



Agustín ALONSO SANTOS es Licenciado en Ciencias Químicas, Doctor en Ciencias Físicas e Ingeniero Industrial. Ha sido Director del Departamento de Seguridad Nuclear de la Junta de Energía Nuclear y Presidente de la Sociedad Nuclear Española. Es en la actualidad Catedrático de Tecnología Nuclear de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid y Director Científico de los proyectos internacionales OECD/LOFT/ESPAÑA, EPRI/ACE/ESPAÑA y LACE/ESPAÑA. Forma parte de un grupo de expertos sobre el Término Fuente en la CEE. Su cátedra mantiene contratos de investigación con la CEE (ISPRA) sobre accidentes severos. Es conferenciante en cursos inter-regionales del OIEA.

# IMPACTO SOBRE LAS ECONOMÍAS NACIONALES Y ESTRUCTURAS INDUSTRIALES DEL ABANDONO DE LA ENERGÍA NUCLEAR POR PARTE DE LOS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS

A. ALONSO

En la situación actual, el escenario propuesto no es muy probable, sin embargo, merece la pena examinarlo. Se revisan los datos sobre la población mundial, la demanda de energía y la disponibilidad de las tecnologías. Se identifican algunos impactos industriales y económicos cuantificables, pero se llega a la conclusión de que todavía no se ha realizado de forma sistemática una evaluación de los impactos del abandono de la energía nuclear, aparte del hecho de que existen muchas incertidumbres que dependen del país. También existirán muchos impactos indirectos, denominados también costes sociales o externos, que serán muy difíciles de cuantificar. A pesar de todo esto, se cree que los países industriales podrían absorber los cambios industriales y hacer frente al coste originado por una reducción progresiva y bien programada de la energía nuclear.

## ANTECEDENTES

El sistema tan eficiente de comunicaciones que existe hoy en día ha creado la denominada "filosofía de un solo mundo", ya preeminente y de una importancia cada vez mayor. Existe un equilibrio complejo, quedando afectados todos los países del mundo cuando incluso un solo país introduce una perturbación en el sistema. Por esta razón sería de interés analizar el escenario propuesto, por muy inverosímil que sea.

La energía nuclear aporta una parte importante a la producción de electricidad, tal como demuestran los informes recientes de la CEE, OECD y IAEA. Representa el 14% de la totalidad de la energía producida en la Comunidad Europea y el 35% de su electricidad (2). A nivel mundial, la energía nuclear proporciona el 17% de la electricidad (3) y un 5% aproximadamente del consumo total de energía térmica. No se puede conseguir el abandono de dicho potencial sin una ruptura del equilibrio energético del mundo, que afecta a todos los países. En la actualidad es difícil prever un

abandono repentino de la energía nuclear. La experiencia acumulada no respalda dicha necesidad, incluso en el caso de otra gran emisión accidental de radioactividad; además, la toxicidad asociada con la radiación es bastante bien conocida para que hayan resultados imprevisibles. Por lo tanto, se concibe el abandono de la energía nuclear en los países industriales en términos de un ejercicio bien planificado a largo plazo, como en el caso actual de Suecia.

Varias organizaciones nacionales e internacionales han formulado proyecciones sobre el desarrollo de la población y las posibilidades de un mayor desarrollo de los países no industrializados, con lo cual necesitarán más energía "per capita". En una previsión (4) se señala que para finales del siglo 21 el consumo energético global podría subir hasta un factor de cinco o seis veces el nivel actual. En otra previsión (5) se llega a la conclusión de que para el año 2060 la demanda energética anual será cuatro veces el nivel de 1986. Dicho aumento impondrá presiones sobre el capital, recursos y el medio ambiente. El mundo se enfrentará entonces con el problema de identificar la combinación óptima de energías primarias que se debería utilizar. La experiencia demuestra que en los países industrializados el consumo "per capita" de electricidad podría ascender a más o menos un 50% de todos los usos de energía, siendo ahora el 33% en la Comunidad Europea, por lo tanto, conforme se van desarrollando los países, utilizarán cada vez más la electricidad. Las fuentes primarias de energía para la generación de electricidad en las escalas previstas serán los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas; los combustibles nucleares: uranio, torio y deuterio, y los renovables: hidroeléctrico, solar (incluyendo eólico) y biomasa.

Los combustibles convencionales contaminan el aire con dióxido de carbono. La retención de dicho gas en forma de carbonato sólido y la eliminación del mismo constituyen un difícil problema técnico, debido a las grandes cantidades implicadas, y aumentaría en más del

*Este trabajo fue presentado por Agustín Alonso en la Conferencia Nuclear Europea ENC'90.*



doble el coste de la electricidad producida. También existirá el problema de reservas en lo que se refiere al petróleo y gas.

Los combustibles nucleares basados en la fisión están restringidos hoy en día por la aprensión social y las decisiones políticas, que se basan más en la falta de información y comprensión que en los hechos reales, a pesar del accidente en Chernobil-4. Además, el ciclo de torio no ha sido plenamente desarrollado a efectos comerciales y la utilización de uranio en los reactores térmicos pronto agotarían las reservas conocidas, así que sería necesario el despliegue de reactores reproductores rápidos.

Se ha explotado casi en su totalidad la utilización de la energía hidroeléctrica en los países industrializados, mientras que la energía solar (incluyendo la eólica) y la de biomásas están intrínsecamente limitadas, sin estar todavía completamente desarrolladas para producir unas cantidades sustanciales de electricidad. Además, debido a su propia naturaleza, la energía solar podría suministrar solamente la potencia punta diurna del ciclo solar. En un seminario reciente (6) se afirmó que el valor máximo que la energía solar podrá suministrar en el año 2030 (eólica y fotovoltaica) será de 1,2 TWh/año (teravatios-año por año). Los analistas estiman que la hidropotencial del mundo es inferior al 1,0 TWh/año y las biomásas no pueden superar el límite de 1,5 TWh/año. No se comprenden todavía muy bien las repercusiones, tanto económicas como para el medio ambiente, de una producción solar y de biomásas de dicha magnitud.

Si se supone que el mundo llegará a consumir 16 TWh/año en el año 2030 —en 1987 se consumieron 11,08 TWh/año—, entonces habrá que producir hasta 12,3 TWh/año mediante

la combustión de combustibles convencionales y nucleares. Entonces las sociedades y los políticos tendrán que decidir si será mejor contaminar la atmósfera con los gases de combustión o, por el contrario, intentar resolver dicha situación mediante la explotación de centrales nucleares seguras y bien controladas basadas en el ciclo de uranio.

## LA SITUACION NUCLEAR EN LOS PAISES INDUSTRIALIZADOS

Existen ahora en el mundo 433 centrales nucleares en operación y 98 en construcción, con una producción de 1.854,5 TWh en el año 1989. La electricidad generada por las centrales nucleares en los países de la OECD alcanzó 1.421 TWh en ese mismo año, habiendo ahora 323 reactores, con una potencia total de 254 GWe. Treinta y cinco de ellas están en fase de construcción, con 36 GWe; otras tres están firmemente comprometidas, y otras 20, con una potencial total de 18,5 GWe, están en fase de planificación. Por tanto, parece ser que la opción nuclear está muy viva.

Sin embargo, algunos países industrializados de Europa Occidental nunca han aprovechado la energía nuclear para la producción de electricidad, entre ellos Dinamarca, Noruega, Portugal y Grecia. Unos cuantos países han abandonado ya la energía nuclear de forma temporal o permanente, siendo los mejores ejemplos Italia y Austria. La mayoría de los países industrializados, con la posible excepción de Francia, Japón y Canadá, han aplicado, de "facto" o "de jure", moratorias que afectan a la construcción de nuevas centrales nucleares, esta es la situación en los EE.UU., el R.U., España, Suiza y Yugoslavia. Por último, Suecia ha deci-

dido ya abandonar enteramente la energía nuclear de forma planificada. Incluso en aquellos países que han abandonado la energía nuclear, como es el caso de Italia, se está reconsiderando la decisión permanentemente. En el Plan Energético Nacional contemplado por el Consejo de Ministros en el mes de agosto de 1988 se anunció la creación de un Comité constituido por los representantes de ENEA, ENEL y el Organismo Reglamentador, para considerar la introducción de nuevos conceptos de reactores intrínsecamente seguros. Asimismo se está reconsiderando el abandono de la energía nuclear en Suecia, puesto que no habrá un sustituto válido; la ley limita también las emisiones de los gases de invernadero y parece que lo nuclear está ganando la confianza del público. Queda por ver si la moratoria actual sobre la construcción se mantendrá en muchos países.

Existen, por tanto, ejemplos de los países industrializados que abandonan la energía nuclear. Por supuesto, el impacto de dichas decisiones sobre las economías nacionales y la estructura industrial ha sido analizado por los países implicados. Sin embargo, los resultados de dichas evaluaciones son muy subjetivos, pues dependen de un gran número de hipótesis en las que se incluyen muchas incertidumbres. La mayoría, si no todos los estudios publicados ya sobre este asunto, son de naturaleza determinista y no se encuentra entre ellos ningún tipo de estudio de incertidumbres. Por otro lado, no existe ninguna metodología bien establecida para la realización de dichos análisis, que también dependen de la estructura particular de cada país. Como consecuencia, en esta presentación sólo se puede hacer unos comentarios generales.

En el año 1979, unos expertos españoles, bajo el patrocinio del Forum Atómico Español (7), realizaron un análisis de las posibles repercusiones económicas de la moratoria en la construcción de nuevas centrales nucleares, que en esos momentos se sospechaba, y más tarde entró en vigor en Plan Energético Nacional de 1983, limitando la potencia instalada nuclear a 7,5 GWe. Los resultados principales del estudio indican un coste total acumulado hasta el año 2000 de unos 900 billones de pesetas (al valor de 1977), un gran déficit en la balanza de pagos, y la pérdida de unos 150.000 puestos de trabajo, también acumulados hasta el año 2000.

## LA NATURALEZA DE LA INDUSTRIA NUCLEAR EN LOS PAISES INDUSTRIALES

En cuanto al desarrollo nuclear, los países industrializados se pueden dividir

en dos grupos: los exportadores y los importadores cualificados. Estos últimos son los que importan las centrales nucleares de los primeros, pero contribuyen de forma sustancial al diseño, fabricación de componentes, construcción y montaje, y son totalmente responsables de la verificación, mantenimiento y explotación de sus centrales. Está claro que el impacto será diferente en cada grupo de países, no siendo necesariamente mayor en los exportadores.

Para ser exportador es necesario haber realizado un esfuerzo largo y costoso de investigación y desarrollo, partiendo de los principios físicos fundamentales y acabando con tecnologías avanzadas. Como consecuencia, el abandono de la energía nuclear también significa el abandono del esfuerzo científico y técnico de decenas de miles de científicos e ingenieros brillantes que han dedicado sus carreras a dicha empresa. También significa la pérdida del enorme esfuerzo económico que los países han invertido en dicho desarrollo.

En muchos países, el desarrollo de la energía nuclear estaba marcada por la creación de instituciones específicas y grandes centros de investigación nuclear provistos de cientos de científicos e ingenieros y presupuestos bastante grandes, los cuales han constituido los cimientos del desarrollo de la energía nuclear comercial. Las fuerzas detrás del movimiento antinuclear han obligado a muchos países a cambiar la naturaleza de las investigaciones realizadas en dichos centros, que ahora se orientan más a otras fuentes de energía y al medio ambiente. Esto constituye ya un impacto medible. Un abandono total de la energía nuclear cambiará completamente la naturaleza de dichos centros de investigación, que incorporarán nuevas disciplinas y tendrán una distinta composición científica y técnica.

Los exportadores y los importadores cualificados han desarrollado una infraestructura industrial considerable. Se han creado nuevas compañías o se han reestructurado las antiguas con personal muy preparado para hacer frente a todos los aspectos del diseño de una central nuclear. Decenas de miles de personas han adquirido un "saber cómo" muy costoso en cuanto a tiempo y esfuerzo. El abandono de la energía nuclear significa que no sólo se vuelven inútiles dichos conocimientos, sino que también las personas afectadas necesitarán una nueva formación en otras tecnologías.

En España, el desarrollo nuclear ha estimulado la creación de grandes compañías de arquitectos-ingenieros con hasta 2.500 empleados. En un proyecto nuclear típico se necesitan hasta 6E6 horas-persona en la ingeniería, con máximos de hasta 1E3 personas trabajando de forma simultánea.

Asimismo, tanto los exportadores como

los importadores cualificados han creado compañías de fabricación, servicios y construcción, o han ampliado las existentes con la inversión correspondiente y en la formación de especialistas. Como regla general, la tecnología nuclear es mucho más estricta que las demás en cuanto a calidad, así que los fabricantes de componentes y las compañías de construcción se han adaptado a la nueva tecnología, con grandes inversiones para cubrir las normas más rigurosas y los nuevos requisitos derivados de la garantía de calidad.

El abandono de la energía nuclear conllevará muchas pérdidas económicas para aquellas industrias desarrolladas específicamente para actividades nucleares, como puede ser el caso de ENSA, fabricante de componentes pesados en España, y de otras compañías similares en otros países, obligándolas, con el coste consiguiente, a diversificar sus ofertas incorporando otros productos.

La verificación, explotación y mantenimiento de las centrales nucleares también representan un esfuerzo técnico y económico importante. Las empresas nucleares han creado grandes grupos de especialistas con los conocimientos necesarios para realizar o revisar los aspectos técnicos y económicos de la explotación, mantenimiento y recarga de combustible, que a veces plantearán problemas difíciles relacionados con la seguridad, concesión de licencias y opinión pública. En España, un grupo típico puede tener hasta 30 personas.

El personal de explotación, típicamente con 400 personas por unidad, y la mayoría de ellas altamente cualificadas, representa una mano de obra cuya formación ha sido costosa, especialmente

para los operadores de reactores, lo que exige la creación de instituciones dotadas con equipos didácticos modernos, como son los simuladores de reactores. En muchos casos, los conocimientos que han adquirido estas personas no pueden ser aplicados a otras tecnologías; del mismo modo, no se puede remodelar los centros de formación para otros usos.

Las naciones industrializadas han creado organismos de control bien dotados de especialistas en muchas disciplinas diferentes para garantizar la seguridad y la protección contra la radiación. También se han constituido grandes organizaciones internacionales y privadas, por ejemplo, la OECD/NEA, el OIEA y WANO. Cada una de estas organizaciones se verá profundamente afectada por el supuesto abandono.

Existe un tercer grupo de países, los importadores, generalmente en fase de desarrollo, que disponen sólo de una o dos centrales y que dependen en gran parte de los exportadores para sus suministros y servicios. El caso de estos países no está considerado en esta presentación.

## EL CICLO DE COMBUSTIBLE

Una característica importante del ciclo de combustible nuclear reside en las complejas bases científicas, técnicas y económicas sobre las que está fundado, así como sus implicaciones internacionales. El enriquecimiento y la reelaboración del combustible se realizan en su mayor parte por los exportadores. La fabricación de combustible y la gestión de desechos son actividades que los importadores cualificados pueden administrar. Este es claramente el caso de



España, pues estas dos actividades están realizadas, respectivamente, por las compañías estatales ENUSA y EN-RESA.

Como en el caso de las centrales nucleares, los exportadores han invertido una cantidad considerable de dinero y mano de obra en la investigación y desarrollo para la adquisición del alto nivel de tecnología necesaria para el ciclo de combustible. Asimismo, los importadores cualificados han dedicado esfuerzos considerables al desarrollo de su parte del proceso. El abandono total de la opción nuclear significa también la renuncia a dichos conocimientos y alta tecnología, puesto que será difícil traducirlos a otras actividades.

El abandono de la energía nuclear también representará la pérdida de los conocimientos y tecnología desarrollados para la primera parte del ciclo. Ni la minería ni la fabricación de concentrados de uranio serán necesarias, ni tampoco el enriquecimiento ni la fabricación de combustibles. En España, por ejemplo, ENUSA, la compañía estatal que se ocupa de la primera parte del ciclo, desaparecería junto con otras instituciones similares en otros países.

Por otro lado, a el abandono de la energía nuclear seguiría el desmantelamiento de las centrales y la gestión de desechos, así que las organizaciones responsables de tales actividades estarán activas durante mucho tiempo.

## EL IMPACTO EN LA ESTRUCTURA INDUSTRIAL

En los países industrializados sólo será practicable el abandono total de la tecnología nuclear como método de generación de electricidad si puede ser sustituido por otra tecnología más ventajosa. Si se dispusiera de dicho sustituto, el cambio tendría lugar, seguramente, dentro

de un período de tiempo dado, como es el caso de otros bienes o productos de importancia. Hoy en día es normal encontrar países que están reorganizando sus industrias para hacer frente a las situaciones de cambio; en España, por ejemplo, se han reestructurado recientemente los sectores siderúrgico y naval. Después de dichos cambios, el sector industrial afectado será diferente, pero aceptable.

En algunos países industrializados, como es el caso de Italia y Austria, se ha sustituido ya la energía nuclear, hasta un punto muy limitado, por centrales térmicas convencionales, utilizando principalmente carbón y gas natural, y por la importación de la electricidad, producida en su mayor parte por centrales nucleares, como es el caso de Italia. Los efectos sobre las estructuras industriales en dichos países han sido muy reducidos en términos relativos, pero han producido desajustes en aquellas empresas y organizaciones relacionadas con la energía nuclear.

En los países industriales con una alta proporción de electricidad nuclear y con una industria nuclear bien establecida, como es el caso de Francia, Bélgica, Canadá, Alemania e incluso España, los efectos directos serán mucho mayores, pero todavía aceptables y viables si se realiza de forma bien planificada. Se ha afirmado que, en un año dado, sería difícil sustituir más del 2 ó 3% del sistema energético de una nación, cualquiera que sea el imperativo.

Si se sustituyese lo nuclear por carbón o gas, la tasa de sustitución estaría limitada más por imperativos de la inversión de capital necesaria que por razones técnicas y de mano de obra. Si se introdujese una fuente de energía totalmente nueva, a los imperativos económicos habría que añadir las limitaciones técnicas y de mano de obra. Se han mencionado períodos de tiempo de más de medio siglo.

Si se sustituyera lo nuclear por energía térmica convencional, las industrias ya

bien establecidas tendrían nuevas oportunidades comerciales y las empresas eléctricas podrían acomodarse fácilmente a la nueva situación. Los arquitectos-ingenieros, las compañías de construcción y los fabricantes de componentes podrían cambiar sus actividades para ajustarse a la nueva demanda. Desde luego, los proveedores de reactores y fabricantes de componentes nucleares específicos se volverían improductivos, así como aquellos relacionados con la primera parte del ciclo de combustible nuclear. Aquellas actividades relacionadas con la segunda parte del ciclo de combustible, entre ellas la retirada de servicio, desmantelamiento y gestión de desechos, seguirían vigentes durante mucho tiempo tras la sustitución.

Se podría realizar una valoración preliminar de dichos efectos comparando la mano de obra necesaria para construir 1 GWe de energía nucleares con la de la fuente alternativa. Unicamente existen datos comparables para lo nuclear y carbón, porque la hidroeléctrica depende mucho del emplazamiento y no existen experiencias acumuladas para las otras posibles fuentes. En la siguiente tabla I se reproduce la experiencia adquirida por una de las primeras empresas de arquitectos-ingenieros en España.

Habría que completar la tabla anterior con la mano de obra necesaria para cubrir el ciclo de combustible, producción y transporte de materiales y la gestión de dichas actividades, que, en el caso de la energía nuclear, podría duplicar o incluso triplicarse.

En un país como España, el número total de empresas afectadas podría alcanzar las 150, la mayoría de ellas sólo ligeramente. Las más afectadas serían los arquitectos-ingenieros y las empresas de asesoría (10), las compañías de construcción y de montaje, algunos fabricantes de componentes y compañías que prestan servicios a las centrales nucleares en funcionamiento, por ejemplo, la formación de operadores, mantenimiento, inspección en servicio y fabricación de combustible.

En cualquier valoración de los efectos sobre la estructura industrial, si se abandona la opción nuclear, habría que considerar también la estructura del coste de electricidad de las distintas opciones. Igual que en el caso anterior, lo nuclear es fácilmente comparable con el carbón en líneas generales, tal como se observa en la tabla II. En dicha tabla se aprecia claramente la naturaleza totalmente diferente de los dos combustibles. Un predominio del carbón aumentaría las actividades industriales y comerciales relacionadas con la minería de carbón y su transporte, mientras que lo nuclear representaría mayores actividades en la fase de fabricación de componentes y montaje de la instalación.

TABLE I

### MANO DE OBRA (1.0E3 PERSONAS × HORA) NECESARIA PARA CONSTRUIR UNA CENTRAL DE CARBON O NUCLEAR

|                                          | Carbón<br>2×500 MWe | Nuclear<br>1 GWe PWR |
|------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| • Ingeniería y diseño .....              | 350                 | 5.700                |
| • Gestión de adquisición de componentes. | 65                  | 400                  |
| • Dirección de construcción .....        | 300                 | 2.500                |
| • Construcciones .....                   | 8.000               | 28.000               |
| • Pruebas y puesta en marcha .....       | 350                 | 1.800                |
| TOTALES .....                            | 9.065               | 38.400               |
| RELACION .....                           | 1/4                 |                      |

Mientras que los efectos directos pueden evaluarse fácilmente, los efectos indirectos del abandono serán mucho más difíciles y complejos de medir. Dos efectos parecen ser de suma importancia: la pérdida de una tecnología adquirida mediante grandes esfuerzos nacionales y la influencia negativa que puede tener el abandono en un retorno posterior, cuando fuese necesario.

La energía nuclear es muy intensiva en intelecto, como corresponde al alto nivel tecnológico requerido y a la naturaleza de la ciencia en que se basa. Significa que el diseño, construcción, montaje, comprobación, puesta en marcha, mantenimiento y explotación han de ser realizados por personas muy cualificadas, y que los conocimientos son difíciles de adquirir. Si se abandonara lo nuclear, se perderían los conocimientos adquiridos, que quedarían en archivos y documentos.

Una vez abandonada, cualesquiera que fueren las razones, una futura reaparición de la tecnología nuclear seguramente sería posible. Los países industriales han sido capaces de crear una industria, así que también serán capaces de volver a crearla de nuevo con un coste y esfuerzo menor que en un principio. Sin embargo, se requeriría una reestructuración y un coste no necesarios. En el caso de España, por ejemplo, se tardaría algún tiempo en recuperar el nivel del 80% de participación nacional que consiguió el país en las últimas centrales actualmente en funcionamiento. Los países exportadores necesitarían cierto tiempo, quizá una década, para recuperar totalmente la tecnología perdida, mientras que el tiempo de recuperación para los importadores cualificados sería mayor. El segundo efecto, probablemente, sería más importante. En las situaciones actuales, el abandono de la energía nuclear, incluso en caso de accidente importante, no se basaría en razones científicas, técnicas y económicas objetivas, sino que sería una decisión sociopolítica basada en la percepción subjetiva del nivel de riesgo o en una información errónea. Dichas decisiones, una vez tomadas, son muy difíciles de superar, incluso en el caso de pruebas evidentes, como claramente demuestran los ejemplos de Suecia, Austria e Italia.

**T III**  
**RESUMEN DEL COSTE DE GENERACION DE ELECTRICIDAD**  
**DESCONTADO Y PROMEDIADO PARA EL CASO DE REFERENCIA DE LA**  
**OECD/OIEA (9) (enero 1987)**  
**(millones de kWh)**

| País                    | Nuclear | Carbón | Relación<br>carbón/nuclear |
|-------------------------|---------|--------|----------------------------|
| BELGICA .....           | 29,1    | 52,2   | 1,79                       |
| FINLANDIA .....         | 27,5    | 33,0   | 1,20                       |
| FRANCIA .....           | 27,4    | 39,6   | 1,45                       |
| R.F. ALEMANIA (1) ..... | 39,9    | 56,7   | 1,42                       |
| JAPON .....             | 43,3    | 55,7   | 1,28                       |
| HOLANDA .....           | 34,6    | 32,8   | 0,95                       |
| ESPAÑA (2) .....        | 42,6    | 41,3   | 0,97                       |
| R.U. (2) .....          | 35,8    | 38,1   | 1,06                       |

(1) Carbón doméstico. (2) Carbón importado.

## EL IMPACTO ECONOMICO

Un análisis simplificado del impacto económico producido por el abandono de la tecnología nuclear conduce a: a) la valoración del valor de la inversión que se perderá; b) la comparación del coste de la unidad de energía eléctrica generada por lo nuclear y por el sustituto.

En una publicación francesa (10) se ha valorado recientemente el valor invertido en las centrales nucleares del país en más de \$100 billones. A este valor habría que sumar el de las industrias específicas e instalaciones del ciclo de combustible, más varias partidas indirectas y difícilmente cuantificables.

En cuanto al coste del sustituto, se han realizado estudios por países individuales y organizaciones internacionales interesadas. Uno de los últimos de que se dispone es un trabajo realizado por la OECD/OIEA con la ayuda de UNIPED (9).

En el informe se incluyen comparaciones detalladas del coste del kWh producido por centrales de carbón y nucleares de 1 GWe que iban a ponerse en marcha entre mediados hasta finales de 1990 en los países de la OECD, calculados utilizando procedimientos normalizados. También contiene datos sobre el coste de la

electricidad producida por centrales de gas y por energía eólica. Sin embargo, estos últimos no están basados en la experiencia real. Los organizadores normalizaron los cálculos realizados por los países individuales para producir un conjunto de cálculos de referencia (tipo de descuento del 5%, período de amortización de 30 años con un factor de carga promediado del 72%), los cuales se han reproducido en la tabla III.

Según dichos cálculos, la energía nuclear, bajo las condiciones del estudio, produciría una electricidad más barata que el carbón, mientras que en Holanda, España y el R.U. las dos opciones son más o menos iguales. Pero en estos cálculos no se ha tenido en cuenta el efecto de la exclusión de un término sobre los precios del otro. Mediante una simple inspección de dicha tabla, un observador inexperto puede deducir fácilmente que la sustitución de lo nuclear por carbón será económicamente ventajosa en Holanda y España. Lo importante es reconocer que la eliminación de cualquier opción aumentaría automáticamente el coste de las otras. Si se sustituyera enteramente lo nuclear con carbón, los países proveedores de carbón controlarían los precios, como ya viene sucediendo con el petróleo en el transporte. La ventaja de la diversidad de opciones no se debería perder.

El impacto económico también incluirá algunos otros elementos más difíciles de medir: las posibles ventajas económicas de la diversidad, el coste de los distintos impactos ecológicos o los llamados "costes sociales o externos" de la energía y la influencia en el comercio internacional, con los efectos correspondientes sobre la balanza de pagos.

Las ventajas de la diversidad de suministros son obvias en cualquier caso; para un producto con gran carácter estratégico, como la energía, las ventajas

**T II**  
**ESTRUCTURA (%) DEL COSTE DE ELECTRICIDAD (\*)**

| Componente                                      | Nuclear | Carbón |
|-------------------------------------------------|---------|--------|
| • Inversión .....                               | 57      | 29     |
| • Operaciones y mantenimiento .....             | 15      | 15     |
| • Combustible (incluyendo transformaciones) ... | 28      | 56     |

(\*) Medias para varios países.

son muy destacadas. La situación llega a ser crítica en aquellos países en los que la demanda de energía supera los suministros nacionales. La Comunidad Europea es un ejemplo, pues su dependencia de los suministros extranjeros alcanza un 50%.

Se han realizado muchos estudios sobre el impacto ecológico de las distintas fuentes de electricidad, pero no existe ningún estudio fiable sobre el coste de reducir dichos impactos a un nivel económico común. Los gobiernos y organizaciones internacionales empiezan a reconocer los costes sociales potencialmente altos que pueden surgir del efecto invernadero y la lluvia ácida, mientras que la percepción social del riesgo nuclear está muy por encima de la realidad. Este reconocimiento ha motivado muchos estudios dirigidos a la cuantificación de dichos costes sociales con la intención de considerar los resultados en el precio de la electricidad y obtener así una mezcla óptima de energías. Esta optimización, que debería incluir otras actividades humanas, sería muy difícil de conseguir, sin embargo, merece la pena intentarlo.

Para lo nuclear, el principal componente específico del coste social se debe a los contaminantes radiactivos que escapan de las centrales nucleares e instalaciones de ciclo de combustible durante el funcionamiento normal o bajo condiciones de accidente. Son de especial preocupación los productos radiactivos volátiles de larga vida, como H-3, Kr-85 o C-14. Se han realizado esfuerzos analíticos desde los tiempos de WASH-1400, siendo proseguidos hoy en día por muchas organizaciones.

Para los combustibles convencionales, el principal impacto específico se debe a óxidos de nitrógeno, azufre y carbón en los gases de chimenea. Se empieza a reconocer y evaluar los efectos de dichos gases en la atmósfera. Existe tecnología para tratar estos gases, pero la eliminación del dióxido de carbono será muy costosa, pues representa cantidades difíciles de manejar.

El impacto ecológico de la energía solar, hidroeléctrica y de biomásas depende mucho del emplazamiento, pudiendo afectar a actividades agrícolas, paisajes de gran belleza o emplazamientos de interés histórico o arqueológico, como ha sido el caso, aparte de los efectos producidos por la minería, producción y transporte de los materiales necesarios. No se han evaluado todavía sobre bases equitativas los impactos debidos a un gran despliegue de instalaciones solares, eólicas o de biomásas.

Los costes sociales del consumo de energía han sido analizados por muchos autores. En unos trabajos pioneros realizados por H. Inhaber se llegó a la conclusión de que la energía nuclear perjudicaba poco el medio ambiente.

Unos estudios más recientes han intentado cuantificar los costes asociados. En un estudio reciente realizado por O. Hohmeyer bajo el patrocinio de la CEE (11) se han reconocido las dificultades propias de cuantificar algunos de los efectos previsibles y la inexactitud de algunos de los modelos utilizados; sin embargo, dicho autor concluye que el coste externo de los nuclear podría aumentar en más de tres veces el coste declarado del kWh; para los combustibles fósiles podría aumentar en un 15 a un 75%, mientras que para los renovables sería muy bajo.

Los trabajos de Hohmeyer han sido duramente criticados por P. Jones (12). La crítica principal se refería al hecho de que Hohmeyer no había tomado en consideración para ninguna de las fuentes los "impactos externos asociados con la minería, extracción y fabricación de los materiales necesarios para la construcción (del sistema)". Además, debido a su propia naturaleza, los renovables requieren un sistema de reserva, cuyos impactos deberían añadirse. La crítica concluye que "... las conclusiones numéricas de Hohmeyer no son fiables..." y prevé que el coste social de la energía nuclear podría rondar los 0,1 p/kWh, peniques por kWh, y variar desde 0,4 hasta 2 p/kWh para los combustibles fósiles. También cita trabajos realizados por A. Voss, en los que concluye que los costes externos son de 0,3 a 0,4 p/kWh para los combustibles fósiles, 0,2 p/kWh para el nuclear y de 0,2 hasta 0,4 p/kWh para el solar. Estos valores citados representan unos aumentos muy moderados, del 5 hasta el 15%, en el coste de la electricidad.

## CONCLUSIONES

Se pueden resumir los comentarios anteriores en las siguientes conclusiones:

Primero.—*Sobre la credibilidad del escenario propuesto.* El abandono de la energía nuclear en su forma actual parece poco probable. Se prevé una demanda creciente de la energía a causa del desarrollo demográfico y económico, y la falta de una nueva fuente aprovechable para producir electricidad mantiene abierta la opción nuclear. Sin embargo, se reconoce que se está abandonando o reduciendo la energía nuclear en algunos países industrializados, principalmente en la Europa Occidental y los EE.UU.

Segundo.—*Sobre los efectos generales del abandono.* La energía nuclear para la producción de electricidad es el resultado de un esfuerzo pionero que implica una ciencia difícil, tecnologías avanzadas e intensos esfuerzos económicos en los países industrializados. Se podrían perder parcialmente cientos de miles de perso-

nas altamente cualificadas y miles de millones de dólares. Habría que abandonar 433 centrales nucleares, que generan el 17% de la producción total de la electricidad del mundo, así como las correspondientes instalaciones y servicios de ciclo de combustible.

Tercero.—*Efectos sobre la estructura industrial.* Relativamente, lo nuclear no es un componente principal en los países industrializados. Aunque podría afectar a cientos de empresas, la desaparición de la industria nuclear no crearía un impacto importante en la mayoría de las naciones industrializadas, puesto que habría que crear nuevas actividades industriales para hacer frente a la alternativa. Sin embargo, muchas industrias avanzadas tendrían que desaparecer o cambiar.

Cuarto.—*Sobre el impacto económico.* Los países industrializados serían capaces de hacer frente a los efectos económicos de la sustitución de lo nuclear por otras opciones viables, pero perderían las ventajas de la diversidad, tendría que contrarrestar los impactos ecológicos de la mezcla de energías seleccionada, así como acomodarse a las nuevas pautas del comercio internacional.

## BIBLIOGRAFIA

1. CEE, DGE: *La energía en Europa. El mercado interior de la energía*. Luxemburgo, 1988.
2. OECD/NEA: *Nuclear Energy Data*. París, 1990.
3. IAEA: *Power Reactor Information System*. Octubre 1989.
4. W. M. LOMER: *Nuclear Energy in the 21st Century*. Atom 396, octubre 1989.
5. C. STARR: *Global Projections of Energy and Electricity*. American Nuclear Power Conference. Chicago, 24 abril 1989.
6. W. HÄFELE: *Global and Regional Energy Scenarios for the Reduction of CO<sub>2</sub> Emissions and the Role of Nuclear Power*, en Safety of Nuclear Installation: Future Direction, IAEA-TECDOC-550. Chicago, agosto 1989.
7. Forum Atómico Español: *Efectos directos de una moratoria nuclear en España*. Madrid, 1979.
8. A. GARCIA RODRIGUEZ: *Trabajar en la industria nuclear*. Fundación Universidad-Empresa, 1987. Pág. 26.
9. OECD NEA/IEA: *Projected Cost of Generating Electricity*. París, 1989.
10. J. P. CAPRON: *Nuclear Electricity, the Answer to Energy Challenges*, 21st Annual Conference of Japan Atomic Industrial Forum. Tokio, 1988.
11. O. HOHMEYER: *Social Costs of Energy Consumption*. Springer-Verlag, Heidelberg, 1988.
12. P. JONES: *Social Costs of Energy*. Atom 403, mayo 1990.