por la creciente preocupación internacional con respecto a los riesgos de la proliferación y la seguridad, así como por los mayores temores del público ante los peligros ecológicos y de seguridad representados por los reactores y los desperdicios radiactivos del ciclo de combustible nuclear.

Varios países industrializados clave, incluyendo a Estados Unidos, la Gran Bretaña, la República Federal de Alemania y

CUADRO 2

*Instalaciones nucleares en los países en desarrollo*

<i>País</i>	<i>Nombre</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Tipo</i> <sup>1</sup>	<i>Capacidad en MWe</i>	<i>En operación</i>
<b>Reactores</b>					
Argentina	Atucha	Atucha	PHWR	319	sí
	Embalse	Córdoba	Candu	600	no
Brasil	Angra-1	Angra dos Reis	PWR	975	no
La India	Tarapur-1	Tarapur	BWR	190	sí
	Tarapur-2	Tarapur	BWR	190	sí
	Rajasthan-1	Rajasthan	Candu	200	sí
	Rajasthan-2	Rajasthan	Candu	200	no
Paquistán	KANUPP	Karachi	Candu	125	sí
Corea del Sur	Kori-1	Kori	PWR	564	no
<i>País</i>	<i>Nombre</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Tipo</i>		
<b>Ciclo de combustible</b>					
Argentina	Planta piloto de fabricación de combustibles		Constituyentes	Fabricación de combustible.	
La India	Complejo de combustible nuclear		Hyderabad	Conversión y fabricación de combustible de uranio enriquecido	

1. PHWR es reactor de agua pesada a presión; Candu identifica al reactor canadiense que utiliza uranio natural y agua pesada; PWR es reactor de agua a presión; BWR es reactor de agua hirviente.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica de la ONU.

Francia, comenzaron a revisar y a disminuir los pedidos de nuevos reactores. Según las proyecciones, la capacidad energética nuclear en estos países todavía tendrá grandes aumentos hasta 1985, pero mucha de esa capacidad se deberá a pedidos anteriores de plantas que están ahora en construcción. Mas allá de ese período, es muy incierto el futuro de la energía nuclear en los países industrializados.

No obstante, los países en vías de desarrollo han sido más lentos en modificar sus objetivos nucleares iniciales. Aún persiste en ellos la idea de los reactores como fuentes de energía eléctrica ilimitada, segura y barata. Es claro que, en las presentes circunstancias cuando menos, la energía nuclear no es nada de eso.

Igual que Irán, casi todos los países en desarrollo se enfrentan a mercados muy cartelizados y politizados del uranio, de su enriquecimiento y de la amplia variedad de equipo básico y de servicios necesarios para la construcción y operación de las instalaciones nucleares. Todo esto disminuye de manera significativa la confiabilidad y seguridad de largo plazo de la energía nuclear.

En cuanto al mito del bajo precio, las cifras cuentan una historia diferente. En los propios países industrializados los costos —rápidamente crecientes durante los setenta, tanto los de capital para plantas y equipos, cuanto los de operación, incluido el combustible—, han cercenado, si no es que eliminado por completo, cualquier margen competitivo frente a las plantas de combustibles fósiles, sobre todo las de carbón. De 1967 a 1977, las estimaciones publicadas sobre los costos de capital de reactores nuevos a base de agua ligera en los países industrializados mostraron un crecimiento de casi diez veces, en dólares corrientes, por KWe instalado, elevándose a más de 1 000 dólares en el caso de reactores situados en el rango normal de 1 000 MWe.

Los fabricantes de reactores e incluso las empresas públicas de energía han persistido en subestimar dichos costos. En realidad, la inversión necesaria ha superado a las expectativas en casi todos los casos debido a esas grandes subestimaciones. Los aumentos de costos se han atribuido a una escalada de los precios y de los intereses provocada por demoras en los trámites de autorización y en la construcción, así como por criterios más rigurosos de seguridad y de preservación del ambiente, junto con costos adicionales de ingeniería, de la mano de obra y del equipo, lo mismo que por la inflación general.

En los países en desarrollo los atractivos comerciales de la energía nuclear parecen todavía más sospechosos.

En Irán, como se dijo, los costos estimados de capital (en dólares corrientes) por KWe instalado en sus cuatro reactores de la clase de 1 000 MWe que estaban construyéndose entre 1976 y 1978 eran superiores a 3 000 dólares, o de tres a cuatro veces mayores que los de reactores similares en los principales países industrializados.

No se dispone de cifras exactas para otras naciones en desarrollo. Con toda probabilidad no serán tan altas como las de Irán, pero sí superiores a las de instalaciones comparables en los países proveedores y ciertamente mayores que las

expectativas y estimaciones iniciales, con base en las cuales se tomaron las decisiones.

Así, por ejemplo, el antiguo jefe de Electrobrás, el monopolio oficial de electricidad de Brasil, declaró recientemente, según se dijo, que la decisión inicial de adquirir reactores se adoptó en 1974 con base en una inversión estimada de alrededor de 550 dólares por KWe instalado. En la práctica, el costo real resultó el triple del previsto.

A mayor abundamiento, los países en desarrollo están lastrados aún más por el considerable componente de divisas de los costos totales de los reactores, problema al que no se enfrentan los países industrializados dado que en ellos se fabrica la mayor parte del equipo.

En los países en desarrollo hay también importantes estrangulamientos de infraestructura que hacen difícil la realización de programas de energía nuclear en gran escala. La magnitud total de la red interconectada de energía eléctrica de un país impone claros límites al tamaño de cualquier planta generadora que el sistema pueda absorber y seguir funcionando de manera confiable en el caso de falla accidental de esa unidad o de cierre por reparación, mantenimiento o reaprovisionamiento de combustible.

Según un estudio del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA),<sup>12</sup> que coincide con la práctica de la industria, se calcula que:

<i>Para absorber una planta de</i>	<i>La capacidad instalada debe ser cuando menos de</i>
100 MWe	850 MWe
300 MWe	3 300 MWe
600 MWe	9 200 MWe
1 000 MWe	20 000 MWe

Conforme a estos lineamientos, y utilizando proyecciones de la demanda de energía eléctrica en varios países en desarrollo (proyecciones que muy bien pueden estar sobrestimadas), el OIEA calculó que, en el curso de los próximos dos decenios, los países en desarrollo podrían absorber reactores nucleares de ciertos tamaños conforme a los siguientes datos:<sup>13</sup>

<i>Tamaño de las plantas</i>	<i>Hacia</i>		
	<i>1980</i>	<i>1985</i>	<i>2000</i>
1000 MWe o mayores	2	6	11
De 600 a 1 000 MWe	3	7	9
De 300 a 600 MWe	11	10	9

12. Organismo Internacional de Energía Atómica, *Market Survey for Nuclear Power in Developing Countries, 1974 Edition* (Informe preliminar), IAEA-165, Viena, 1974, citado en Richard J. Barber Associates Inc., *LDC Nuclear Power Prospects, 1975-1990: Commercial, Economic and Security Implications*, ERDA-52, Washington, 1975, p.11-8.

13. *Ibid.*, p. 11-9.

A pesar de la demanda potencial, no hay en la actualidad oferta comercial de reactores de menor tamaño, sobre todo los de menos de 600 MWe, ni se espera que la haya en el futuro previsible.

En los años recientes los fabricantes de reactores se han dedicado cada vez más a construir los de la clase de 1 000 MWe, a fin de aprovechar las economías aparentes de escala que la construcción y operación de los reactores mayores permiten. Afirman que dedicarse ahora a los reactores más pequeños entrañaría costosos cambios de diseño y otros cargos iniciales fijos tan altos que no habría mercado para tales reactores, sea en el ámbito interno, sea en el exterior.

Por último, quedan todavía sin resolverse ciertos problemas ambientales y de seguridad provenientes de la operación de las plantas de energía nuclear (además del almacenamiento de los desperdicios del combustible) sobre los cuales llamó la atención el accidente de Three Mile Island. Un episodio de ese alcance, con toda probabilidad, habría tenido consecuencias muchísimo más graves en un país en desarrollo con capacidad técnica y administrativa más limitada.

A pesar de los temores concretos acerca de la viabilidad económica, técnica y ambiental de los grandes reactores nucleares en los países en desarrollo, y pese a las consideraciones generales que han conducido a una revaluación y considerable disminución de los programas de energía nuclear en los países industrializados, los que están en vías de desarrollo han sido más lentos en revisar sus propios objetivos, basándose en la idea, cada vez más dudosa, de que los reactores les ofrecen energía eléctrica barata y abundante.

En gran parte, el "mito" de la energía nuclear como la panacea energética de los países en desarrollo fue creado y alimentado, conscientemente en algunos casos, quizás no en otros, por las empresas internacionales que construyen o proveen una amplia variedad de equipo básico y de servicios nucleares, por los respectivos gobiernos que apoyaron los esfuerzos de exportación de esos vendedores e, incluso, por el OIEA. Todos ellos han utilizado duras tácticas de venta a fin de crear una demanda artificial y prematura de energía nuclear en los países en desarrollo. Los vendedores, enfrentados a ventas declinantes en sus países a mediados del decenio de los setenta, se volcaron cada vez más al exterior, a lo que prometía ser un mercado de exportación muy lucrativo. Como cada contrato de venta de un reactor de 1 000 MWe puede llegar a los miles de millones de dólares, las expectativas comerciales de las empresas han sido, en verdad, muy altas y las han alentado a invadir con rapidez y con audacia los mercados del exterior. En realidad, varias empresas han visto estas oportunidades como las únicas que tienen de sobrevivir.

En todo ese proceso, los vendedores exageraron las ventajas de la energía nuclear y disminuyeron sus riesgos. Así, por ejemplo, a menudo hicieron creer a los países en desarrollo que el reactor de cría los introduciría en la era de la energía barata y prácticamente ilimitada. De ese modo fueron incitados a prepararse para instalar reactores de agua ligera, no sólo a fin de obtener experiencia con la tecnología nuclear en general, sino también para acumular reservas de plutonio que después

usarían como combustible en sus reactores de cría. No se les dijo que, aun si se resolvieran pronto los problemas técnicos y políticos subsistentes con respecto a esos reactores, las economías de escala en su construcción exigirían una unidad tan grande (quizás del doble de los mayores reactores de la actual generación) que, por razones técnicas, no podría integrarse en las redes de energía eléctrica antes del fin de este siglo, salvo en uno o dos países.

Empero, no sólo la industria ha empujado las ventas de equipo básico en los países en desarrollo. También lo han hecho con gran entusiasmo los gobiernos de los proveedores, pese a sus recelos periódicos acerca de la exportación de tecnologías "sensibles". Se sostuvo que las exportaciones nucleares no sólo servirían al interés nacional manteniendo a flote los fabricantes de equipo y, con ello, contribuyendo a la pervivencia de una industria nuclear independiente, sino que también aportarían miles de millones de dólares en divisas, gracias a la exportación de reactores, así como a la de una amplia variedad de servicios técnicos y de combustible relacionados con aquélla. Aún más, las ventas de reactores ayudarían a repartir algunos de los costos de investigación y desarrollo (absorbidos en gran parte por los gobiernos en el pasado), contribuirían a que los vendedores logaran economías de escala en la producción de reactores (reduciendo así el costo unitario de cada uno instalado en el país), preservarían miles de empleos en el sector nuclear, y así sucesivamente.

En vista de incentivos económicos aparentemente tan fuertes para exportar, y dado el prestigio que esas ventas traerían, los gobiernos cooperaron ampliamente en el esfuerzo comercial, interviniendo a veces en los países en desarrollo para favorecer a los vendedores, incluso "dulcificando" los convenios mediante préstamos concesionales, importantes créditos de exportación, acuerdos de trueque, y aun "paquetes antiproliferantes" menos estrictos, que incluyen instalaciones para enriquecer y reprocesar el combustible, como en el caso del contrato entre Alemania Federal y Brasil.

Incluso el ente guardián de la energía nuclear, el OIEA, ha presionado a los compradores. Este organismo se originó en los esfuerzos de Estados Unidos, después de la segunda guerra mundial, destinados a establecer un sistema internacional que impidiera la proliferación de las armas nucleares mediante la regulación, en escala planetaria, del desarrollo de programas de energía nuclear para fines civiles. Sin embargo, el plan fue muy criticado por considerarse un intento de ese país de controlar, si no de restringir, la difusión del *know how* nuclear de manera congruente con sus propios intereses políticos y comerciales.

A fin de que el plan fuese más digerible para los otros países industrializados, ansiosos de exportar equipo nuclear básico, y también para los países en desarrollo ansiosos de tener acceso a la tecnología nuclear general, las responsabilidades del OIEA se ampliaron hasta incluir la promoción y el estímulo del uso de la energía nuclear para propósitos civiles. Así, el artículo segundo del estatuto de ese organismo lo autoriza a "ver que se acelere y aumente la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en todo el mundo".

Este papel de promotor, más que el original de guardián, ha caracterizado buena parte de las actividades del OIEA a lo largo de su historia de más de 20 años. A mayor abundamiento, al tratar de comercializar e internacionalizar la energía nuclear, este organismo ha procedido de manera negligente e indiscriminada, sobre todo en los países en desarrollo.<sup>14</sup> Así, por ejemplo, ha tendido a promover la energía nuclear en gran parte del mundo en desarrollo sin asegurarse primero de que la opción nuclear corresponda a las condiciones de cada país, tomando en cuenta las enormes diferencias en áreas tan importantes como la infraestructura y la base nacional de recursos energéticos.<sup>15</sup>

Al mismo tiempo, el OIEA ha errado repetidamente al analizar la economía de la energía nuclear en los países en desarrollo y por sistema ha subestimado los costos y sobrestimado las potencialidades.<sup>16</sup> Es importante recalcar que esos estudios excesivamente optimistas fueron la base de los programas nucleares de varios países en desarrollo desde principios hasta mediados de los setenta. También debe notarse que los promotores internacionales tuvieron aliados naturales en el seno mismo de los países en desarrollo: un próspero sector nuclear, compuesto por autoridades públicas y por contratistas privados, por lo común situados en las altas esferas y muy influyentes, que perseguían intereses institucionales y personales, respectivamente.

Una audaz campaña de ventas, junto con el suministro de información exagerada acerca de las posibilidades de la energía nuclear por parte de los países industrializados, los vendedores de equipo básico, el OIEA e incluso los promotores autóctonos, ha contribuido a crear una demanda artificial de energía nuclear en países que no estaban preparados para ella y que podrían haber usado con mayor eficacia y economía otras fuentes energéticas, incluso nacionales.

El régimen internacional de la energía nuclear de los últimos 20 años está construido sobre la base de un juicio a priori: que esa energía, con fines civiles, no sólo debe hacerse accesible a los países en desarrollo, sino que también debe promoverse activa e indiscriminadamente.

Esta "vulgarización" de la energía nuclear debe disminuirse y, en última instancia, revertirse. Para ello se ocurren tres caminos.

14. En el estudio de Barber se encuentra una crítica de la evaluación del OIEA del potencial de la energía nuclear en los países en desarrollo.

15. Por ejemplo, de los cuatro países que, según el OIEA, tienen la mayor potencialidad para la energía nuclear en el mundo en desarrollo (y que en conjunto representan más de 50% de los megawatts nucleares totales instalados), dos —Irán y México— tienen reservas abundantes de petróleo y gas natural, uno —Brasil— posee considerables recursos hidráulicos no utilizados y el otro —la India— tiene grandes reservas de carbón y de lignito.

16. A mediados de los setenta, por ejemplo, los expertos del OIEA estimaban los costos de capital de los reactores de agua ligera de 1 000 MWe, en los países en desarrollo, en cientos de dólares por KWe instalado, basándose en un sistema de costos establecido para los países industrializados. Este método era erróneo no sólo porque la base de costos era inadecuada para los países en desarrollo, sino también porque ni siquiera representaba los costos reales en los propios países industrializados. Ciertamente, la experiencia en cuanto a costos en Brasil e Irán (en donde la inversión por KWe se calcula ahora de 1 500 a 3 000 dólares) ha confirmado las insuficiencias de las estimaciones del OIEA.

En primer lugar, deben suprimirse totalmente las facultades del OIEA en cuanto a comercialización de la energía nuclear. El papel de promotor que ha cumplido dicho organismo, incluyendo una clara exageración de los atractivos de la energía nuclear, ha facilitado las ventas de equipo básico de los países industrializados, a costa de una planeación racional e informada en varios países en desarrollo y, quizá, también con el costo de una creciente proliferación. El organismo debe reestructurarse para convertirlo en una autoridad fuerte e imparcial, con funciones de regulación, centrada en vigilar el cumplimiento universal de salvaguardias contra posibles desvíos de materiales nucleares hacia fines bélicos, tal como originalmente se concibió. Acaso sea oportuno, también, revivir la propuesta original de crear un banco internacional de combustible, bajo los auspicios del OIEA, en el cual podrían depositarse los desperdicios a cambio de combustible equivalente de uranio de bajo enriquecimiento.

En segundo término, debería establecerse una nueva institución internacional, independiente del OIEA y de los intereses generales de la industria nuclear. Se dedicaría a recopilar, evaluar y difundir una amplia variedad de información sobre la energía nuclear y sus aplicaciones, todo ello con objetividad. En esas tareas se incluirían cuestiones tales como las disponibilidades de uranio, la economía de la energía nuclear, consideraciones de seguridad y de preservación del ambiente, características del funcionamiento de las plantas, etc., con vistas sobre todo a su aplicación en los países en desarrollo. Además, su encargo debería incluir el estudio de la energía nuclear a la luz de las necesidades energéticas y de las posibilidades de cada país. Las fuentes de información ahora disponibles, que ayudan a los países en desarrollo a tomar decisiones en materia de energía nuclear, se limitan a los organismos pertinentes de los países proveedores, a los vendedores o a otras organizaciones nacionales e internacionales de promoción. La información provista por estas fuentes tradicionales está tergiversada, es irrelevante y, en muchos casos, resulta engañosa para los planificadores de los países en desarrollo.

En tercer lugar, los países proveedores deben cesar sus exagerados esfuerzos en favor de sus vendedores de equipos y servicios nucleares en los países en desarrollo. Esta será una píldora muy amarga de tragar, dados los enormes intereses comerciales que están en juego en la exportación de equipo nuclear básico. No obstante, aceptar la reducción de las ventas sería un precio pequeño por lograr los pregonados objetivos de la no proliferación. Un gobierno proveedor no puede esperar razonablemente promover la venta de energía nuclear y a la vez implantar salvaguardias. Los dos papeles son incongruentes e incompatibles, ya que una intensa competencia comercial no conduce a evitar la proliferación. En el pasado, cuando menos, parece que las consideraciones comerciales triunfaron en muchos casos de conflicto. Por supuesto, hubo esfuerzos recientes, encabezados por Estados Unidos, para reconciliar los dos papeles mediante foros tales como el de Evaluación Internacional del Ciclo de Combustible Nuclear. Aun si tales esfuerzos logran mantener algún consenso, el éxito será de escasa duración si los países industrializados continúan coqueteando con la ambivalencia. En efecto, a medida que se intensifique la competencia entre los vendedores debido al hundimiento del mercado nuclear internacional, los objetivos comerciales sepultarán una vez más, quizás, a los de no proliferación. □