



**LA ENERGÍA**

*Un escenario  
en evolución*

---

**NUCLEOELÉCTRICA:**

Por Mohamed ElBaradei

**D**urante los últimos dos años el OIEA ha figurado con frecuencia en las noticias de primera plana, debido sobre todo a nuestra función de “vigilante nuclear” del mundo, como se nos denomina a veces en los medios de comunicación. Gracias a esta circunstancia, los gobiernos y el público en general han podido percatarse del enfoque imparcial que tratamos de aplicar en nuestras actividades de verificación, al basarnos exclusivamente en pruebas irrefutables; ello, a su vez, le ha valido al OIEA una reputación de objetividad e independencia. Este mismo criterio es el que aplicamos al otro aspecto de nuestra misión “Átomos para la paz”: el uso de la tecnología nuclear en pro del desarrollo económico y social.

La energía atómica también puede aprovecharse para satisfacer necesidades humanas más esenciales. Una de las experiencias gratificantes de mi vida profesional ha sido presenciar el aumento de las técnicas nucleares e isotópicas que se utilizan para enfrentar retos difíciles—sobre todo en el mundo en desarrollo—a fin de obtener cultivos de mayor rendimiento en los climas áridos, estudiar la malnutrición infantil, administrar los suministros de agua potable, elevar la productividad industrial, erradicar las plagas portadoras de enfermedades y solucionar muchos otros problemas relacionados con el hambre, la pobreza y la atención de salud insuficiente.

La aplicación más visible, y con frecuencia más controvertida, de la energía nuclear con fines pacíficos es la generación de electricidad, tema en el que se concentra el presente artículo, desde una perspectiva fundamentalmente europea.

## Un panorama que cambia

El panorama de la energía nucleoelectrica sigue siendo muy disparate, pero hay señales de cambios en el horizonte.

Al final del año pasado funcionaban 440 centrales de energía nucleoelectrica en el mundo. En conjunto, aportaban alrededor del 16% de la electricidad mundial. Ese porcentaje se ha mantenido relativamente estable durante casi 20 años, lo que significa que la generación de electricidad de origen nuclear ha aumentado esencialmente al mismo ritmo que el consumo total de electricidad en el mundo.

La generación de electricidad de origen nuclear se concentra en los países desarrollados. Más de la mitad de los reactores del mundo están ubicados en América del Norte y Europa occidental y menos del 10% en países en desarrollo, donde, no obstante, es probable que se registre el mayor crecimiento de la demanda de energía en este siglo. Muchos países desarrollados generan buena parte de su electricidad a partir de la fisión nuclear, por ejemplo Rusia (el 16%), Alemania (el 30%) o el Japón (el 35%). Por el contrario, en países en desarrollo de gran extensión como el Brasil, la India y China, los porcentajes sólo llegan al 4%, el 3,7% y el 1,4%, respectivamente.

### *Construcción de nuevas centrales*

Las perspectivas de expansión y crecimiento de la energía nucleoelectrica se concentran en Asia. De las 31 centrales en construcción en todo el mundo, 18 se distribuyen entre la India, el Japón, Corea del Sur y China, incluido Taiwán. Veinte de los últimos 29 reactores conectados a la red también están en el Lejano Oriente y Asia meridional.

Éste tal vez sea un panorama más activo de lo que imaginan la mayoría de los europeos, visto el escaso crecimiento registrado recientemente en el Occidente. En Europa occidental y América del Norte, la construcción de centrales nucleares se ha estancado (la última central que se terminó fue la de Civaux-2 en Francia, en 1999). Cabe entonces preguntarse: si la construcción es escasa o nula ¿cómo ha podido la energía nucleoelectrica mantenerse a la par de otras fuentes de energía y conservar su participación en la generación de electricidad?

### *Mejora de la seguridad, aumento de la disponibilidad*

No deja de ser interesante que la respuesta esté relacionada directamente con los esfuerzos por mejorar los sistemas de seguridad. El accidente de Chernóbil en 1986 motivó la creación de la Asociación Mundial de Explotadores de Instalaciones Nucleares (AMEIN) y revolucionó el enfoque del OIEA respecto

---

Si la construcción es escasa o nula ¿cómo ha podido la energía nucleoelectrica mantenerse a la par de otras fuentes de energía y conservar su participación en la generación de electricidad?

---

de la seguridad de las centrales nucleares. Por conducto de las dos organizaciones se crearon redes para efectuar exámenes por homólogos, comparar las prácticas de seguridad e intercambiar información esencial sobre la explotación para mejorar la seguridad. Mediante un análisis más sistemático del riesgo se comenzó a introducir cambios en las esferas que más podían repercutir en un aumento de la seguridad.

Si bien esta iniciativa internacional se centró en el mejoramiento de la seguridad, un beneficio secundario fue el aumento constante de la disponibilidad y la productividad de las centrales nucleares. En 1990, las centrales nucleares, como promedio, generaban electricidad el 71% del tiempo. En 2002, esa cifra se había elevado al 84%, lo que supuso un aumento de la productividad equivalente a la adición de más de 34 nuevas centrales nucleares de 1000 megavatios, todo ello a un costo mínimo.

El resultado es que las centrales nucleares de hoy que están bien llevadas son activos cada vez más valiosos. Si bien la estructura de costos inicial de una central nuclear es elevada, los costos de explotación se han vuelto relativamente bajos y estables. Estas mejoras de la seguridad y la economía no han tenido mucha publicidad, ni tampoco hasta ahora un efecto significativo en la opinión del público sobre la energía nucleoelectrica, pero no han escapado a la atención de los inversionistas. Éstos han desempeñado un papel importante en las decisiones de prorrogar las licencias de las centrales existentes, por ejemplo en los Estados Unidos, donde en los últimos cinco años se han otorgado prórrogas de licencia por 20 años a 19 centrales.

## Cambios en el horizonte

Algunos analistas consideran que los argumentos a favor de la construcción de nuevas centrales nucleares en Europa están ganado terreno por una serie de razones.

### *Emisiones de carbono*

La primera razón es el resultado de la posición clara que ha adoptado Europa en los esfuerzos internacionales por limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir el riesgo del cambio climático.

La energía nucleoelectrica no emite prácticamente gases de efecto invernadero. En toda la cadena de la energía nucleoelectrica, desde la extracción del uranio hasta la disposición final de los desechos, incluida la construcción de reactores e instalaciones, sólo se emiten entre 2 y 6 gramos de carbono por kilovatio-hora. Este nivel de emisión es casi igual al de la energía eólica y solar y dos órdenes de magnitud más bajo que el del carbón, el petróleo e incluso el gas natural. Si las 440 centrales nucleares de todo el mundo se cerraran y se reemplazaran por una combinación proporcional de fuentes no nucleares, el resultado sería un aumento de 600 millones de toneladas de carbono al año. Esto equivale a aproximadamente el doble del volumen total que estimamos se evitará con el Protocolo de Kyoto en 2010, suponiendo que Rusia lo ratifique.

### *Seguridad del suministro*

Una segunda razón es la importancia que Europa atribuye actualmente a la seguridad del suministro energético. En el Libro Verde sobre la seguridad del suministro de Europa se estimó que, en circunstancias normales, la dependencia de la energía importada pasaría de un 50% en la actualidad a alrededor del 70% en 2030. Una preocupación similar impulsó la inversión en la energía nucleoelectrica durante la crisis del petróleo de los años setenta, inversión que contribuye en gran medida a la seguridad del suministro energético de Europa en la actualidad. Contar con grandes recursos de uranio en Europa no es una condición necesaria para esta seguridad, que se basa más bien en una nutrida lista de productores de uranio estables y en el reducido espacio de almacenamiento que se necesita para un suministro de combustible a largo plazo.

### *Riesgo relativo para la salud pública*

En lo que respecta a la seguridad y la salud pública, la energía nucleoelectrica sólo tiene efectos sanitarios importantes si se producen accidentes graves, de los que sólo ha habido uno, el de Chernóbil, provocado por fallas serias en el diseño, unidas a errores graves de los operadores. El de Chernóbil era un reactor de agua ligera moderado por grafito (reactor RBMK); aún hay 15 reactores de este tipo en funcionamiento en Rusia, y otros dos en Lituania cuyo cierre está programado para 2005 y 2009, según los acuerdos de adhesión. Gracias a las mejoras introducidas desde 1986, ninguno de esos reactores constituye una amenaza como la de Chernóbil, y ya no se construyen más reactores RBMK.

Además, Chernóbil no constituye el prototipo de las nuevas centrales nucleares, europeas o de otros lugares. Para evaluar el comportamiento de las centrales futuras, un modelo mucho mejor sería el reactor europeo de agua a presión (EPR) que la TVO de Finlandia acaba de seleccionar para su nueva central Olkiluoto-3. Cuando los analistas técnicos examinan el riesgo para la salud pública que plantean estos nuevos diseños nucleares

—o incluso el historial de seguridad de las centrales nucleares del mundo durante el último decenio de funcionamiento— descubren que esos riesgos figuran entre los más bajos en la industria de la energía.

### *La elección*

Está claro, sin embargo, que las decisiones relacionadas con la energía no pueden tomarse partiendo del criterio de que una misma solución sirve para todos. Cada país o región ha de tener en cuenta un conjunto diferente de variables al escoger su estrategia energética. Por ejemplo, Europa no está sometida a la doble presión del crecimiento demográfico y la necesidad de desarrollo económico, como algunas regiones de Asia, China y la India, al tener las dos quintas partes de la población mundial, figuran entre los países que tienen una demanda energética enorme, impulsada por la necesidad de combatir la pobreza y el hambre.

En las decisiones relativas a la energía influyen mucho también las ideas del público, incluida la percepción del riesgo. A pesar de los análisis técnicos que acabo de mencionar, y del conjunto de medidas que se han aplicado para contrarrestar la posibilidad de un accidente nuclear grave, nunca es posible reducir ese riesgo a cero —y el recuerdo de Chernóbil sigue pesando mucho en la conciencia del público en algunos países. Por ejemplo, en Austria, donde vivo, y donde no existen centrales nucleares, diría que la gran mayoría está en contra de la energía nucleoelectrica.

---

**Está claro, sin embargo, que las decisiones relacionadas con la energía no pueden tomarse partiendo del criterio de que una misma solución sirve para todos. Cada país o región ha de tener en cuenta un conjunto diferente de variables al escoger su estrategia energética.**

---

Finlandia, en cambio, tiene una experiencia larga y positiva con la energía nucleoelectrica y la mayoría del público sigue apoyando su expansión. En otros países aún, como Alemania y Suecia, si bien la considerable experiencia adquirida con la energía nucleoelectrica no ha estado asociada a grandes preocupaciones en cuanto a la seguridad, las ideas antinucleares se han plasmado en la decisión de eliminar paulatinamente la energía nucleoelectrica.

Las formas en que los países sopesan el riesgo de un accidente nuclear con otros factores —como la contaminación atmosférica, los ríos represados, los accidentes en la extracción minera o la dependencia de proveedores de combustible extranjeros— son asuntos complejos que es legítimo debatir. En el OIEA nos esforzamos al máximo por brindar la información más objetiva posible para que los países puedan adoptar decisiones fundamentadas con respecto al suministro energético, por lograr que se comprendan con claridad y justeza los riesgos y los beneficios de la tecnología nuclear y por ayudar a los países que opten por la energía nucleoelectrica a explotar sus instalaciones de manera segura.

## Aspectos clave de la viabilidad futura

Mirando hacia adelante, algunos de los retos fundamentales que se plantean revisten, a mi juicio, un interés directo para la viabilidad futura de la energía nucleoelectrónica.

### *La gestión y disposición final de los desechos*

El mayor reto radica en elaborar estrategias mundiales y nacionales claras para la gestión y la disposición final del combustible gastado y los desechos radiactivos de alta actividad. Aquí en Europa, el Parlamento aprobó en enero un proyecto de resolución legislativa en que se estipulaba que los Estados Miembros de la UE debían presentar a más tardar en 2006 programas detallados para la gestión y la disposición final a largo plazo de los desechos. Finlandia ha ido a la cabeza en esta esfera; el Gobierno y el Parlamento de ese país ya han ratificado una “decisión de principio”, que cuenta con un firme apoyo local, de construir un repositorio definitivo de desechos nucleares en una caverna cerca de las centrales nucleares de Olkiluoto. Suecia también está trabajando en el proceso de selección de un emplazamiento. El OIEA se ha esforzado por ayudar a sus Estados Miembros a elaborar estrategias de gestión y disposición final de desechos y por facilitar la cooperación internacional en los proyectos de investigación y demostración de esa disposición final.

Para explicar gráficamente la cuestión de los desechos, los analistas dicen a veces que el combustible gastado que generan los reactores del mundo entero en un año—incluso antes de procesarlo para su reutilización—cabría en una estructura del tamaño de un campo de fútbol y de 1,5 metros de alto. Cuando se compara este volumen—12 000 toneladas—con los 25 000 millones de toneladas de desechos en forma de carbono que se liberan directamente a la atmósfera cada año a partir de los combustibles fósiles, el volumen del combustible nuclear gastado parece relativamente pequeño. Además, la tecnología de la disposición final es perfectamente capaz de estabilizar los desechos nucleares en forma de vidrio o cerámica, encerrarlos a continuación en contenedores resistentes a la corrosión y aislarlos geológicamente. Hay otras investigaciones en curso en las que se emplearían sistemas impulsados por aceleradores para reducir el volumen y la radiotoxicidad de los desechos. Además, se están realizando nuevas investigaciones sobre las maneras de asegurar la recuperabilidad de los desechos almacenados en repositorios, para poder aplicar plenamente los adelantos de la tecnología en el futuro.

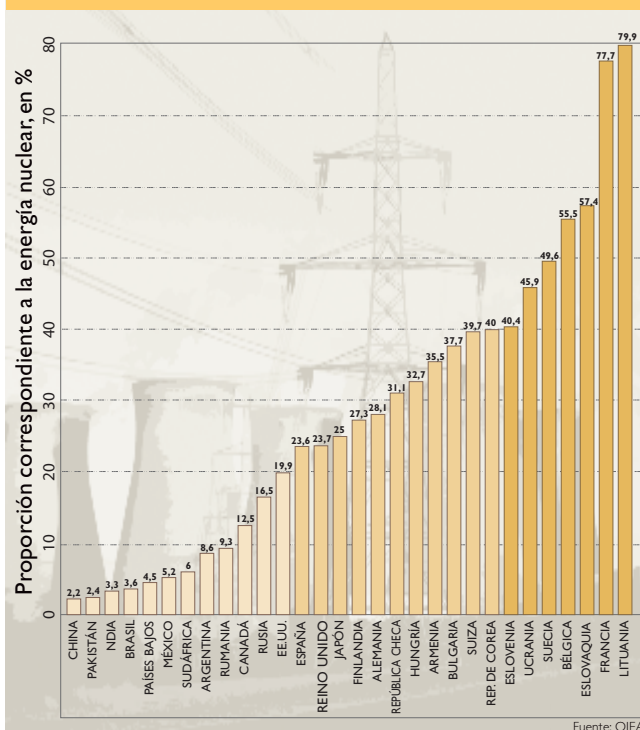
No obstante, el público aún es escéptico, y es probable que la disposición final de los desechos nucleares siga siendo un tema controvertido, posiblemente hasta que se creen los primeros repositorios geológicos y queden totalmente demostrados los resultados de las tecnologías de disposición final.

### *La seguridad tecnológica*

Un segundo reto fundamental es el relacionado con la seguridad tecnológica. Como ya señalé, el establecimiento de redes internacionales eficientes de seguridad nuclear en los últimos dos decenios ha reportado beneficios, y puedo afirmar que la seguridad tecnológica nuclear ha mejorado extraordinariamente. Pero no debemos dormirmos en los laureles. Todavía existen deficiencias: hay instalaciones con características de diseño más antiguas que aún necesitan mejoras o medidas compensatorias para alcanzar un nivel de seguridad aceptable. También nos esforzamos por detectar los problemas con causas básicas

## PROPORCIÓN CORRESPONDIENTE A LA ENERGÍA NUCLEAR EN LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

A NIVEL MUNDIAL, 2003



Fuente: OIEA

similares para prevenir la repetición de incidentes en las instalaciones nucleares, o sea, para garantizar que las lecciones aprendidas en una central nuclear se incorporen efectivamente en las prácticas operacionales de todas las demás instalaciones nucleares pertinentes.

Quisiera recalcar que, independientemente de las decisiones que adopten los países o regiones en materia de energía, es importante que todos los países presten su apoyo para garantizar que en las instalaciones nucleares de todo el mundo se apliquen normas de seguridad rigurosas. La seguridad tecnológica nuclear es de interés común y debe seguir siendo una prioridad mundial.

### *La seguridad física nuclear*

El tercer reto fundamental—la seguridad física nuclear—no debería resultar sorprendente. Los atentados terroristas perpetrados en los Estados Unidos en septiembre de 2001 han dado lugar naturalmente a una nueva evaluación de la seguridad física en todos los sectores industriales, incluido el de la energía nucleoelectrónica. Las actividades relacionadas con la seguridad física nuclear a nivel nacional e internacional han crecido mucho en alcance y volumen; en los últimos dos años el OIEA ha trabajado en todos los continentes para ayudar a los países a controlar mejor sus materiales nucleares y fuentes radiológicas, proteger sus instalaciones nucleares y fortalecer los controles fronterizos. También en este ámbito la comunidad internacional está realizando grandes progresos; si bien queda mucho por hacer, en las instalaciones nucleares de todo el mundo se han fortalecido las fuerzas de seguridad, aumentado las barreras de protección y adoptado otras medidas para hacer frente a los riesgos y vulnerabilidades de la seguridad en estos momentos.

Los riesgos que corren las centrales nucleares han sido objeto de mucha atención. Además, si bien la industria nuclear ha abordado los temas de la seguridad de manera muy dinámica, esos esfuerzos no nos deben hacer olvidar los aspectos vulnerables de otros sectores industriales o comerciales, que, si fueran objeto de atentados terroristas, podrían tener efectos igualmente devastadores.

### ***La no proliferación nuclear***

La prevención de la proliferación de las armas nucleares es un reto conexo pero independiente. Permítaseme decir ante todo que no se sabe de ningún material nuclear sometido a las salvaguardias del OIEA —ya provenga de reactores nucleares de potencia o de otras fuentes— que haya sido desviado hacia fines militares.

Sin embargo, como lo han demostrado los acontecimientos recientes, el régimen de no proliferación está sometido a una tensión creciente. Esto se aprecia en el mal funcionamiento del régimen de control de las exportaciones, prueba de lo cual es el mercado negro de materiales y equipos nucleares descubierto hace poco. También se observa en la propagación peligrosa de la tecnología del ciclo del combustible. Según el régimen de no proliferación actual, no hay nada ilícito en que un Estado no poseedor de armas nucleares tenga la tecnología de enriquecimiento o de reprocesamiento, o en que posea material nuclear apto para la fabricación de armas. Según la mayoría de los expertos, si un Estado con una capacidad plenamente desarrollada en lo que respecta al ciclo del combustible y con una infraestructura altamente industrializada decidiera, por la razón que fuese, romper sus compromisos relativos a la no proliferación, estaría en condiciones de producir un arma nuclear en cuestión de meses.

Para poner remedio a esta situación de vulnerabilidad, recientemente he propuesto que las partes del ciclo del combustible que más se prestan a la proliferación nuclear —la producción de combustible nuevo, el procesamiento de material apto para la fabricación de armamentos y la disposición final del combustible gastado y de los desechos radiactivos— se pongan bajo control multinacional, tal vez en un número limitado de centros regionales. Se aplicarían los frenos y contrapesos adecuados para preservar la competitividad comercial, prevenir la difusión de la tecnología sensible y garantizar el suministro a los posibles usuarios legítimos. También he propuesto hace poco que se revise el régimen de control de las exportaciones con vistas a establecer controles más estrictos y conferir al régimen un carácter mundial y vinculante. Además, he propugnado que las reglas de verificación más amplias incluidas en el llamado “protocolo adicional” pasen a ser la norma mundial, con el fin de que el OIEA pueda detectar efectivamente las actividades nucleares no declaradas.

En mi opinión, este tipo de enfoque multinacional reportaría ventajas en lo que respecta a los costos, a la seguridad tecnológica y física y al régimen de no proliferación.

### ***Innovación tecnológica y normativa***

Un último reto es la innovación, la promoción del desarrollo de nuevas tecnologías de los reactores y del ciclo del combustible. Para dar buenos resultados, esas tecnologías innovadoras deben abordar los aspectos relacionados con la seguridad, la proliferación y la generación de desechos nucleares, y ser capaces de producir electricidad a precios competitivos. Desde el punto de vista técnico, esto implica una mayor dependencia

de las características de seguridad pasivas, un mayor control de los materiales nucleares mediante nuevas configuraciones del combustible, y características de diseño que conlleven plazos de construcción más breves y costos de explotación más bajos. Por otra parte, la innovación no debe ser exclusivamente técnica: hay que efectuar cambios de política que permitan contar con calendarios de construcción fiables, establecer procedimientos de revisión de la concesión de licencias y promover otros factores que influyen en el costo y en la confianza del consumidor.

En vista de las necesidades cambiantes del mercado, prestamos particular atención a los reactores de tamaño pequeño y mediano, que facilitan una inversión más progresiva, están más en consonancia con la capacidad de las redes en los países en desarrollo y resultan más fáciles de adaptar a una amplia diversidad de contextos y aplicaciones industriales, como la calefacción urbana, la desalación del agua de mar o la elaboración de combustibles químicos. Casi 20 Estados Miembros del OIEA participan actualmente en el desarrollo de diseños de reactores y ciclos del combustible innovadores. El Organismo ha promovido la innovación mediante su Proyecto Internacional sobre ciclos del combustible y reactores nucleares innovadores (INPRO) y trabaja también en otros proyectos de innovación nacionales e internacionales.

## **Se avecinan decisiones**

Para concluir, permítaseme señalar que el “período de espera” de la energía nucleoelectrica en Europa llegará pronto a su fin. En el futuro cercano, Europa tendrá que tomar decisiones importantes en materia de energía. Ante el número creciente de centrales nucleares que se acercan al final de su vida útil según el diseño original, Europa tendrá que decidir cómo sustituir las centrales que se vayan cerrando.

La adopción de esas decisiones dependerá, en cierta medida, de las opciones que se privilegien —por ejemplo, la exploración de los recursos de carbón y de gas natural disponibles, el aumento del rendimiento y la reducción del costo de las energías renovables, o una mayor dependencia de las importaciones. Parece claro, sin embargo, que la única opción de carga básica disponible hoy que genera emisiones de carbono bajas, comparables a las de la energía nucleoelectrica, es la energía hidroeléctrica a gran escala —y los emplazamientos para la expansión de la energía hidroeléctrica son más bien escasos en Europa.

Lo seguro es que, independientemente de que se decida clausurar las instalaciones, prolongar la vida de los reactores existentes o construir la próxima generación de centrales nucleares europeas, el OIEA estará preparado para prestar asistencia a fin de garantizar un suministro de energía seguro y fiable.

---

*El Dr. ElBaradei es Director General del OIEA. El presente artículo se basa en el discurso que pronunció en la Conferencia del Parlamento europeo sobre opciones energéticas para Europa, celebrada en mayo de 2004 en Bruselas. Correo electrónico: [Official.mail@iaea.org](mailto:Official.mail@iaea.org)*

*En junio de 2004 el OIEA lanzó una campaña de prensa mundial sobre el futuro del sector nuclear. Véase más información en [www.iaea.org](http://www.iaea.org)*