

PARTICIPACION NACIONAL EN LA ENERGIA GENERADA POR LAS C.N. ESPAÑOLAS

Juan E. IRANZO

INTRODUCCION

El proceso de desarrollo industrial español de la década de los sesenta se basó tanto en sectores altamente consumidores de energía como en tecnología intensiva en el factor energético, lo que produjo un incremento de la demanda de energía primaria en el período 1961-1974 del 170 %. Asimismo se produjo la sustitución del carbón por el petróleo como principal materia prima energética, debido al mayor poder energético y facilidad de uso de este último, a la aparición de consumos específicos y a la crisis del sector carbonero español, lo que representó una excesiva concentración del balance energético nacional (1) y un aumento de la dependencia exterior, puesto que en 1973 el grado de autoabastecimiento energético era de únicamente un 28 %, lo que hacía tremendamente vulnerable a un sector de tanta importancia estratégica.

El alza de los precios del petróleo puso rápidamente de manifiesto la fragilidad de los esquemas de suministro, produciendo un importante aumento del déficit de la Balanza de Pagos Española. Como puede verse en la tabla I, la primera crisis del petróleo significó un incremento de la factura exterior energética que pasó, de representar el 13 % del total de las importaciones españolas en 1973, al 25 % en 1974. A partir de la segunda crisis del petróleo (2), las importaciones de productos energéticos superaron el 40 % de nuestras importaciones y equivalían a casi las dos terceras partes del valor total de las exportaciones españolas. También el sector energético español ha necesitado adquirir en el exterior tecnología y servicios de asistencia técnica, lo que no sólo significa una salida adicional de divisas, sino también un peligroso aumento de la dependencia exterior.

En este trabajo se calcula el nivel de participación nacional en la energía generada por una central nuclear española, LWR de 1.000 MWe. de potencia, a partir del estudio de su grado de nacionalización en la construcción, en el combustible, en la operación y en el mantenimiento y teniendo presente la incidencia de cada uno de estos conceptos en el coste total del kilowatio/hora de origen nuclear. Por último se realiza una comparación con el grado de nacionalización de la energía eléctrica generada en España mediante otras materias primas energéticas no renovables y se establece la repercusión que tiene cada una de

éstas sobre la Balanza de Pagos Española.

COMBUSTIBLE NUCLEAR

La principal dificultad que plantea el estudio económico del denominado «ciclo del combustible nuclear» se deriva del tremendo desfase temporal existente entre el inicio del mismo y su finalización con la evacuación definitiva de los residuos radiactivos de alta actividad.

Para calcular el nivel de participación nacional en el combustible nuclear empleado en España se ha establecido una hipótesis de demanda en función del calendario previsto de puesta en marcha de los reactores nucleares españoles (tabla II), basado en las estimaciones del Plan Energético Nacional 1983/92 (3) y en la opinión de las empresas eléctricas propietarias de los mismos. El estudio se ha realizado para un período largo de tiempo, 1980-1990, con el fin de evitar errores estacionales y poderlo hacer más dinámico. El cálculo de la demanda se ha efectuado considerando la necesidad de adquirir el concentrado de uranio y los servicios de conversión 18 y 15 meses, respectivamente, antes de la introducción de la recarga de equilibrio en el reactor; es decir, en el año $x - 2$ (4). Los servicios de enriquecimiento y fabricación de los elementos combustibles se realizan en el año anterior, $x - 1$. La recarga se mantiene en el núcleo del reactor por espacio de tres años, considerando al primero de ellos como año base de cálculo, x ; transcurrido este tiempo se almacena en la piscina de la central por espacio de ocho años (5). A continuación se traslada a un almacenamiento centralizado, año $x + 11$, en el cual permanecerá por espacio de 15 años, pasados los cuales se realizará su reprocesado $x + 26$. La evacuación definitiva de los residuos radiactivos se efectuará al año siguiente, período en el que también se contabilizará el crédito del uranio y el del plutonio si lo hubiere, $x + 27$.

El grado de participación nacional en cada una de las etapas del ciclo se obtiene ponderando el grado de cobertura con producciones realizadas dentro de nuestro país por la participación española en los diversos procesos obtenidos a partir del estudio de sus cuentas unitarias de explotación. Asimismo se investiga el grado de cobertura con producciones que se realizan fuera de nuestras fronteras, pero a las que se tiene acceso debido a la intervención directa de empresas españolas en las mismas.



Juan Emilio IRANZO MARTIN (29) es Doctor en Ciencias Económicas. Prestó servicios como técnico titulado superior en la Empresa Nacional del Uranio, S. A., entre noviembre de 1980 y octubre de 1984. Actualmente es Profesor de Estructura Económica en la Universidad Complutense de Madrid.

T I

EVOLUCION DE LAS IMPORTACIONES ENERGETICAS DURANTE EL PERIODO 1970-1983

AÑO	Importaciones de energía, combustibles y lubricantes en valores c.i.f. (miles de millones de ptas)	Porcentaje respecto al valor total de las importaciones c.i.f.
1970	44,1	13,3
1971	57,0	16,4
1972	63,1	14,4
1973	72,9	13,0
1974	225,8	25,3
1975	240,5	25,8
1976	341,6	29,2
1977	383,2	28,4
1978	406,4	28,4
1979	515,0	30,2
1980	942,6	41,2
1981	1.258,8	42,4
1982	1.376,1	39,7
1983	1.671,3	40,3
1984 (enero-julio)	1.035,2	37,8

Fuente: García Alonso, José M.ª: *La energía en España, situación actual y perspectivas*. Servicio de publicaciones del Banco Atlántico, Madrid, 1981, pág. 38. Hasta el año 1980 y los datos posteriores han sido aportados por el propio Prof. Alonso.

EXPLORACION Y MINERIA

Los primeros trabajos de exploración de uranio en España se iniciaron en el año 1949, comenzando por investigar los minerales radiactivos donde ya se conocía la existencia de uranio gracias a los trabajos que se habían realizado anteriormente con la finalidad de localizar radio; pegmatitas de sierra Albarrana (Córdoba) y Monesterio (Badajoz). En este último lugar una compañía francesa había extraído algunas toneladas de pezblanda con destino a la obtención de radio para los esposos Curie. A pesar de encontrarse bolsas con leyes altas, el rendimiento general era bajo y pronto se abandonó su tratamiento, buscando yacimientos adyacentes en granitos de las provincias de Cáceres, Córdoba, Jaén y Salamanca. En 1957 se localizaron mineralizaciones ubicadas en las pizarras de la zona de Ciudad Rodrigo (Salamanca), así como en la provincia de Badajoz.

La Junta de Energía Nuclear (6) fue, hasta 1974, el organismo encargado de la exploración nacional de uranio durante un período de 25 años. A pesar del esfuerzo realizado, la limitación de los presupuestos asignados a este fin no permitieron que la exploración llevada a cabo cubriera la totalidad del territorio nacional. Aunque las reservas encontradas eran relativamente reducidas, es de resaltar, sin embargo, que el coste de su descubrimiento era del orden del admitido internacionalmente con criterios estadístico. Por otra parte, quedaba todavía prácticamente por investigar una superficie de 110.000 km² con importantes formaciones del sedimentario continental. Parecía, por tanto, justificando el continuar y activar la prospección de minerales de uranio en territorio nacional, acentuado por el hecho de que los yacimientos que se pudieran descubrir constituirían, como se ha indicado, las fuentes más seguras para el aprovisionamiento nacional de concentrados de uranio.

Con el fin de explorar dichas formaciones, en 1974 la JEN inició la ejecución del Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uraio (PNEIU), el cual fue transferido a la Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA) (7) en julio de 1981. La duración y la envergadura de este plan ha facilitado que las empresas de servicios en el campo de la exploración pudieran dotarse adecuadamente del personal especializado y de los equipos apropiados. Como resultado de estos trabajos, las reservas de uranio en España han pasado de 8.100 tm. de U₃ O₈ en 1976, a unas 28.875 tm. de U₃ O₈ en 1983, lo que representa un incremento del 257 % y sitúan a nuestro país en el segundo lugar de Europa, detrás de Francia. Asimismo ENUSA ha participado en diversas asociaciones temporales con empresas extranjeras en exploraciones de minerales de uranio realizadas en Canadá y en Africa del Sur, y ha sido el operador principal en las de Colombia.

Como consecuencia de la experiencia adquirida en los diferentes proyectos de exploración e investigación de uranio, tanto dentro como fuera de nuestras fronteras, el nivel de participación nacional en esta etapa del ciclo del combustible es del 100 %.

La minería del uranio ha sido desarrollada por la JEN desde 1949 a 1981, y por ENUSA desde 1974, estando actualmente en explotación comercial los yacimientos de Ciudad Rodrigo (Salamanca) y de Don Benito (Badajoz), con una producción conjunta de unas 300 tm. de U₃ O₈ al año. Según el PEN 83 (8), la producción nacional prevista para 1985 es de unas 1.000 tm. de U₃ O₈/año, de las cuales 800 tm. de U₃ O₈ se alcanzarán con la ampliación de las explotaciones mineras de Salamanca, 100 tm. de U₃ O₈, de la mina de Don Benito, y otras 100 tm. de U₃ O₈, a partir del ácido fosfórico (proyecto FUESA).

El nivel de participación nacional en el uranio que se obtiene y obtendrá en el futuro por la aplicación de las explotaciones mineras de Salamanca es del 93,5 %, no siendo superior puesto que el material que se utiliza en la carga y transporte del mineral y el combustible empleado es de importación. La planta (9) de tratamiento del mineral de Don Benito utiliza el sistema de «resina en pulpa», procedimiento aplicable a minerales muy arcillosos, tecnología que ha sido desarrollada por la JEN y que permite que el nivel de participación nacional en el proyecto sea similar al del PENS.

El proyecto FUESA tiene como objetivo la recuperación del uranio, contenido en el ácido fosfórico, producido en la fábrica que FOSFORICO ESPAÑOL, S. A. tiene instalada en el polo de desarrollo de Huelva, en la cual la JEN ha desarrollado y probado, a nivel de planta piloto, la correspondiente tecnología, en la cual se confía cuando se aplique a nivel industrial. La aplicación industrial de esta tecnología, totalmente nacional, será de gran interés no sólo

T II

CALENDARIO DE PUESTA EN MARCHA DE LOS REACTORES NUCLEARES ESPAÑOLES ENTRE 1980-1990

Reactor	Año puesta en marcha	Potencia unitaria Mwe	Potencia acumulada Mwe
Primera generación (*)	—	—	1.120
Almaraz I	1980	930	2.050
Almaraz II	1982	930	2.980
Ascó I	1983	930	3.910
Cofrentes	1984	975	4.885
Ascó II	1985	930	5.815
X (**)	1988	1.000	6.815
Y (**)	1989	1.000	7.815
Valdecaballeros I	1990	975	8.780

(*) Son los reactores José Cabrera, 160 Mwe. de potencia; Santa María de Garoña, de 460 Mwe., y Vandellós, de 500 Mwe.

(**) Los reactores X e Y pueden ser Vandellós II o Trillo I indistintamente.

Fuente: Elaboración propia con datos del PEN 83 y consultas a las empresas eléctricas propietarias de las centrales.

pensando en los beneficios que en sí mismo presenta el proyecto, sino también atendiendo a las posibilidades de exportación y aplicación en otros lugares del mundo (América del Sur, Marruecos, etc.), con las consiguientes ventajas económicas y de garantía de abastecimiento que ello representaría, así como el aprovechamiento de una materia prima energética que, en caso de no ser recuperada del ácido fosfórico, se perdería definitivamente, con los consiguientes costos sociales que ello representa (10).

El nivel de participación nacional en el uranio obtenido será del 97,4 %, no siendo del 100 % por la necesidad de importar algunos equipos, y superior al PENS por no tener operaciones mineras de carga y transporte. El incremento de la producción de concentrado de uranio por este procedimiento está limitado por la capacidad de la planta de fosfatos asociada.

La participación nacional en la producción de concentrados de uranio en España es del 93,8 %, cifra que resulta de ponderar la producción de las explotaciones mineras de Salamanca por su participación nacional, que es del 93,4 %, la producción del proyecto FUESA por el suyo, 97,4 %, y la de Don Benito, con una participación similar al PENS. Multiplicando la participación nacional en la producción por la cobertura de la demanda con producciones españolas, que es para el período estudiado del 47 %, se obtiene el grado total de participación nacional en la satisfacción de la demanda española, que es del 44 %, nivel más que aceptable si se tiene en cuenta que se trata de una materia prima energética no renovable.

Con la finalidad de garantizar la cobertura de las necesidades españolas de concentrados de uranio, dada la insuficiencia de la producción nacional para cubrirlo en su totalidad y la conveniencia de diversificar las posibles fuentes de abastecimiento, España decidió participar a través de ENUSA en un proyecto de explotación minera en la República del Níger. El Consejo de Ministros, en su reunión del 7 de junio de 1974, aprobó la participación de ENUSA en un 10 % del capital de la Compagnie Minière d'Akouta (Cominak), cuyo objeto es la explotación de yacimientos uraníferos en la región de Akouta (República de Níger). Su producción actual es de 2.350 tm. de U_3O_8 al año, de las cuales ENUSA tiene derecho a adquirir un 15 % de la misma, es decir, 350 tm. de U_3O_8 al año. Con esta cifra se alcanzará un nivel de cobertura con intención nacional de las necesidades españolas de concentrados de uranio del 71,3 %.

CONVERSION A UF_6 Y ENRIQUECIMIENTO

La demanda de servicios de conversión depende estrechamente de las necesidades de enriquecimiento y de la estrategia elegida para el proceso de separación isotópica. La capacidad nominal instalada en el mundo occidental es de 48.790 tm. de uranio, lo que re-

presenta una capacidad real de 41.480 tm., muy superior a la demanda futura prevista, que en ningún caso superará las 35.000 tm. de uranio al año antes del próximo siglo.

Actualmente no se realiza en España el proceso de conversión, y dadas las peculiares características de esta etapa del ciclo, es poco probable la instalación de una planta de este tipo en territorio nacional, al menos en los próximos quince años. En primer lugar, no resulta rentable a menos que su producción esté por encima del umbral mínimo de las 3.000 tm/año de uranio, y con el actual programa de reactores en ningún caso se superan las 1.400 tm. de uranio, de necesidades de conversión por año, mientras que la exportación resultaría muy difícil por el exceso mundial de oferta. En segundo lugar, es una operación que aporta poco valor añadido al combustible. Y, en tercer lugar, el abastecimiento está garantizado como consecuencia del exceso mundial de capacidad de servicios de conversión. Asimismo al no participar directamente en el capital de alguna planta extranjera, el grado de intervención nacional en el proceso es cero. El abastecimiento de las necesidades españolas de servicios de conversión están garantizadas en el período estudiado en virtud de los contratos que ENUSA tiene firmados con los siguientes suministradores:

- British Nuclear Fuels (BNFL), Inglaterra.
- Eldorado Nuclear Limited, Canadá.
- Comurhex, Francia.

Como se puede ver, la filosofía de ENUSA ha sido diversificar la nacionalidad de los proveedores con el fin de garantizar en todo momento el suministro. Sólo en caso de la instalación en España de una planta de enriquecimiento, cuyo proceso necesitara de una conversión a gas previa, se justificaría la construcción de una planta de conversión, cuyo coste en condiciones económicas de 1983 y para una capacidad de 3.000 tm. sería de unos 65 millones de \$ USA. La única finalidad de este proyecto sería estratégica, ya que representaría la cobertura con producción nacional de todas las fases de la primera parte del ciclo del combustible nuclear.

La totalidad de las centrales nucleares españolas, tanto en fase de explotación comercial como de construcción, con la excepción de Vandellós I, emplean como combustible uranio ligeramente enriquecido.

Actualmente en España no existe producción de servicios de enriquecimiento, ni siquiera a nivel de instalación piloto, y no se plantea la posibilidad futura de construir alguna planta de este tipo. Las necesidades españolas de trabajos de separación en el período 1980-1990 en ningún caso superan las 1,1 millones de UTS anuales. Aunque como se deduce de lo expuesto el grado de cobertura de la demanda con producción nacional es cero. La participación de ENUSA, con un 11,11 %, en el

capital social de EURODIF permite disponer anualmente de 1,2 millones UTS de la planta por difusión gaseosa que esta sociedad posee en Tricastin (Francia), con lo que el grado de cobertura con intervención nacional alcanza el 100 %. Asimismo ENUSA, con el fin de garantizar los suministros al programa nuclear previsto en el PEN-75, que era de 21,4 GWE en 1985, firmó contratos de suministro a largo plazo con United States Department of Energy (DOE) y con Techsnabexport de la URSS, con lo que el problema que presenta esta etapa del ciclo en España es de exceso de Unidades de Trabajo de Separación, teniendo en cuenta además que para darlas un soporte material es preciso tener la oportuna cantidad de concentrados. En una palabra, hay que almacenar UF_6 enriquecido, con las consiguientes cargas financieras que ello conlleva. Por tanto, la política actual de la Empresa Nacional de Uranio, S. A., es tratar de renegociar y reducir estos contratos, objetivo que se está consiguiendo en gran medida.

Consecuencia de todo lo expuesto en este apartado, tanto por parte de la demanda como por la garantía de los suministros, parece muy poco probable que España pensara en la construcción de una planta nacional de enriquecimiento antes del año 2010, para lo cual se podría utilizar la técnica de la centrifugación, la de tobera o alguna de las nuevas (química, láser, etc.), pero en ningún caso, tanto por su capacidad económica mínima como por su alto consumo de energía, la técnica de difusión gaseosa.

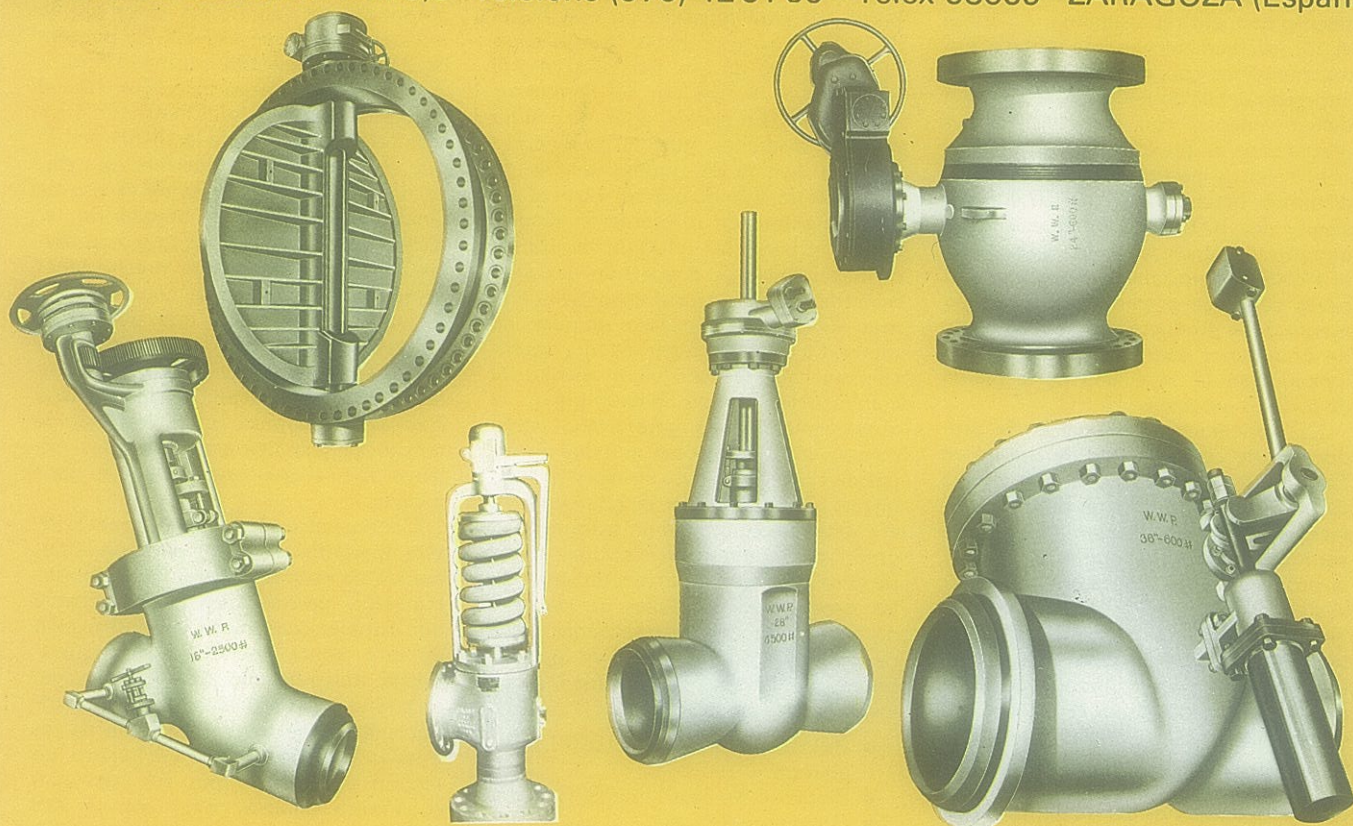
DISEÑO Y FABRICACION DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES

La Junta de Energía Nuclear instaló en 1974 una planta piloto para la fabricación de UO_2 , con el propósito de desarrollar una tecnología propia que pudiera servir de base para un proceso de explotación comercial. Asimismo desde la década de los sesenta la JEN está investigando en temas de diseño con el fin de mejorar las características de trabajo de los elementos combustibles y en el perfeccionamiento de las técnicas de garantía de calidad.

Entre los fines que se asignaron a la Empresa Nacional del Uranio en el Decreto 3322/1971, de 23 de diciembre, figura el de la fabricación de elementos combustibles para los reactores nucleares. El Plan Energético Nacional 1978-1987 confirmó este objetivo de ENUSA, y en el Real Decreto 2967/1979, de 7 de diciembre, sobre Ordenación de Actividades en el Ciclo del Combustible Nuclear, se establece que ENUSA deberá acometer y desarrollar la fabricación de los elementos combustibles nucleares necesarios para el abastecimiento de los reactores españoles, a cuyo efecto habrá de suscribir los oportunos contratos específicos con las sociedades propietarias de los reactores.

WALTHON WEIR PACIFIC S.A.

Carretera de Castellón. km. 5,6 Teléfono (976) 42 51 00 - Télex 58059 ZARAGOZA (España)



UN LIDER MUNDIAL EN VALVULAS



Debido a que la JEN no había desarrollado suficientemente la tecnología de diseño y fabricación de elementos combustibles para reactores de agua ligera, ENUSA contrató licencias de tecnología y asistencia técnica con Westinghouse Electric Corporation y con General Electric Company, que tienen vigencia hasta 1994, año a partir del cual se espera emplear tecnología española desarrollada por la JEN. En base a estos contratos y a los entrenamientos efectuados por su personal en Estados Unidos, ENUSA comenzó sus actividades industriales de ingeniería del combustible en 1978. En diciembre de 1980 se le concedió la autorización de construcción para la instalación en el término municipal de Juzbado (Salamanca) de una fábrica de elementos combustibles de óxido de uranio, que entrará en explotación comercial en los primeros meses de 1985, con una capacidad inicial de 200 tm/año. La participación nacional en el proceso de diseño y fabricación de los elementos combustibles es del 53,9 %, debido principalmente al bajo grado de participación en el coste del material, que se importa en su mayoría.

El grado de cobertura con producción nacional es del 97,2 %, no siendo total como consecuencia del peso que tiene la fabricación de los elementos en los primeros cuatro años del período, en los cuales no se producían en España. A partir de la puesta en marcha de la fábrica de Juzbado la cobertura con producción nacional será total, pues aunque aumente la demanda, la planta tiene posibilidades de ser ampliada hasta las 500 tm. de uranio/año. Ponderando la cobertura con la participación en el proceso resulta un grado total de participación nacional en esta etapa del 52,4 %.

TRATAMIENTO DEL COMBUSTIBLE IRRADIADO

Con la descarga del combustible irradiado del núcleo del reactor se inicia la segunda parte del ciclo del combustible nuclear para la que existen básicamente dos estrategias: «su reelaboración», entendiendo por tal el tratamiento de los combustibles para separar los elementos fisionables que pueden ser reutilizados en el reactor, de los productos de fisión y transuránicos, y la de «no reelaboración». Este es el punto más sensible y controvertido tanto a nivel técnico-económico como político del ciclo del combustible nuclear. Hay países que han decidido reelaborar y otros que han decidido no reelaborar y acondicionar el combustible irradiado como residuo radiactivo de alta actividad para su depósito definitivo (11).

Con anterioridad a la entrada en operación comercial del primer reactor nuclear español, José Cabrera Zorita, en 1969, la Junta de Energía Nuclear puso en marcha en 1967 una pequeña planta piloto, llamada Planta Caliente M-1, para el estudio y desarrollo de esta eta-

pa del ciclo del combustible nuclear. Las características y tamaño de la planta permitieron el tratamiento de los primeros combustibles irradiados producidos en España procedentes del reactor de investigación JEN-1. En esta operación se recuperó el primer plutonio producido en España.

Hasta 1980 la gestión del combustible irradiado procedente de los reactores españoles en funcionamiento estaba basada en la contratación de servicios de reelaboración con entidades extranjeras. Los combustibles de las centrales nucleares de agua ligera de Zorita (PWR) y de Garoña (BWR) eran enviadas regularmente a Inglaterra para ser reprocesadas en BNFL, pero en ese año la capacidad contratada fue cubierta, y dada la escasez de oferta de servicios de reelaboración fue imposible contratar nuevas posibilidades; los combustibles de la central nuclear de Vandellós I (tipo grafito-gas) se enviaban a Gogema (Francia), pero desde 1981, por haber agotado también el cupo, no se pueden reprocesar. Por tanto, dada la inviabilidad de contratar servicios de reprocesado a medio plazo en el exterior, será necesario almacenar en combustible irradiado. Ante tal incertidumbre respecto a la gestión del combustible irradiado, las centrales nucleares españolas, tanto en operación como en construcción, se han visto obligadas a aumentar su capacidad de almacenamiento propio, situándola en torno a ocho años, tiempo previsto actualmente en nuestro país para la permanencia del combustible irradiado en las piscinas de las centrales. La participación nacional en esta fase del ciclo es del 100 %. El consejo de Ministros de 4 de julio de 1984 autorizó la creación de la Empresa Nacional de Residuos, S. A. (ENRESA), con la finalidad de garantizar la gestión del combustible irradiado mediante la financiación que se obtiene de una «cuota porcentual aplicada sobre la recaudación para venta de energía eléctrica, equivalente al importe que se haya repercutido en las tarifas eléctricas de los costes de los trabajos correspondientes a la segunda parte del combustible nuclear, almacenamiento en seco, reprocesamiento y almacenamiento definitivo de residuos» (13).

Esta empresa se encargará del almacenamiento centralizado mediante contenedores de función nuclear para transporte y almacenamiento de combustible irradiado que están siendo desarrolladas íntegramente en nuestro país. Es el denominado proyecto CEN-TAURO, que está siendo diseñado, calculado y fabricado en su totalidad por empresas españolas [Equipos Nucleares, S. A. (ENSA), ENUSA y la JEN] y en un futuro próximo se traspasará la mayor parte del proyecto a ENRESA. Respecto a la fase de reelaboración hay gran incertidumbre en cuanto a si se realizará en nuestro país o si se contratará en el extranjero en caso de aumentar la oferta de estos servicios de reprocesado a nivel mundial a largo plazo.

Por ello en este trabajo se toman dos hipótesis, una que corresponde al primer caso y en la cual se estima que aunque se realice dentro de nuestro país la participación nacional no supere el 35 % y otra que considera que se realizará en el extranjero.

En España hoy en día no se producen residuos radiactivos de alta actividad al no reelaborarse el combustible irradiado, etapa que en caso de que se realizara en nuestro país no lo sería antes del año 2010. Para esta época se prevé la posibilidad de instalar en España una planta de tratamiento de residuos de alta actividad. En la actualidad en España se tratan y almacenan los residuos de baja y media actividad con tecnología desarrollada por la Junta de Energía Nuclear y su almacenamiento se realiza en la mina de El Cabril (Córdoba) con las normas de seguridad establecidas por la OIEA. Es decir, el nivel de participación nacional es del 100 %. No obstante, será necesario seguir invirtiendo en la investigación de posibles soluciones para la gestión de los residuos radiactivos con la finalidad de tratar de minimizar sus costes sociales. La financiación de estas experiencias debe de correr a cargo de los beneficiarios directos de la producción de energía eléctrica por procedimientos termonucleares.

El grado total de participación nacional en el ciclo del combustible nuclear se obtiene de ponderar el peso de cada una de las etapas por el grado de nacionalización en cada una de ellas. En este análisis se consideran dos hipótesis para la demanda establecida. En primer lugar se estima que el reprocesado se contrata en el extranjero y en el segundo caso se considera una participación nacional en una planta española de reprocesado de un 35 %. En la tabla III se detalla tanto el grado de participación nacional para cada uno de los procesos como la repercusión de cada una de las etapas en el ciclo del combustible. Considerando que el reprocesado se realiza en el extranjero, el grado total de participación nacional en el ciclo del combustible nuclear es de un 29,35 %. Si se considera una participación nacional del 35 % en la etapa de reprocesado, el grado total de participación nacional alcanzará el 37,85 %.

INVERSION

En el año 1963 se promulga la Ley sobre energía nuclear, en la que se estudia la construcción de las primeras centrales termonucleares en España, las cuales entran en operación comercial entre 1969 y 1972 (14), constituyendo la denominada primera generación de reactores nucleares españoles, con una potencia conjunta de 1.120 MWE. El nivel de participación nacional en la construcción de estas primeras centrales fue del orden del 40-45 % (15), porcentaje que, aunque bajo, se pudo alcanzar debido únicamente a la participación nacional en la obra civil y en el montaje, puesto que en los bienes de equipo sola-

T III

PARTICIPACION NACIONAL EN EL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR EN ESPAÑA

	Participación nacional (porcentaje)	Peso de la etapa en el ciclo (porcentaje)
Exploración	100	0,67
Minería	44	17,98
Conversión	0	1,34
Enriquecimiento	0	27,26
Fabricación	52,4	11,61
Transp.+Seg.+Otros F. E.	24,9	2,93
Almacén en central	100,0	1,06
Almacén centralizado	100,0	7,32
Reprocesado	0,35	22,36
Evac. def. residuos	100,0	5,49
Transp.+Seg.+Otros B.e.	38,3	1,98

Nota.—La participación nacional en el transporte, seguros y otros es la media ponderada para el «Fron-end y Back-end» del resto de los procesos.
Fuente: Elaboración propia.

mente se alcanzó el 25 %, es decir, se trataba de centrales prácticamente «llave en mano».

A raíz de la puesta en servicio de estos grupos y ante la necesidad creciente de energía, entre octubre de 1971 y noviembre de 1972 se conceden las autorizaciones previas para la construcción de siete nuevos grupos de gran tamaño que representarían una potencia nuclear adicional de 6.555 MWE., son las denominadas centrales nucleares de la segunda generación (16). Con el fin de aumentar la presencia nacional en el campo de la construcción y equipamiento de estas centrales, en julio de 1973 se crea la empresa Equipos Nucleares, S. A. (ENSA), se incentiva a las empresas españolas de ingeniería y bienes de equipo y se impulsa la investigación en el seno de la JEN. Como resultado de todo ello, el nivel de participación nacional en estas centrales, que entraron recientemente en aparición o que están a punto de hacerlo, con excepción de Lemóniz I y II, ha alcanzado el 65-70 % (17), siendo especialmente sig-

nificativo la participación en el equipamiento, que, según se puede ver en la tabla IV, ha alcanzado una media entre el 45-55 %, mientras que en el caso de la obra civil y servicios se ha alcanzado el 93-96 %.

A raíz de la guerra del Yom Kippur, de octubre de 1973, los precios del petróleo se multiplican prácticamente por cuatro, lo que puso rápidamente de manifiesto la vulnerabilidad del sector energético español y la necesidad de reducir la dependencia del petróleo. Con este fin en enero de 1975 fue aprobado el primer Plan Energético Nacional a largo plazo (PEN-75), en el cual se preveía para 1985 un parque de 27 reactores nucleares con una potencia conjunta de 23,8 GWE (18). En este contexto entre septiembre de 1975 y septiembre de 1976 se concede la autorización previa para la construcción de las centrales nucleares españolas de la tercera generación (19). Para la obtención de esta autorización fue necesario acordar «a priori» entre las empresas eléctricas propietarias de los grupos y la Administra-

ción Pública el grado de nacionalización de las centrales, con el fin de garantizar unos mínimos. Para estas centrales se establecía que Equipos Nucleares, S. A., abarcaría la fabricación de la vasija del reactor con sus partes internas, generador de vapor, presionador y las tuberías del circuito primario. Con la cual se podía alcanzar un nivel de participación nacional en los bienes de equipo del orden del 70-78 %, lo que significaría un grado de nacionalización en estas centrales de la tercera generación del 80-86 % (ver tabla IV). Cota que «parece muy difícil de superar, puesto que en gran medida viene condicionada por la necesidad de poder obtener en el mercado español bienes semielaborados intermedios, cuya fabricación no justifica por razón de escala» (20).

El aumento del nivel de participación nacional en la construcción de centrales nucleares se ha duplicado entre las de la primera generación y las de la tercera, siendo especialmente significativo el grado de nacionalización en los bienes de equipo, que ha pasado del 25 % al 75 % aproximadamente, lo que ha significado un gran impulso para el sector español de bienes de equipo nucleares, que ha demostrado un gran dinamismo a lo largo de la crisis, que incluso les ha permitido participar en proyectos en el exterior. El denominado «parón nuclear», establecido en el Plan Energético 1983-92 (21), puede significar el desmantelamiento de toda una infraestructura de tecnología punta y la desaparición de numerosas empresas de bienes de equipo y de ingeniería.

PARTICIPACION NACIONAL EN LA ENERGIA DE ORIGEN NUCLEAR

El nivel de participación nacional en el kWh. de origen nuclear generado en España se obtiene ponderando el peso relativo de inversión, el combustible y el mantenimiento por el grado de participación nacional en cada uno de ellos.

El nivel de participación nacional en la construcción de centrales nucleares de la segunda generación es del orden del 65-70 %, mientras que en el caso de las de la tercera generación este porcentaje alcanza el 85 %. Para el presente estudio se considerará un nivel conservador, correspondiente a reactores de la segunda generación.

El grado de participación nacional en el ciclo del combustible nuclear, suponiendo que el reprocesado se realiza en el extranjero, es del 29,35 %, como ha quedado establecido anteriormente.

Por lo que se refiere a la operación y mantenimiento de las centrales nucleares, se cuenta con la experiencia directa adquirida por el personal que ha intervenido e interviene en la explotación de las centrales de Zorita, Garoña, Vandellós I y Almaraz I. Estas centrales constituyen, además, un lugar idóneo para el

T IV

PARTICIPACION NACIONAL EN LA CONSTRUCCION DE UNA CENTRAL NUCLEAR ESPAÑOLA DE 1.000 Mwe DE POTENCIA

	Porcentaje de cada concepto en coste (porcentaje)	NIVEL DE PARTICIPACION NACIONAL	
		2.ª generación (porcentaje)	3.ª generación (porcentaje)
Sistema nuclear de generación de vapor	16-20	30-35	70-75
Turbina y generador	9-11	30-40	55-60
Equipo mecánico	18-20	70-80	85-90
Equipo eléctrico	6-7	75-85	75-85
Total bienes de equipo	49-60	45-55	70-78
Obra civil	20-24	100	100
Montaje	8-10	100	100
Ingeniería	8-10	75-80	85-95
Otros servicios	4-7	95	95-100
Total obra civil y servicios	40-51	93-96	96-98
Total central	100	65-70	80-86

Fuente: Elaboración propia con datos de R. Novillo Allones: «La participación española en el equipamiento de las centrales de energía, Información Comercial Española, núm. 561, mayo 1980.

entrenamiento de personal para otras centrales y, de hecho, han contribuido y están contribuyendo eficazmente a este fin. Además cabe destacar que desde 1978 España cuenta con un centro de adiestramiento dotado con dos simuladores de centrales nucleares (TECNA-TOM), donde se imparten cursos de tecnología y de prácticas de operación a técnicos de explotación de centrales de agua ligera, a presión y en ebullición.

En lo referente al mantenimiento, desde 1979 corre a cargo de la empresa Equipos Nucleares, S. A., propiedad del INI. En el seguro de riesgos nucleares existe un consorcio participado en su mayoría por empresas españolas. Asimismo durante los últimos años se han venido aplicando en España las técnicas de garantía y control de calidad nuclear, de forma que actualmente se cuenta con personal cualificado para llevar a cabo el control de calidad y aplicar los criterios de garantía de calidad exigidos por la industria nuclear. El nivel medio de participación nacional en la operación y mantenimiento de las centrales nucleares españolas es del 90 %.

Teniendo en cuenta los valores de la tabla V, se obtiene el nivel mínimo de participación nacional en un kWh. de origen nuclear, que es del 57,97 %; por tanto, se requiere del exterior el 42,03 % del mismo. La repercusión sobre la balanza de pagos por kWh. generado es del orden de 2,1 ptas/kWh. (22).

En caso de depreciarse nuestra moneda en un 20 %, el coste del combustible nuclear aumentaría en un 14,48 %, mientras que el coste total del kWh. se incrementa un 8,49 %.

La incidencia sobre la balanza de pagos española de un reactor nuclear de 1.000 Mwe., con una operación de 6.000 h/año, es de unos 12.850 millones de pesetas anuales. Esta cifra disminuiría si se tratase de reactores de la tercera generación.

COMPARACION CON OTRAS FUENTES ENERGETICAS NO RENOVABLES EMPLEADAS EN ESPAÑA

El cálculo del grado de nacionalización de la energía eléctrica generada por las diversas materias primas energéticas no renovables empleadas actualmente en España se ha realizado siguiendo la misma metodología de análisis que para el caso de la energía nuclear. Únicamente que, dada su inviabilidad técnica, en lugar de un grupo de 1.000 Mwe. se han utilizado dos grupos tipo de 500 Mwe. de potencia unitaria.

La participación de cada uno de los conceptos de coste, tanto la repercusión de los costes fijos —es decir, de la inversión— como de las variables, combustible, operación y mantenimiento se muestran en la tabla VI.

Ponderando el grado de participación nacional en cada uno de los conceptos por la incidencia de cada uno de ellos

TV

	Participación nacional en el proceso (%)	Participación del proceso en el kWh. (%)
Inversión	65	72,13
Combustible	29,35	23,06
Operación y mantenimiento	90	4,81

Fuente: Irazo Martín, Juan E.: *La economía del ciclo del combustible nuclear en España*. Tesis doctoral, Madrid, 1983, pág. 521.

en el coste total se obtiene el grado total de nacionalización de la energía producida. Como se puede apreciar en la tabla VII, la energía eléctrica que mayor grado de nacionalización tiene es la generada por el carbón nacional, un 91 %, seguida de la de origen nuclear, que tiene un nivel mínimo del 58 %, que aumentaría al 68,8 % si se generara por una central nuclear española de la tercera generación. Mientras que el grado de nacionalización de la energía general por fuel-oil es de únicamente el 21 % (23).

La energía que menor repercusión tiene sobre la balanza de pagos española es la generada por carbón nacional, por cada 1.000 Mwe. de potencia, operando anualmente 6.000 horas, es necesario pagar al exterior 22 millones de \$ USA, seguida de la energía de origen nuclear, con unos requerimientos de 92 millones de \$ USA al año (24). En cambio, la generada por fuel-oil necesita 299 millones de \$ USA (ver tabla VII).

Con el fin de reducir la incidencia que tienen sobre la balanza de pagos española las importaciones energéticas tanto de materias primas como de tecnología, una planificación energética coherente debe de utilizar aquellas materias primas que producen una energía con mayor grado de nacionalización, es decir, carbón nacional y uranio. Sustituir una potencia de 1.000 Mwe. de fuel-oil por igual potencia de carbón nacional representa un ahorro de divisas de 277 millones de \$ USA al año. Si esta sustitución se realiza por una central nuclear de la segunda generación, el ahorro será de 207 millones de \$ USA; si se hace por una de la tercera generación, el ahorro anual de divisas será de 265 millones de \$ USA, con la consiguiente mejoría de la situación de nuestra balanza de pagos.

CONCLUSION

La reducción de la vulnerabilidad del sector energético español debe de constituir uno de los principales objetivos de una planificación energética coherente. Para lo cual será necesario emplear aquellas materias primas energéticas que generen energía eléctrica con mayor grado de nacionalización.

El grado mínimo de participación nacional en la energía producida por una central nuclear española de la segunda generación es del 58 %. Este nivel se logra como consecuencia del alto grado de participación nacional —65 %— en su construcción y de la repercusión que tiene la misma en el total del coste. La participación nacional mínima en el combustible nuclear es del 29 %, suponiéndose que el reprocesado se realizará en el extranjero. En caso de que la energía eléctrica sea generada por grupos termonucleares de la tercera generación, el grado total de nacionalización de la misma se elevaría al 69 % como consecuencia principalmente del gran esfuerzo realizado por el sector nacional de bienes de equipo, que ha logrado un nivel de nacionalización en su equipamiento del 70-78 %.

La energía que menor repercusión tiene sobre la balanza de pagos española es la generada por carbón nacional, seguida de la energía de origen nuclear. Sustituir una potencia de 1.000 Mwe. de fuel-oil por la misma de carbón nacional representa un ahorro de divisas de unos 277 millones de \$ USA al año. Si esta sustitución se realiza por una central nuclear de la segunda generación, el ahorro será de 207 millones de \$ USA, y si lo fuera por una de la tercera generación, el ahorro anual de divisas alcanzaría los 265 millones de \$ USA.

TVI

PARTICIPACION DE LOS DIFERENTES CONCEPTOS (EN %)

	Inversión	Combustible	Operac. y mantenimiento	Total
Carbón nacional	36,59	59,07	4,34	100
Carbón importado	33,36	62,43	4,21	100
Fuel-oil	17,27	79,98	2,75	100
Gas natural	15,35	82,20	2,45	100

Fuente: Irazo Martín, Juan E.: *La economía del ciclo del combustible nuclear en España*. Tesis doctoral, Madrid, 1983, pág. 52.

T VII

PARTICIPACION NACIONAL EN LA ENERGIA GENERADA

	Inversión	Combustible	Operac. y manten.	Total energ. gener.	Repos. balanza pago (*)
Nuclear	65 % (1)	29 % (2)	90 %	58 %	92 M \$ USA
Carbón nacional	85 %	95 %	90 %	91 %	22 M \$ USA
Carbón importado	85 %	10 %	90 %	38 %	154 M \$ USA
Fuel-oil	85 %	5 %	90 %	21 %	299 M \$ USA
Gas natural	85 %	5 %	90 %	19 %	307 M \$ USA

(1) Se ha considerado una central española de la segunda generación; si hubiera sido de la tercera el nivel de participación sería del 80 %.

(2) Se ha considerado que el reprocesado del combustible irradiado se realiza fuera de España.

(*) Es la repercusión que tiene sobre las importaciones de la balanza comercial la operación anual de una central nuclear de 1.000 Mwe o de dos de 500 Mwe para el resto de las materias primas energéticas.

Nota: Todos los cálculos se han realizado en condiciones económicas de 1983.

Fuente: Irazo Martín, Juan E.: «El sector energético español: realidades y posibilidades», *Papeles de Economía Española*, núm. 21, Madrid, 1984.

Por tanto, con el fin de reducir la incidencia que tienen sobre nuestra balanza de pagos las importaciones energéticas, tanto de materias primas como de tecnología, será necesario que la planificación energética española tenga en cuenta el carbón nacional y el uranio.

NOTAS

- (1) En 1973 el petróleo satisfacía el 66,7 % del balance energético nacional.
- (2) La segunda crisis del petróleo se produjo en 1979 como consecuencia de la revolución iraní.

- (3) Ministerio de Industria y Energía: *Plan Energético Nacional, 1983/1992*.
- (4) Se considera el período X al primer año de inserción del combustible fresco en el núcleo.
- (5) Es la capacidad media de almacenamiento de combustible irradiado en las piscinas de las centrales nucleares españolas.
- (6) La Junta de Energía Nuclear ha sido la principal institución española encargada del desarrollo de los procesos del ciclo del combustible nuclear. A nivel de planta piloto ha logrado cubrir todas las etapas, excepto la de enriquecimiento.
- (7) La Empresa Nacional del Uranio, S. A., fue creada en abril de 1972 con el fin de garantizar el abastecimiento de combustible al futuro parque nuclear español.
- (8) Ministerio de Industria y Energía: *Plan Energético Nacional, 1983/1992*.

- (9) Plan «Lobo G».
- (10) Costes sociales derivados tanto de despreciar materia prima energética no renovable como de utilizar fosfatos con contenido de uranio.
- (11) Ver Uriarte Hueda, A.: *Reelaboración, manipulación y reciclado del plutonio*, «Energía Nuclear», núm. 1980.
- (12) «BOE» de 27 de agosto de 1984.
- (13) «BOE» de 18 de mayo de 1983, pág. 13840.
- (14) Estos grupos son José Cabrera Zorita, de 160 Mwe.; Santa María de Garoña, con 460 Mwe., y Vandellós I, con 500 Mwe.
- (15) Ver García Alonso, José María: *La energía en España*, Servicio publicaciones del Banco Atlántico, Madrid, 1981, Cap. 1.
- (16) Estas centrales son: Almaraz I y II, Lemóniz I y II, Ascó I y II, con una potencia unitaria de 930 Mwe, y Cofrentes, con 975 Mwe.
- (17) Ver Novillos Allones, R.: «Participación española en el equipamiento de centrales de energía», *Información Comercial Española*, número 561, mayo 1980.
- (18) Ver Irazo Martín, Juan E.: «El sector energético español: realidades y posibilidades», *Papeles de Economía Española*, núm. 21, Madrid, 1984.
- (19) Estas centrales eran: Valdecaballeros I y II, con una potencia unitaria de 975 Mwe; Trillo I y II, de 1.032 Mwe cada una; Vandellós II y III, de 950 Mwe cada una; Sayago, 1.030 Mwe, y Regodola, 930 Mwe.
- (20) Novillos Allones, R.: «La participación española en el equipamiento de las centrales de energía», *Información Comercial Española*, núm. 561, mayo 1980, pág. 98.
- (21) Ver Ministerio de Industria y Energía: *Plan Energético Nacional, 1983/1992*. Borrador presentado al Congreso de los Diputados, Enerpress, Madrid, 1984, At., págs. 108-115.
- (22) Ver Irazo Martín, Juan E.: *La economía del ciclo del combustible nuclear en España*. Tesis doctoral, Madrid, 1983.
- (23) Ver Irazo Martín, Juan E.: «El sector energético español: realidades y posibilidades», *Papeles de Economía Española*, núm. 2, Madrid, 1984.
- (24) *Ibidem*.

(viene de la pág. 22)

Si bien el análisis aproximado de coste-beneficio descrito en este trabajo es conceptualmente similar al empleado clásicamente en un contexto puramente económico, el método difiere en cuanto a su procedimiento. Ello se debe a que los beneficios y costes a evaluar no pueden ser valorados económicamente por el solicitante. La naturaleza de muchos de los beneficios y costes no cuantificables hace virtualmente imposible efectuar una tasación concreta de la relación coste-beneficio en términos cuantitativos clásicos. Aunque no resulta claramente factible en este caso una valoración numérica de los beneficios y los costes, el solicitante deberá valorar los factores sobre unas bases de juicio que resulten coherentes con el concepto fundamental de un análisis costo-beneficio.

Al presentar el análisis costo-beneficio, el solicitante deberá considerar los costos ambientales derivados de la generación y los de otros costos citados. Ambos factores se deberán resumir en forma tabular.

Finalmente hay que señalar que es conveniente desarrollar programas educativos y de divulgación y un centro de acogida para los visitantes de la central.

Esto es necesario porque a pesar de que se ha probado que la seguridad de estas industrias, hasta la fecha es prácticamente total, y que se trata de la alter-

nativa de generación de energía eléctrica más limpia y más sana desde el punto de vista ambiental, existe todavía una falta de información muy grande en la población.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIAS

- ESTEVAN BOLEA, M. T., *Evaluación del impacto ambiental*, Editorial Mapfre, Madrid, 1984.
- ESTEVAN BOLEA, M. T., *Las evaluaciones del impacto ambiental*, cuadernos CIFCA, núm. 3, Madrid, 1977.
- ESTEVAN BOLEA, M. T., *Impacto ambiental de centrales nucleares*, cuaderno CIFCA, núm. 6, Madrid, 1978.
- ORTEGA, J.; ESTEVAN, M. T., y COLINO, A., *Análisis sobre costos de producción eléctrica con carbón y nuclear*, Fundación Joaquín Costa, Madrid, 1984.
- The environmental Impact Statement Process, Office of Federal Activities, U. S., Environmental Protection Agency, Washington, 1976.
- USNCR, *Guía Reguladora 4.2. Revisión 2*, referente a la preparación de informes ambientales sobre centrales nucleares.

USNCR, 10 CRF Part 50, Apéndice I.

USNCR, *Guía Reguladora 1.112*, sobre cálculo de la emisión de sustancias radiactivas en efluentes gaseosos y líquidos, procedentes de reactores enfriados por agua ligera.

USNCR, *Guía Reguladora 1.111*, métodos para estimar el transporte atmosférico y dispersión de efluentes gaseosos en liberaciones rutinarias para los reactores de agua ligera.

USNCR, *Guía Reguladora 1.113*. OCDE, Agencia para la Energía Nuclear, *Les coûts de production de l'énergie électrique dans les Centrales Nucléaires et dans les Centrales au Charbon*, París, 1983.

DEPARTMENT OF ENERGY, *A review of the economics of coal and nuclear Power*, Washington, 1981.

GAINES, BERRY Y LONG, *The total social cost of coal and nuclear Power (Tosca)*, Ballinger Publishing Co., Cambridge, Massachusetts, 1979.

G. MOYNET, Informe Unipede, *Coûts de production de l'énergie électrique*, Bruselas, 1982.

FORUM ATOMICO ESPAÑOL, *Dossier Nuclear*, Madrid.