

La opción

Si la energía generada en todo el mundo por reactores nucleares se triplicase, la atmósfera se ahorraría cada año mil o dos mil millones de toneladas de carbono

John M. Deutch y Ernest J. Moniz

La energía nuclear provee una sexta parte de la electricidad del mundo. Tras la hidroelectricidad (que aporta algo más de un sexto), constituye la fuente principal de energía “libre de carbono”. Sufrió una crisis de crecimiento, de la que queda indeleble recuerdo por los accidentes de Chernobyl y de Three Mile Island. Pero, en los últimos tiempos, las centrales nucleares han demostrado una fiabilidad y un rendimiento notables. Las existencias mundiales de uranio podrían alimentar el funcionamiento de un parque de reactores mucho mayor que el actual, a lo largo de sus cuarenta o cincuenta años.

Con la creciente preocupación por el calentamiento global, y la consiguiente posibilidad de que se termine por regular las emisiones de gases de invernadero, no sorprende que gobiernos y compañías eléctricas piensen cada vez más en la construcción de más centrales nucleares. La generación de la misma cantidad de energía con combustibles fósiles tendría sus problemas. El gas

1. LOS GOBIERNOS Y LAS COMPAÑÍAS ELECTRICAS piensan en una nueva tanda de construcciones de centrales nucleares que contribuirían a satisfacer la creciente demanda de electricidad.



KENN BROWN

RESUMEN

- Se prevé que el consumo mundial de electricidad haya aumentado un 160 por ciento para el año 2050.
- La construcción de centenares de centrales nucleares podría cubrir el crecimiento de la demanda sin grandes nuevas emisiones de dióxido de carbono.
- Para que pueda llevarse a cabo hay que abaratar la edificación de las centrales, elaborar un plan de almacenamiento de residuos y evitar la proliferación de armas nucleares.

NUCLEAR



natural resulta atractivo si se quieren limitar las emisiones carbónicas porque tiene un contenido de carbono más bajo que el de otros combustibles fósiles, y las plantas correspondientes requieren una inversión inferior. Pero el coste de la electricidad producida es muy sensible al precio del gas natural, que se ha vuelto más variable en estos últimos años. Aunque los precios del carbón resultan más bajos y estables, no hay fuente de electricidad que emita más carbono por watt. Para que la generación de electricidad mediante carbón pueda expandirse sin que suponga la emisión de cantidades inaceptables de carbono a la atmósfera, habría que demostrar la viabilidad de la captura y secuestro del dióxido de carbono en las centrales de carbón e implantar ese procedimiento a gran escala. Sin embargo, así aumentarían los costes.

Estas dificultades despiertan dudas acerca de las inversiones en nuevas plantas de gas o de carbón y apuntan a un posible renacimiento nuclear. Desde el año 2000, se han conectado a las redes eléctricas más de 20.000 megawatt de capacidad nuclear, sobre todo en Extremo Oriente. Con todo, y a pesar del interés evidente de los principales operadores nucleares, no se ha vuelto a proyectar ninguna central nuclear en los EE.UU. La construcción de nuevas nucleares tropieza con la elevada inversión necesaria y la incertidumbre en torno a la gestión de los residuos nucleares. Además, preocupa que la expansión global de la energía nuclear favorezca el deseo de ciertas naciones de contar con armas nucleares.

En el año 2003 codirigimos un estudio del Instituto de Tecnología de Massachusetts, *El futuro de la energía nuclear*, que analizaba las condiciones requeridas para que la opción nuclear se mantuviese viva. En él se describía una situación en la que la energía nuclear se triplicaba para el año 2050, hasta generar un millón de megawatt; le ahorra así al mundo entre 800 y 1800 millones de toneladas de carbono emitido al año, dependiendo de que las centrales nucleares sustituyesen a centrales de gas o de carbón. A esa escala, la energía nuclear contribuiría a la estabilización de las emisiones de gases de invernadero, para la que se necesita que se dejen de emitir anualmente, a la altura de 2050, alrededor de siete mil millones de toneladas de carbono.

El ciclo del combustible

Si la energía nuclear se expande de esa suerte, ¿qué clase de centrales atómicas deberían construirse? Una cuestión clave concierne al ciclo del combustible. Puede éste ser abierto o cerrado. En un ciclo de combustible abierto, o ciclo de un solo paso, el uranio “se quema” una sola vez en un reactor, tras lo cual el combustible gastado se almacena en minas o depósitos subterráneos. El combustible gastado incluye plutonio, que podría extraerse químicamente y convertirse de nuevo en combustible para otra central nuclear. Esto da lugar a un ciclo de combustible cerrado, por el cual abogan algunos [véase “Residuos nucleares”, por William H. Hannum, Gerald E. Marsh y George S. Stanford; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, febrero de 2006].

Ciertos países, sobre todo Francia, utilizan un ciclo de combustible cerrado que separa del combustible gastado

el plutonio y lo lleva de nuevo a los reactores, incluido en una mezcla de óxidos de plutonio y de uranio. A más largo plazo, cabe pensar en reciclar todos los transuránidos (el plutonio entre ellos) en un reactor de los llamados rápidos (es decir, donde no se modera la velocidad de los neutrones). De ese modo, se eliminarían casi todos los componentes de vida media muy larga presentes en los residuos. El debate acerca de los residuos nucleares tomaría un cariz completamente diferente. Sin embargo, se necesita mucha investigación para resolver los espinosos problemas técnicos y económicos de semejante planteamiento.

Podría parecer que el reciclaje de los residuos tiene todas las ventajas: se utiliza menos materia prima para la misma energía total producida y se atempera el problema del almacenamiento de larga duración de los residuos, pues sería menor la cantidad de material radiactivo que habría que guardar durante miles de años.

No obstante, creemos que en las próximas décadas habrá de preferirse el ciclo abierto. En primer lugar, el combustible reciclado es más costoso que el uranio original. En segundo, parece haber uranio suficiente para que el ciclo de un solo paso pueda sustentar una generación triplicada de energía nuclear a lo largo de los 40 o 50 años de vida de las centrales. En tercer lugar, la ventaja ambiental del almacenaje a largo plazo queda compensada por los riesgos ambientales a corto plazo del reprocesado y la fabricación del combustible, que son tratamientos complejos y peligrosos. Por último, el reprocesado que se efectúa en un ciclo de combustible cerrado produce plutonio que puede derivarse hacia la fabricación de armas nucleares.

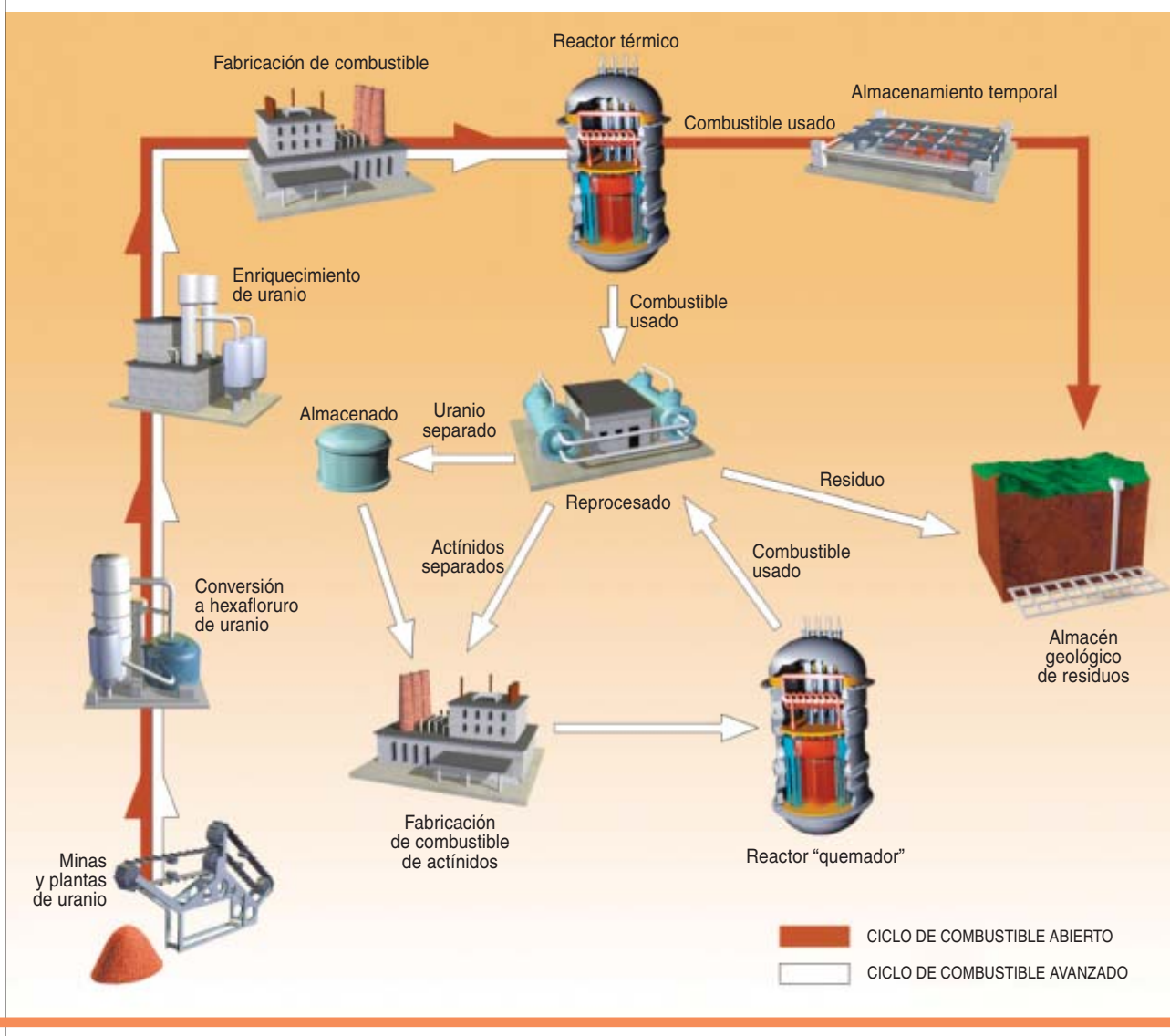
El tipo de reactor que se seguirá prefiriendo durante los próximos veinte años, o más, es aquél en el que se refrigera y modera los neutrones con agua ligera (agua ordinaria, en vez de agua pesada, que contiene deuterio). La inmensa mayoría de las centrales actuales pertenecen a esta clase; se trata de una técnica madura, bien conocida.

Los diseños de los reactores se dividen en generaciones. Los primeros prototipos de reactores, construidos en los años cincuenta y principios de los sesenta, constituían, a menudo, piezas únicas. Los reactores de la generación II, en cambio, se construyeron en gran número, desde finales de los años sesenta hasta principios de los noventa, para su explotación comercial. Los reactores de la generación III incorporan diversas mejoras en el combustible y la seguridad pasiva: en caso de un accidente, el reactor se apagaría solo, sin que tuviesen que intervenir los técnicos. El primer reactor de la generación III se construyó en Japón en 1996. Entre los reactores de la generación IV, hoy en estudio, se cuentan los modelos de combustible granulado y los reactores rápidos enfriados por plomo [véase “Nueva generación de la energía nuclear”, por James A. Lake, Ralph G. Bennett y John F. Kotek; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo de 2002]. Los reactores de la generación III+ se asemejan a los de la generación III, aunque incorporan técnica más avanzada. Con la posible excepción de los reactores de gas de alta temperatura (así, el de combustible granulado), no cabe esperar la explotación comercial de reactores de cuarta generación hasta dentro

CICLOS DE COMBUSTIBLE PREFERIDOS

Los autores prefieren un ciclo de combustible abierto para los próximos decenios. En su decurso, el uranio se “quema” sólo una vez en un reactor térmico (es decir, de neutrones cuya velocidad se ha moderado) y el combustible ya gastado se almacena en un depósito de residuos (*trayectoria en rojo*). Algunos países utilizan un ciclo cerrado, en el cual se extrae el plutonio del combustible gastado y se mezcla con uranio para reutilizarlo en un reactor térmico (*no se*

muestra). En un futuro lejano quizá sea factible, y preferible, un ciclo cerrado avanzado (*trayectoria en blanco*): el plutonio y otros elementos (actínidos), y quizás el uranio, del combustible gastado se reprocessarían y utilizarían en reactores “quemadores” (reactores que no contienen apenas material que pueda convertirse durante su funcionamiento en material fisionable); así se reduciría drásticamente la cantidad de residuos que requieren un almacenamiento de larga duración.



de decenas de años. Para evaluar nuestro panorama del año 2050, supusimos que se construyeran reactores de agua ligera de la generación III+.

Con el reactor modular de combustible granulado cabe pensar en centrales nucleares modulares. Una posibilidad interesante. En vez de construir grandes plantas de 1000 megawatt, podría disponerse de módulos de unos 100 megawatt. Este enfoque vendría muy bien en países en vías de desarrollo y en países industrializados sin regulaciones, por la sencilla razón de que la inversión es mucho menor. Las grandes centrales tradicionales

tienen la ventaja de la economía de escala, que da por resultado un costo más bajo por kilowatt; sin embargo, perderían esa ventaja si los módulos se construyesen en gran cantidad con los métodos eficientes de una producción industrial.

Sudáfrica se propone iniciar la construcción de una planta de prueba de combustible granular, con una potencia de 110 megawatt, en 2007. Debería terminarse en 2011. Para 2013 se planean módulos comerciales de cerca de 165 megawatt, con la esperanza de venderlos en Africa, sobre todo.

Reducción de costes

Según enseña la experiencia, la electricidad de una nueva central de energía nuclear sería hoy más costosa que la de una planta nueva de carbón o de gas. El estudio de 2003 del Instituto de Tecnología de Massachusetts, antes aludido, calculaba que los nuevos reactores de agua ligera producirían electricidad a un coste de 6,7 centavos de dólar por kilowatt-hora (determinado conforme a las condiciones económicas de EE.UU.). Esa cifra comprende todos los costes de una planta, repartidos a lo largo de su vida útil, incluido un beneficio aceptable para los inversores. Bajo hipótesis equivalentes, estimamos que una nueva central de carbón produciría electricidad a



2. ESTA PLANTA de enriquecimiento de uranio de Natanz, Irán, viene preocupando últimamente, ya que podría utilizarse para fabricar uranio apto para armamento. Un acuerdo internacional por el cual los países “consumidores” alquilaran el combustible a los países “suministradores”, los EE.UU. por ejemplo, en vez de construir sus propias plantas de enriquecimiento, aliviaría la inquietud por una posible proliferación del armamento nuclear.

un coste de 4,2 centavos por kilowatt-hora. En el caso de una central nueva de gas, el coste, muy sensible al precio del gas natural, sería de unos 5,8 centavos por kilowatt-hora para un precio elevado del gas.

Habrán quienes duden de que se pueda evaluar el coste de la energía nuclear. Recordarán el exagerado optimismo que hubo en un principio, cuando se decía que sería “demasiado barata para medirla”. Pero el análisis del MIT se basa en la experiencia acumulada y en el funcionamiento real de las plantas existentes, no en las promesas de la industria nuclear. Algunos se preguntarán también por las incertidumbres inherentes a tales proyecciones. Pero las estimaciones colocan las tres alternativas —energía nuclear, de carbón y de gas— en un mismo campo de juego y no hay ninguna razón para esperar que las contingencias inesperadas favorezcan a una u otra. Además, cuando las compañías eléctricas deciden qué clase de central energética van a construir, basan sus decisiones en ese tipo de estimaciones.

Se podrían dar varios pasos para reducir el coste de la opción nuclear por debajo de nuestra cifra básica de 6,7 centavos por kilowatt-hora. Una recorte del 25 por ciento en los gastos de construcción bajaría el coste de la electricidad a 5,5 centavos por kilowatt-hora. Acortando el tiempo de construcción de una planta de cinco a cuatro años y mejorando el funcionamiento y el mantenimiento, podrían ahorrarse unos 0,4 centavos más por kilowatt-hora. La financiación de una central depende de las regulaciones que afectan a su establecimiento. Reducir los costes de capital de una central nuclear hasta igualarlos a los de una planta de gas o de carbón eliminaría la diferencia con el carbón (que cuesta 4,2 centavos por kilowatt-hora). Aunque estas eventuales reducciones en el coste de la energía nuclear resultan verosímiles —en especial si se construye un número importante de unidades a partir de unos pocos diseños comunes—, no está demostrado que puedan llevarse a cabo.

La energía nuclear se convierte en la preferible desde un punto de vista económico cuando se pone un precio a las emisiones de carbono. Llamaremos “impuesto del carbono” a esa medida, hecha la cautela de que no toda asignación de un precio significa establecimiento de un impuesto.

En Europa, los permisos para emitir carbono se negocian en un mercado abierto. A comienzos de 2006, se vendían a más de 20 euros por tonelada de dióxido de carbono, aunque su precio ha caído ahora y se halla en torno a la mitad. Un impuesto de sólo 50 dólares por tonelada de carbono sube el precio de la electricidad generada por carbón a 5,4 centavos por kilowatt-hora. A 200 dólares por tonelada de carbono sería ya muy alto, 9,0 centavos por kilowatt-hora. La electricidad generada con gas no subiría tanto: quedaría en 7,9 centavos por kilowatt-hora. Las plantas de combustible fósil escaparían de las tasas que gravasen las emisiones si secuestraran y confinaban el carbono, pero el coste de esta operación repercutiría en el precio como un impuesto.

Debido a que han pasado muchos años desde que se iniciara la última construcción de una planta nuclear en los EE.UU., las compañías que levanten las próximas centrales nucleares se enfrentarán a costos adicionales que ya no existirán en obras subsiguientes; tendrán, además, que superar los escollos de una tramitación de los permisos de nuevo cuño. Para superar ese obstáculo, la Ley de Política Energética de 2005 incluyó algunas provisiones importantes, como un incentivo fiscal de 1,8 centavos por kilowatt-hora en favor de las nuevas centrales nucleares durante sus primeros ocho años de funcionamiento. Esa rebaja, o “incentivos a primeros”, se aplica a los primeros 6000 megawatt de las nuevas centrales. Se han formado varios consorcios para aprovechar tales ventajas fiscales.

Gestión de residuos

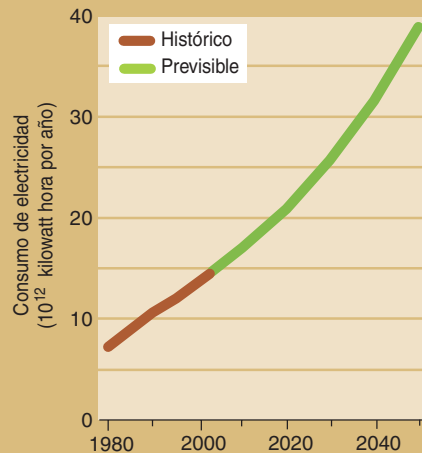
El segundo gran obstáculo al que se enfrenta un renacimiento nuclear es la gestión de los residuos. Ningún país tiene a punto todavía un sistema que almacene permanentemente el combustible gastado y demás residuos radiactivos de las centrales nucleares. Se suele preferir el almacenamiento geológico: guardar los resi-

HACIA EL FUTURO

La demanda mundial de electricidad aumentará mucho en los próximos decenios (*abajo*). Para atender esa demanda, se deberán construir miles de centrales de energía nuevas. Uno de los factores de más peso a la hora de determinar su naturaleza será el coste estimado de la electricidad producida (*derecha*). No se construirán muchas centrales nucleares si no resultan competitivas con las plantas de carbón y gas. Si se logra que las centrales nucleares resulten competitivas, la producción mundial de energía nuclear se podría triplicar —con respecto a la del año 2000— para el 2050, según un estudio del MIT (*abajo*).

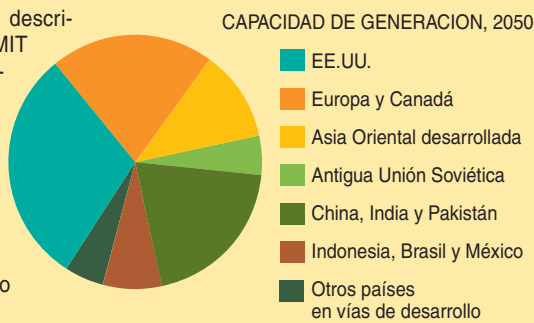
EL CONSUMO DE ELECTRICIDAD

Se prevé que el consumo mundial de electricidad haya aumentado en un 160 por ciento para el año 2050. La proyección (*verde*) utiliza las estimaciones demográficas de las Naciones Unidas y supone que el consumo per cápita aumentará cerca del 1 por ciento anual en los países desarrollados. Se suponen índices más altos de aumento para los países en vías de desarrollo, mientras alcanzan los niveles de uso del mundo desarrollado.

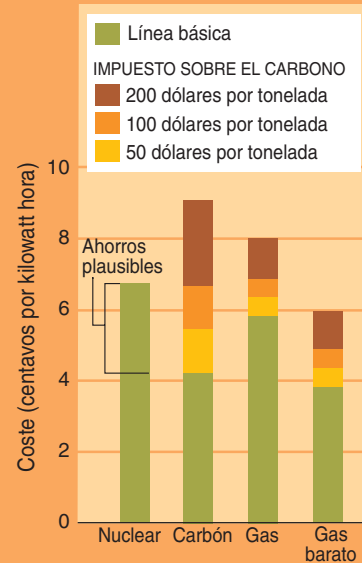


¿QUIEN TENDRA LA ENERGIA?

La situación hipotética descrita por el estudio del MIT prevé que EE.UU. producirá alrededor de una tercera parte del millón de megawatt de electricidad que se obtendrían de la energía nuclear en el año 2050; el resto del mundo desarrollado produciría otro tercio.



LOS PRECIOS



El coste de la electricidad previsto para las nuevas centrales de energía depende de muchos factores. Los impuestos sobre las emisiones de carbono podrían aumentar los costos de las de carbón y gas. Los de las nucleares podrían conocer reducciones gracias a mejoras verosímiles, pero no probadas.



▲ En construcción: una planta de energía nuclear avanzada (generación III+), de 1600-megawatt, en Olkiluoto, Finlandia.

duos en cámaras excavadas centenares de metros bajo tierra. Hay que prevenir las fugas de residuos durante muchos milenios; se combinan barreras de diferente tipo, tanto construidas (por ejemplo, los recipientes de los residuos) como geológicas (la estructura natural de la roca donde se ha excavado el compartimiento y las características de la cuenca hidrogeológica). Muchos años de estudio apoyan el almacenamiento geológico. Se conocen bien los procesos y acontecimientos que podrían transportar los radionúclidos desde el depósito hacia la biosfera. A pesar de esta fiabilidad científica, la aprobación de un depósito geológico sigue estando cargada de dificultades.

El almacén geológico por excelencia es la instalación propuesta en el monte Yucca, en Nevada, de la que se

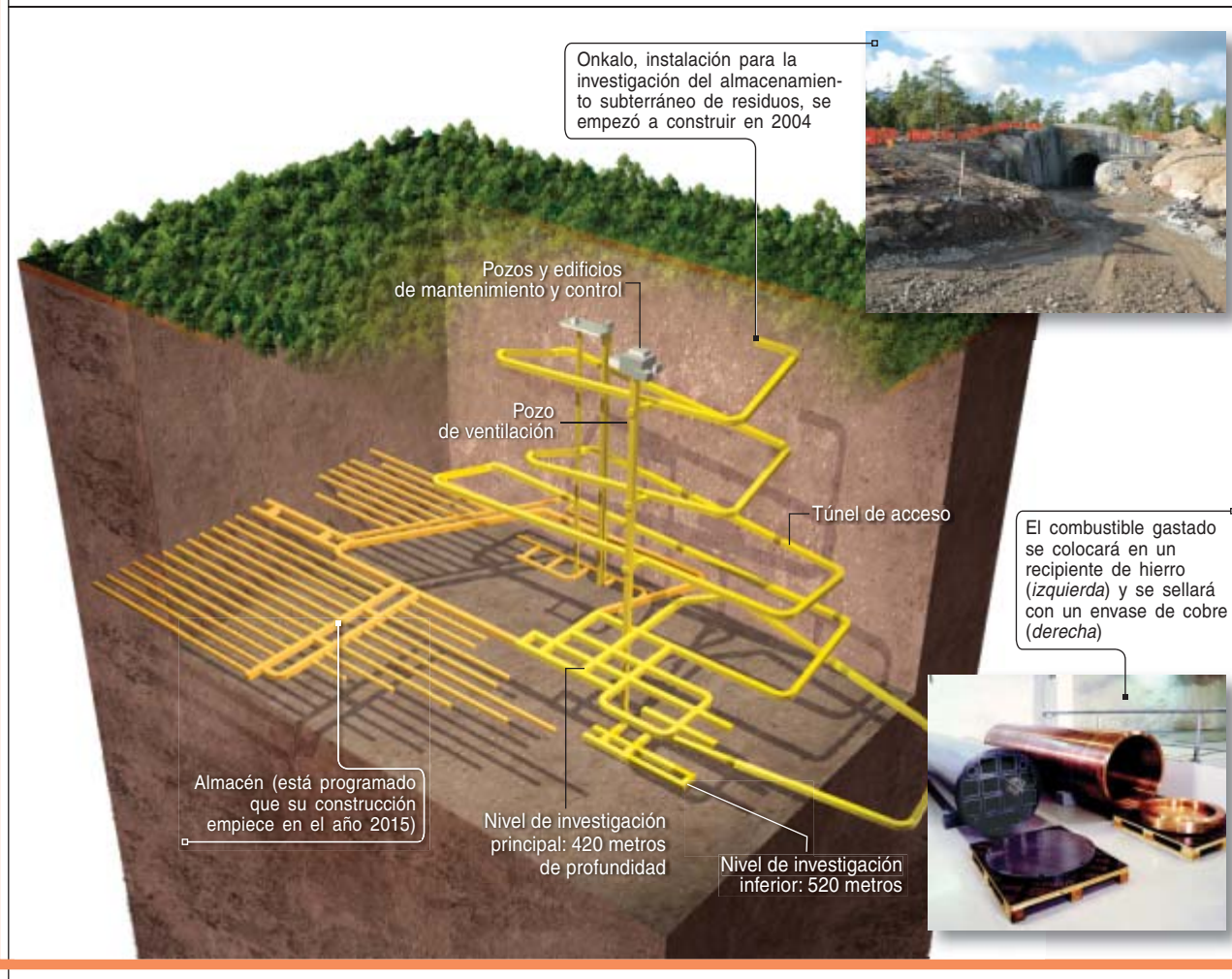
viene hablando desde hace más de veinte años. Hace poco se encontró que contenía bastante más agua que la supuesta. La aprobación de ese depósito por la Comisión Reguladora Nuclear sigue en el aire.

El retraso en encontrar una manera de retirar definitivamente los residuos (aunque se apruebe su uso, es poco probable que el almacén del monte Yucca acepte residuos antes de 2015) quizá lastre la construcción de nuevas centrales nucleares. Por ley, el gobierno de Estados Unidos debería haber empezado antes de 1998 a trasladar el combustible, ya gastado, de los reactores a un depósito final. Que no se haya hecho así ha obligado a almacenar mayores cantidades en muchos lugares, con el consiguiente descontento de vecinos, ciudades y estados.

ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS NUCLEARES

Finlandia se dispone a abordar el almacenamiento subterráneo de residuos nucleares en Olkiluoto. Según el plan, las barras de combustible gastadas se encapsularán en grandes recipientes con una parte interna de hierro, para darles consistencia mecánica, y un grueso envase más externo, de

cobre, para resistir a la corrosión. Se los colocará en agujeros excavados en el suelo del túnel y rodeará de yeso, a fin de prevenir el flujo directo de agua a los recipientes. Esta instalación podría empezar a aceptar residuos de los cuatro reactores nucleares de Finlandia en el año 2020.



Finlandia podría ser el primer país que construya un almacén para sus residuos nucleares de alto nivel. En Olkiluoto, donde se encuentran dos reactores nucleares, ha comenzado la excavación de Onkalo, una instalación subterránea de investigación. Se extiende bajo tierra a lo largo de medio kilómetro; servirá para estudiar la estructura rocosa y los flujos de agua subterránea, y poner a prueba la técnica de almacenamiento en esas condiciones subterráneas. Si todo va según los planes y se obtienen las licencias gubernamentales necesarias, los primeros recipientes de residuos podrían colocarse allí en 2020. Hacia 2130 el depósito estaría completo; las rutas de acceso se rellenarían y sellarían. El dinero para pagar la instalación se ha venido cargando en el precio de la energía nuclear finlandesa desde finales de los años setenta.

Para abordar en Estados Unidos el problema de la gestión de residuos, el gobierno debería adjudicarse el

combustible gastado que ahora se almacena en las centrales repartidas por el país y juntar todas las remesas en uno o más sitios federales de almacenaje interino hasta que se disponga de una instalación permanente. Los residuos pueden almacenarse con garantías durante un período largo. Este almacenaje transitorio, que debería prolongarse incluso durante 100 años, tendría que formar parte de la gestión de los residuos: quitaría presión al gobierno y a la industria, que así no se verían forzados a buscar una solución precipitada.

Mientras tanto, el Departamento de Energía no debe abandonar el monte Yucca. Muy el contrario: debe valorar de nuevo la conveniencia del sitio bajo diversas circunstancias y modificar el calendario del proyecto según sea necesario. Si la energía nuclear se amplía en todo el mundo hasta un millón de megawatt, se generarán tantos residuos de alto nivel y combustible gastado en el ciclo de combustible de un solo paso como para llenar

una instalación del tamaño del depósito del monte Yucca cada tres años y medio. Para la opinión pública, se trata de una razón de peso en contra de la extensión de la energía nuclear, pero éste es un problema que puede y debe solucionarse.

La amenaza de la proliferación

Aparte de los programas nacionales de gestión de los residuos, tendrían que continuar los esfuerzos diplomáticos para crear un sistema internacional de países suministradores y países consumidores de combustible, en el que los países suministradores, como EE.UU., Rusia, Francia y el Reino Unido, venderían combustible nuevo a países consumidores, con programas nucleares más pequeños, y se comprometerían a retirarles el combustible gastado. A su vez, los países consumidores renunciarían a la construcción de instalaciones productoras de combustible. Esa transacción coartaría la proliferación de armas nucleares. No son las centrales nucleares las que posibilitan la proliferación, sino las plantas de enriquecimiento y de procesamiento del combustible.

La situación actual, con el programa de enriquecimiento de uranio de Irán, es un ejemplo típico. Al no fabricar combustible los países consumidores, habría que arrendárselo, si se quiere que la energía nuclear se triplique en el mundo: semejante extensión implicaría inevitablemente la existencia de centrales nucleares en algunos países donde otros temerían que se fabricasen armas nucleares.

Si se quiere que este sistema funcione, la producción del combustible debería carecer de interés económico para un programa nuclear restringido. El mundo se divide ya en países suministradores y consumidores. Instituir el reparto de papeles entre productores y sólo consumidores formalizaría la situación actual —pero no debe pensarse que sería sencillo—, de modo que se le diese permanencia con nuevos acuerdos que refuercen las realidades comerciales existentes.

Aunque el régimen propuesto es atractivo por naturaleza para las naciones usuarias, ya que con él conseguirían un suministro fiable de combustible barato sin tener que ocuparse de los residuos, habría que atender además a otros incentivos. Al fin y al cabo, los estados usuarios aceptarían así limitaciones que irían más allá del tratado de no proliferación nuclear. Por ejemplo, si se instituyese un sistema mundial de permisos negociables de emisión de carbono, a las naciones usuarias que se adhirieran a las reglas del “alquiler” del combustible se les podrían conceder permisos por sus nuevas centrales nucleares.

Irán es hoy el ejemplo más obvio de una nación a la que muchos preferirían ver como consumidora antes que como productora de uranio enriquecido. Pero no constituye un caso único. Otra nación cuyo programa debe abordarse pronto es Brasil, porque allí está en construcción una gran instalación de enriquecimiento que, supuestamente, ha de proporcionar el combustible para los dos reactores nucleares del país. Abordar la situación de Irán y Brasil conforme a unos mismos criterios es necesario para que la energía nuclear pueda expandirse, sin exacerbar el riesgo de una proliferación de armas nucleares.

El terawatt futuro

Un terawatt, un millón de megawatt, de energía “libre de carbono” contribuiría significativamente a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono previstas para mediados de siglo. Según el término acuñado por Socolow y Pacala, aportaría una o dos de las siete “cuñas” requeridas para la estabilización de las emisiones. Alcanzar un terawatt de energía nuclear hacia el año 2050 presenta una dificultad formidable. Habría que instalar cerca de 2000 megawatt al mes (unas dos centrales grandes) e invertir dos billones de dólares a lo largo de varias décadas. En los próximos diez años habría que empeñarse enérgicamente en reducir los costes de las centrales de energía, hacerse cargo de los residuos nucleares e instaurar un ciclo de combustible internacional que no fomentase la proliferación del armamento nuclear. Un factor decisivo será el grado en que se tase el dióxido de carbono emitido por los combustibles fósiles, en el mundo industrializado y en las grandes economías emergentes, como China, India y Brasil.

Pero el económico no es el único factor del que dependerá el uso futuro de la energía nuclear. La aceptación pública dependerá de la seguridad y la solución dada a los residuos nucleares. El futuro de la energía nuclear en los EE.UU. y en buena parte de Europa sigue siendo incierto. Con respecto a la seguridad, es esencial que las regulaciones de la Comisión Nacional de la Energía se hagan cumplir diligentemente.

En el panorama descrito por el estudio del MIT, los Estados Unidos triplican su potencia nuclear civil instalada, hasta los 300.000 megawatt, para que se alcance el terawatt mundial. La suerte de este futuro hipotético quedará echada en la próxima década. Dependerá de en qué medida se ejecuten los “incentivos a primeros” de la Ley de Política Energética de 2005, se empiece a retirar el combustible gastado de sus almacenes provisionales y se adopte una política que de verdad limite las emisiones de dióxido de carbono.

Los autores

John M. Deutch y **Ernest J. Moniz** fueron copresidentes del estudio que el Instituto Tecnológico de Massachusetts publicó en 2003 con el título de *El futuro de la energía nuclear*. Deutch, profesor de química del MIT, fue vicesecretario de defensa de EE.UU. entre 1994 y 1995 y director de la CIA entre 1995 y 1996. Moniz enseña física en el MIT. Entre 1995 y 1997 fue director asociado para la ciencia de la Oficina de Política de Ciencia y Tecnología, y de 1997 a 2001 subsecretario de energía.

Bibliografía complementaria

THE FUTURE OF NUCLEAR POWER. Stephen Ansolabehere et al., Massachusetts Institute of Technology, 2003.

MAKING THE WORLD SAFE FOR NUCLEAR ENERGY. John Deutch, Arnold Kanter, Ernest Moniz y Daniel Poneman en *Survival*, vol. 46, n.º 4, págs. 65-79; diciembre, 2004.