



# EL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR





**Existen reservas suficientes de uranio que se multiplicarían si se adoptase el reprocesamiento del combustible gastado y se optase por el uso del torio como nuevo combustible.**

**El reprocesamiento del combustible nuclear con la obtención del plutonio desencadena el riesgo de la proliferación nuclear pero también posibilita un mejor uso energético.**

**España ha adoptado de momento el ciclo abierto de combustible.**

118

## ¿QUÉ ES EL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR?

**S**e conoce como Ciclo del Combustible Nuclear al conjunto de operaciones necesarias para la fabricación del combustible destinado a las centrales nucleares, así como al tratamiento del combustible gastado producido por la operación de las mismas. El ciclo abarca, por consiguiente, el proceso de la salida del mineral de la “mina” para la fabricación del combustible y su devolución en forma transformada, ya utilizado, a la mina o almacén subterráneo.

Se definen dos tipos de ciclo: ciclo abierto y ciclo cerrado.

Si el combustible irradiado no se reelabora es considerado en su totalidad como residuo radiactivo, lo que se denomina ciclo abierto, con lo que no se completa el denominado ciclo del combustible nuclear.

En el caso del uranio, el ciclo cerrado incluye la minería, la producción de concentrados de uranio, el enriquecimiento (si procede), la fabricación de los elementos combustibles, su empleo en el reactor y la reelabora-

ción de los elementos combustibles irradiados, para recuperar el uranio remanente y el plutonio producido, separando ambos de los residuos radiactivos de alta actividad que hay que evacuar definitivamente.

119

## ¿CUÁLES SON LAS RESERVAS DE URANIO EN EL MUNDO?

**A**ctualmente, se estiman unas reservas mundiales de uranio razonablemente aseguradas según costes ( $< 80$  \$/kg U) de 2.643.343 toneladas de uranio metal, que están desigualmente distribuidas desde el punto de vista geográfico. El 27% se encuentran en Australia, el 14% en Kazajstán, el 13% en Canadá y el 7% en Sudáfrica. En Europa, solamente están localizadas el 1,2% de las reservas totales mundiales.

España, con unas reservas de uranio evaluadas en 4.650 toneladas de  $U_3O_8$  a costes de explotación inferiores a 80 \$/kg U y 12.160 toneladas a costes comprendidos entre 80 y 130 \$/kg U, representa el segundo país europeo en importancia, detrás de Francia. No obstante, las reservas de uranio españolas no son rentables en las condiciones económicas y técnicas actuales.



### RESERVAS, PRODUCCIÓN Y NECESIDADES DE URANIO

	$\leq 40\$/kg\ U$	$\leq 80\$/kg\ U$	$\leq 130\$/kg\ U$	
Reservas RAR (tU)	1.947.383	2.643.343	3.296.683	
Resto Reservas 1: Probables	798.997	1.161.038	1.446.164	
Resto Reservas 2: Hipotéticas 23% + Especulativas 77%	—	1.700.000	7.535.900	
<b>Total Reservas</b>	<b>2.746.380</b>	<b>5.504.381</b>	<b>12.278.747</b>	
<i>Capacidad Teórica de Producción</i>				
<i>(tU/año a <math>\leq 80\\$/kg\ U</math>)</i>	2010	2015	2020	2025
Centros existentes y contratados	68.605	65.640	64.675	64.680
Centros existentes y contratados y expectativas	83.370	86.300	85.260	86.900
<i>Estimación de necesidades de uranio</i>				
<i>(tU/año)</i>	2010	2015	2020	2025
Escenario bajo consumo	69.910	74.685	74.485	82.275
Escenario alto consumo	74.130	83.375	87.340	100.760

Fuente: NEA, libro rojo Uranio 2006.

### UBICACIÓN DE RESERVAS DE URANIO

<i>Ubicación Reservas Uranio</i>	<i>2,64 MtU a <math>\leq 80\\$/kg</math></i>
Australia	27%
Kazajstán	14%
Canadá	13%
Níger	7%
Sudáfrica	7%
Namibia	6%
Brasil	6%
Rusia	5%
EE.UU.	4%

Fuente: NEA, libro rojo Uranio 2006.

120

## ¿CUÁL ES LA PRODUCCIÓN DE CONCENTRADOS EN EL MUNDO Y EN ESPAÑA?

La producción mundial de uranio, en 2005, se situó en 41.595 tU, lo que representa un aumento del 16,3% respecto a la del año anterior. Canadá es el primer productor mundial con el 28% del total de la producción. En segundo lugar se sitúa Australia con un 22,8%, seguida de Kazajstán con el 10,5%.

### PRODUCCIÓN DE CONCENTRADOS (tU)

Países	1985	1990	1995	2000	2005
Australia	3.252	3.519	3.700	7.579	9.519
Canadá	10.880	8.729	10.473	10.683	11.628
EE.UU.	4.352	3.420	2.324	1.522	1.039
Francia	3.189	2.841	1.016	296	7
Kazajstán	—	—	1.630	1.870	4.357
Namibia	3.400	3.211	2.016	2.715	3.147
Níger	3.181	2.839	2.974	2.914	3.093
Rusia	—	—	2.160	2.760	3.431
Sudáfrica	4.880	2.460	1.421	798	674
Uzbekistán	—	—	1.644	2.028	2.300
Otros	26.867	22.794	3.329	2.335	2.400
<b>Total</b>	<b>60.202</b>	<b>50.026</b>	<b>32.942</b>	<b>35.755</b>	<b>41.595</b>

*Ref.: Forty Years of Uranium; Resources, Production and Demand in Perspective (The Red Book Retrospective).*

España, desde que inició estas actividades y hasta final de 1998, ha producido, a partir de las minas de uranio que posee ENUSA en Ciudad Rodrigo (Salamanca) y de las que tuvo en explotación en Don Benito (Badajoz), un total de 5.236 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, lo que ha supuesto el 25% de las necesidades totales de concentrados del Parque Nuclear español. En la actualidad las citadas minas de Ciudad Rodrigo están cerradas.

121

## ¿CÓMO CUBRE ESPAÑA SUS NECESIDADES DE URANIO?

Los reactores nucleares españoles tienen unas necesidades medias anuales de unas 1.800 toneladas de  $U_3O_8$  natural. Estas necesidades se cubren actualmente en un 35% por empresas mineras de Canadá y Australia (Cameco, BHP-P y Río Tinto), otro 35% por mineras africanas (Nufcor, en Sudáfrica; Cominak, en Níger, y Río Tinto, en Namibia) y el 30% restante por la empresa Tenex, de la antigua URSS.

122

## ¿CÓMO CUBRE ESPAÑA SUS NECESIDADES DE URANIO ENRIQUECIDO?

Tradicionalmente los servicios de enriquecimiento se miden en unidades de trabajo de separación (UTS). Dado que las necesidades españolas de servicios de enriquecimiento son inferiores al millón de UTS/año, no resulta rentable el disponer en España de una planta de enriquecimiento, que tiene un umbral mínimo de rentabilidad estimado en 4 millones de UTS/año.

Por ello los servicios de enriquecimiento se garantizan, en parte, mediante la participación del 11,11%, que ENUSA tiene en la planta de difusión gaseosa de EURODIF, situada en Francia.

Siguiendo la política de diversificación de contratos de suministro de uranio enriquecido, los aprovisionamientos de ENUSA, en el área de conversión de uranio natural a  $UF_6$ , se realizan mediante contratos con los principales convertidores mundiales: Converdyn (USA), Cameco (Canadá), BNFL (Reino Unido), Comurhex (Francia) y Tenex (Rusia).

En lo que respecta a los servicios de enriquecimiento, se mantienen contratos con Tenex (Rusia), USEC (USA), Urenco (UE) y Eurodif (Francia). Las necesidades medias anuales de servicios de enriquecimiento son de unas 750.000 UTS.

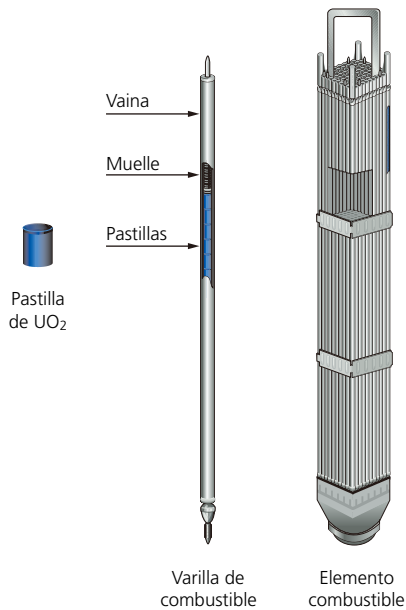
123

## ¿SE FABRICAN ELEMENTOS COMBUSTIBLES EN ESPAÑA?

La demanda española de combustible nuclear se satisface con la producción de la fábrica de elementos combustibles que posee ENUSA en Juzbado (Salamanca). En esta instalación se fabrica combustible para centrales nucleares de los tipos PWR y BWR, así como barras de óxido de gadolinio.

En esta instalación se fabrican, desde 1985, elementos combustibles destinados a las centrales nucleares españolas, tanto para las PWR como para las BWR, así como para centrales de diversos países europeos, tales como Francia, Bélgica, Alemania, Suecia, Suiza y Finlandia. En 2005 produjo 470 elementos combustibles de reactores PWR y 372 de reactores BWR, siendo en ambos casos la mitad de esa producción destinada a la exportación.

### COMPOSICIÓN DE UN ELEMENTO COMBUSTIBLE



124

## ¿SE PUEDEN TRANSPORTAR LIBREMENTE LOS MATERIALES RADIATIVOS?

**E**l transporte de los materiales radiactivos, como el de cualquier sustancia peligrosa, está regulado por reglamentos nacionales e internacionales, con el objeto de someter a un grado razonable de control los riesgos de esta actividad, en lo que puedan afectar a las personas y sus bienes y al medio ambiente, tanto en condiciones normales como accidentales.

En el transporte de los materiales radiactivos deben satisfacerse dos clases de requisitos: unos de garantía de calidad y otros de verificación del cumplimiento de las condiciones del transporte. Los primeros comprenden las medidas adoptadas por el fabricante de los embalajes y cuantas demás condiciones hayan de aplicarse a los bultos transportados. Los segundos incluyen los exámenes, inspecciones y demás medidas destinadas a confirmar que se cumplen las disposiciones establecidas en la reglamentación.

### ENSAYOS DE CONTENEDOR DE TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE GASTADO

- Caída libre desde 9 metros sobre un blanco rígido (plancha de acero o losa de hormigón).
- Caída libre desde 1 metro de altura sobre un punzón de acero.
- Ensayo de fuego donde el embalaje debe soportar 800 °C durante 30 minutos.
- Ensayo de inmersión a 200 metros de profundidad durante 1 hora.

La expresión bulto, empleada anteriormente, es la voz usada en la reglamentación para cada una de las unidades físicas que se envíen en un transporte. Un bulto radiactivo está formado, por lo tanto, por el embalaje y el contenido radiactivo. El término “embalaje” se emplea en sentido amplio y abarca el conjunto completo de elementos que aloja en su interior el contenido radiactivo; por lo tanto, un bulto puede ser algo tan simple como una caja de cartón o un bidón con cemento, o tan complicado como un contenedor para combustibles nucleares irradiados. En to-



dos los casos, el embalaje ha de evitar que el contenido radiactivo salga al exterior, lo que daría lugar a una contaminación. El embalaje, además, ha de ser tal que no impida la evacuación del calor liberado en los procesos radiactivos que tienen lugar en su contenido radiactivo y proporcionar un blindaje adecuado para la actividad de la sustancia transportada. Desde el punto de vista de esta actividad, existen dos categorías de bultos: la categoría A corresponde a aquellos bultos en que se limita la actividad máxima que pueden poseer, de acuerdo con los radionucleidos que contengan y la forma de presentación, y la categoría B, sin limitación alguna.

El transporte de materiales radiactivos es una actividad con una casuística muy compleja, debido a la diversa naturaleza química y actividad con que se pueden presentar los materiales radiactivos. Esta casuística está recogida y analizada con todo detalle en la reglamentación. La mayoría de los países han adoptado como base de su legislación el “Reglamento para el transporte seguro de los materiales radiactivos” publicado por el OIEA. En la última edición de este Reglamento, publicada en 2005, se recoge la experiencia de más de treinta y cinco años en este tema.



125

## EL URANIO ENRIQUECIDO EMPLEADO EN CENTRALES NUCLEARES, ¿SIRVE PARA FABRICAR BOMBAS ATÓMICAS?

No. Tanto en uno como en otro caso se emplea uranio enriquecido, pero el utilizado en las centrales nucleares tiene un grado de enriquecimiento muy bajo, inferior al 5%. Para fabricar una bomba atómica es necesario un uranio muy enriquecido, por encima del 90% lo que hace imposible que el uranio enriquecido con fines energéticos pueda emplearse como explosivo nuclear. Digámoslo así, el combustible nuclear empleado en una central nuclear contiene un uranio 235 demasiado diluido para que pueda emplearse como explosivo.

126

## ¿QUÉ ES EL REPROCESO Y DÓNDE SE REALIZA?

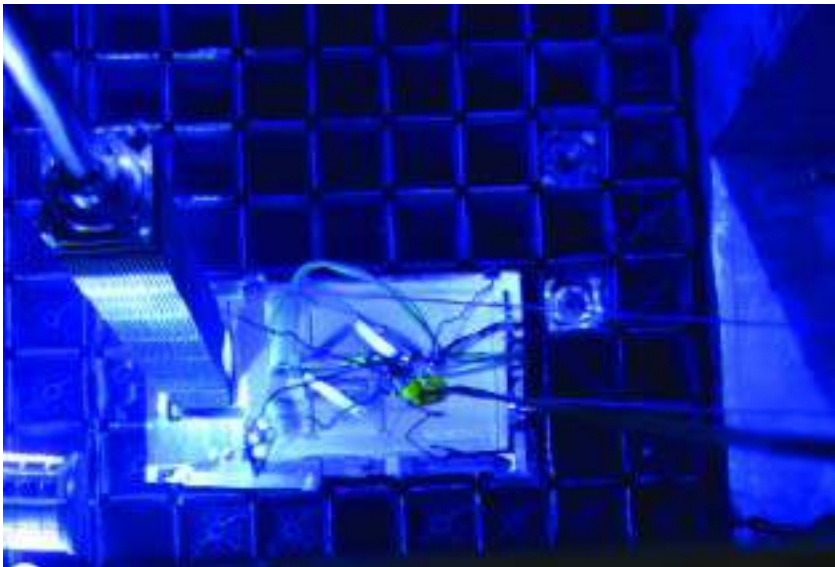
El combustible nuclear produce energía cuando se fisiona en el núcleo del reactor, a la vez que se generan en él productos de fisión y elementos transuránicos de elevada actividad radiológica. En términos generales, cuando se saca del reactor, el combustible nuclear gastado posee una actividad 800 millones de veces mayor que la que tenía al entrar, cuando era solo uranio. Su alta actividad obliga a aislarlo inmediatamente, por lo que se maneja siempre dentro de sistemas con blindaje biológico que atenúe la radiación hasta niveles admisibles por la legislación.

A corto plazo, lo primero que se hace con el combustible gastado es depositarlo en la piscina de almacenamiento de la propia central, a la que llega por un canal de transferencia. En las piscinas el agua que hay por

encima del elemento sirve de blindaje biológico y además elimina el calor que se desprende de todo material con alta actividad.

El combustible gastado, tras unos años de estancia en la piscina de la central, se puede considerar como residuo radiactivo (ciclo abierto), en cuyo caso se ha de proceder a su gestión definitiva en su conjunto, o se considera como un producto del cual se pueden recuperar el uranio y el plutonio que contienen, para su aprovechamiento energético posterior (ciclo cerrado).

El proceso que se lleva a cabo en el segundo caso se denomina reproceso, en el cual, tras separar el uranio y el plutonio no quemados, quedan como residuos los productos de fisión y actínidos no recuperados. El uranio y el plutonio separados se reciclan en las fábricas de combustible como material fisionable, cerrando así el ciclo del combustible nuclear. Los residuos (tras unos años de enfriamiento) son solidificados por vitrificación, encapsulándolos en cilindros de acero inoxidable y constituyendo los únicos residuos de alta radiactividad que se derivan del ciclo del combustible nuclear.



En Francia funciona la planta de reproceso de La Hague, propiedad de COGEMA, con dos unidades capaces de reprocesar 800 toneladas de combustible gastado al año; en el Reino Unido funciona otra planta en Sellafield, propiedad de BNFL, con capacidad análoga. Japón, a su vez, está construyendo otra planta. Tanto COGEMA como BNFL ofrecen servicios de reprocesado a otros países, con la cláusula de retornarles los residuos radiactivos.

Estados Unidos, que había elegido el ciclo abierto, patrocina ahora un esfuerzo internacional para desarrollar y establecer una capacidad de reproceso con características importantes de resistencia a la proliferación (Programa GNEP).

127

## ¿PARA QUÉ PUEDE SERVIR EL PLUTONIO RECUPERADO?

**E**l plutonio es un elemento que tiene fundamentalmente cuatro isótopos —de números másicos 239, 240, 241 y 242— de los que únicamente son fisionables los que tienen número impar, 239 y 241, por lo que pueden ser considerados como combustible nuclear. De hecho el plutonio producido en los combustibles nucleares se quema en parte durante la estancia de éste en el reactor, contribuyendo a la producción de energía y al inventario de los productos de fisión. Aunque son datos variables, un 25% de la energía generada en una central nuclear procede de ese plutonio.

En el combustible gastado quedan entre 7 y 8 kilogramos de plutonio sin quemar por tonelada. Este plutonio, recuperado en el reproceso, se usa para sustituir el uranio-235 en el combustible nuclear, fabricando pastillas de óxido de uranio y óxido de plutonio mezclados, que se llama combustible MOX, o reservándolo para los futuros reactores reproductores.



128

## ¿ES IGUAL EL PLUTONIO QUE PUEDE EXTRAERSE DEL COMBUSTIBLE GASTADO PROCEDENTE DE UNA CENTRAL NUCLEAR QUE EL PLUTONIO QUE SE EMPLEA EN BOMBAS ATÓMICAS?

**N**o, pues el plutonio que se emplea en la fabricación de bombas atómicas tiene una concentración en el isótopo Pu-239 del orden del 90%, mientras que el plutonio que se produce en las centrales nucleares industriales alcanza, como máximo, una concentración en el referido isótopo del 60%.

129

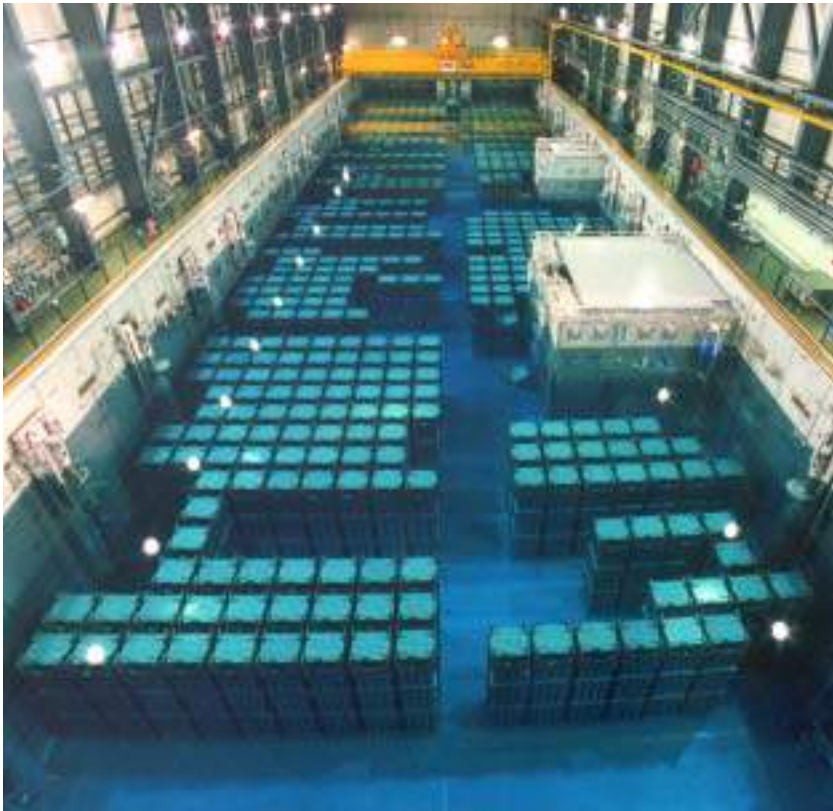
## ¿QUÉ POLÍTICA SE SIGUE EN ESPAÑA CON EL COMBUSTIBLE GASTADO?

**E**n España las previsiones realizadas por la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), en el Sexto Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) aprobado en julio de 2006, estiman que la producción total de combustible gastado será de 6.674 toneladas de uranio metal, lo que significa un volumen de unos 13.000 metros cúbicos.

En la realización de estas estimaciones se ha considerado como escenario la no variación del actual parque nuclear, ocho reactores en seis emplazamientos, con un período de vida de cada instalación de cuarenta años, desde su puesta en marcha hasta su parada definitiva.

Aunque no se cierra la posibilidad del reprocesado en el extranjero, en el referido PGRR se contempla que el combustible gastado, una vez sacado del reactor, pasa a ser considerado residuo radiactivo de alta actividad, el cual tras su estancia en la piscina de la propia central nuclear se depositará en un almacén centralizado.

El Plan apuesta por crear un Almacén Temporal Centralizado, ATC, para albergar el combustible gastado antes de 2010 y continuar con las investigaciones que se están llevando a cabo y que se centran en la Separación y Transmutación (S-T) y en el Almacenamiento Geológico Profundo (AGP).



*Piscina de almacenamiento de combustible gastado en una central nuclear*

CAPÍTULO  
10

# EL IMPACTO AMBIENTAL





---

**Todas las fuentes energéticas tienen una repercusión medioambiental en algún momento de su ciclo de producción. La naturaleza misma que genera sus propios residuos, en algunos casos los recicla pero en otros no y, a veces, incluso, son dañinos.**

**Preocupa enormemente el calentamiento terrestre y el posible cambio climático inducido y acelerado por la actividad humana. El protocolo de Kioto es una ayuda pero no una solución a esta situación.**

**La energía nuclear es una energía limpia de gases del efecto invernadero pero además, con volúmenes de emisiones y de residuos mínimos y controlados, aventaja en ello a otras soluciones.**

---

130

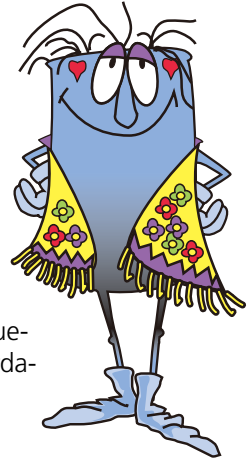
## ¿QUÉ SE ENTIENDE POR MEDIO AMBIENTE?

**D**efinir qué se entiende por medio ambiente no está exento de dificultades ya que dicho concepto puede variar según las características sociales, económicas y naturales en que se desenvuelve una determinada colectividad. En general, se podría entender como “el conjunto, en un momento dado, de los aspectos físicos, químicos, biológicos, culturales y sociales del entorno, susceptibles de tener un efecto directo o indirecto, inmediato o a plazo, sobre los seres vivos y las actividades humanas”.

De lo anterior se deduce que el medio ambiente hay que considerarlo al menos desde una doble perspectiva, la que se refiere al medio físico, y la que se centra especialmente en el medio social, término éste de características más amplias e incluso difíciles de determinar.



Así, parece evidente que pueden existir países o regiones con un medio ambiente físico no deteriorado, pero especialmente pobres en riqueza de bienes, incluidos los de sanidad y salud social. En este caso, parece lógico pensar en la posibilidad de admitir la introducción de cambios sociales para beneficio de la población a través de la industrialización y la creación de una economía de servicios. No cabe duda que esto comportará alteraciones en el medio físico, introduciendo cierta contaminación pero compensada con un mejor bienestar social. Por el contrario, otros países con un elevado nivel de riqueza pueden ser, desde el punto de vista del medio ambiente, verdaderamente pobres.



Será pues responsabilidad de los dirigentes de los países el encontrar un equilibrio entre las necesidades del hombre y la preservación del medio ambiente original, equilibrio que habrá de conjugar el progreso y la cadena ecológica entre el hombre y la naturaleza, el medio ambiente físico y el medio ambiente social. No hay que olvidar que la inteligencia humana ha hallado y hallará sistemas de reducción e incluso eliminación de esos efectos perniciosos. La historia corrobora esta afirmación.

131

## ¿QUÉ SE ENTIENDE POR CONTAMINACIÓN AMBIENTAL?

Teniendo en cuenta que la naturaleza tiene su propia capacidad de autodepuración y reciclaje y que por tanto las emisiones o las inmisiones de productos contaminantes pueden variar de un lugar a otro afectando al bienestar de forma diferente, se podría definir la contaminación ambiental como “la alteración de las condiciones del medio ambiente por la presencia o ausencia de agentes físicos o químicos en grado tal que pueda resultar perjudicial para las personas, animales, plantas u objetos, y producir un deterioro en la calidad de vida”.





No hay que olvidar que la propia naturaleza genera situaciones de contaminación grave y así han estado, desde hace mucho tiempo, desarrollándose ecosistemas adaptados. Consideremos, por ejemplo, los incendios, huracanes, erupciones volcánicas, algunos cauces de río, como el del río Tinto en Huelva, el parque nacional Yellowstone, en California, el avance de las dunas de Doñana, etc.

El impacto ambiental afecta a multitud de factores. Por ejemplo, se puede hablar de impacto ambiental por ocupación de terreno cuando éste alcanza valores relativos significativos. En zonas de alta densidad poblacional el impacto ambiental de instalar un parque eólico es superior al de instalarlo en un desierto. A su vez cubrir una línea de montaña con generadores eólicos supone un coste paisajístico, valorable por la sociedad que lo decide.

También sería un impacto ambiental alterar un ecosistema para transformarlo en un cultivo intensivo de plantas destinadas a biocombustibles. Nuevamente, es la sociedad la que tiene que decidir de esta alteración de su habitat si ello supone extensiones muy significativas de terreno.

### CUADRO DE IMPACTO AMBIENTAL

#### Ocupación de terreno para una planta de 1.000 MW eléctricos

Nuclear		→	entre 0,5 y 2,4 km <sup>2</sup>
Solar		→	entre 20 y 50 km <sup>2</sup>
Eólica		→	entre 50 y 150 km <sup>2</sup>
Biomasa		→	entre 4.000 y 6.000 km <sup>2</sup>

Fuente: UE - DG XVII - 27-4-99.

## ¿QUÉ CONTAMINACIÓN PRODUCEN LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS?

**A**l hablar de centrales termoeléctricas nos referimos especialmente a las que emplean carbón y fuelóleo como combustible, preocupándonos menos las que utilizan gas ya que su contaminación es menor.

Desde un planteamiento amplio, habrá que considerar en primer lugar la contaminación que se crea en la obtención del combustible en su proceso de minería y extracción y, en segundo lugar, en los efectos ambientales producidos al quemar éste en la propia central.

En la producción de electricidad, los combustibles mencionados emiten en su combustión una serie de productos contaminantes.

### PRODUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS Miles de toneladas/año (central de 1.000 MW)

Contaminante	Carbón	Fuelóleo	Gas
Partículas	5	0,8	0,5
Óxidos de azufre	150	60	0,015
Óxidos de nitrógeno	23	25	13
Monóxido de carbono	0,25	0,009	Despreciable
Hidrocarburos	0,5	0,7	Despreciable

Para evitar la contaminación local o próxima, las centrales termoeléctricas suelen disponer de chimeneas de considerable altura, lo cual hace que la contaminación química que producen se diluya mucho pero se transporte a largas distancias, afectando frecuentemente a otras zonas e incluso a otros países, lo que más adelante comentaremos al considerar la denominada contaminación transfronteriza. Para eliminar las partículas sólidas, las centrales termoeléctricas utilizan instalaciones de separación de polvo, rebajando su evacuación exterior. En la actualidad se han diseñado otros sistemas para la reducción mayor de estas emisiones y de las de CO<sub>2</sub>, tanto en cantidad como en su almacenamiento en zonas geológicas adecuadas.

## ¿QUÉ ES LA LLUVIA ÁCIDA?

Los óxidos de azufre y de nitrógeno que emiten las centrales termoeléctricas, al combinarse con el agua de las nubes, se precipitan en forma de lluvia ácida, pudiendo arruinar los bosques, eliminar la vida de los lagos y desertizar grandes superficies terrestres.

Diversas organizaciones Internacionales que se preocupan por el medio ambiente, y en especial el PNUMA, la CEPE, la OCDE y la OMM, coinciden cada vez más en señalar la necesidad de aplicar en la fuente de consumo de los combustibles fósiles estrictas medidas de control ambiental, así como establecer una coordinación internacional para evitar que a través del transporte atmosférico tenga lugar la denominada contaminación transfronteriza.

España ratificó en 1997 el Protocolo de Azufre correspondiente al programa del Convenio de Ginebra sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza.

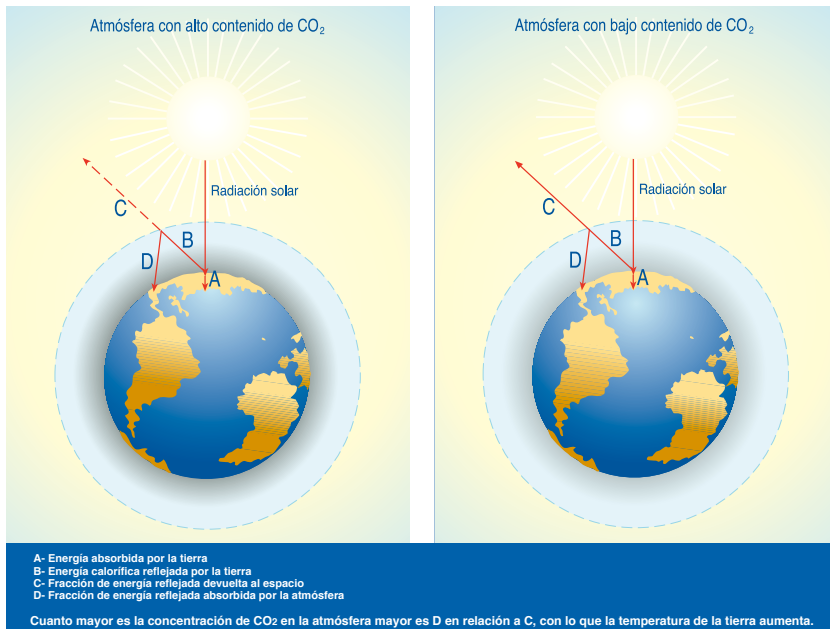
En un futuro, cada vez más inmediato, se quemarán únicamente combustibles fósiles de muy baja acidez. Para los fuelóleos, se pretende que su contenido de azufre no supere el 1% en peso, si bien se podría permitir niveles más elevados en aquellas zonas en que fuesen respetados los valores de calidad del aire ambiental, y la contaminación transfronteriza no hubiese alcanzado valores significativos.



## ¿QUÉ ES EL PROTOCOLO DE KIOTO Y CÓMO SE RELACIONA CON EL EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO?

La atmósfera permite que parte de la radiación solar llegue a la Tierra. Ésta refleja hacia el espacio parte de la energía que llega, pero la atmósfera absorbe parte de ésta, alcanzando una temperatura de equilibrio de unos 15 °C.

Se entiende por efecto invernadero el cambio climático provocado por un aumento de la temperatura ambiental a consecuencia de una mayor concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera que aumenta la proporción de energía absorbida.



*Efecto invernadero producido por el  $\text{CO}_2$*

Como puede verse en la figura anterior, cuanto mayor sea la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, mayor será D en relación a C, con lo que la temperatura de la Tierra aumenta para reestablecer el equilibrio. La intensa utilización de los combustibles fósiles es posiblemente la principal causa del efecto invernadero.

Aunque hace más de una década que la alarma por el cambio climático ha sido denunciada con frecuencia ante la opinión pública, la preocupación "oficial" no se inicia hasta la celebración en 1992 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el clima. Desde entonces, entre los acontecimientos y toma de medidas al respecto, cabe destacar la firma, en 1997, del llamado Protocolo de Kioto, siendo el primero de la Convención Marco del Cambio Climático que se firmó en Río de Janeiro. En la cumbre de Kioto se alcanzó un acuerdo destinado a limitar las emisiones de seis gases de "efecto invernadero" en los países industrializados para el período 2008-2012, tomando como referencia para tres de ellos (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) las emisiones de 1990, y para el resto, principalmente de origen industrial (HFC, PFC y SF<sub>6</sub>), el año 1995.

En el Congreso Mundial de la Energía (Houston 1998) ya se puso de manifiesto la necesidad de tomar de forma inmediata medidas de cautela para mitigar la eventualidad del cambio climático, recomendando una actitud de "mínimo riesgo" hasta que se pudiera establecer definitivamente una relación causa-efecto. En este sentido, dicho Congreso fue claro al afirmar que, mientras tanto, la energía nuclear, que no emite CO<sub>2</sub>, debería jugar un papel primordial en la producción eléctrica y en las estrategias para combatir el calentamiento del planeta. Téngase en cuenta que, de acuerdo con los datos disponibles de la cumbre de Kioto, en 1990 las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen energético supusieron un 67,5% del total de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes. Posteriormente se han celebrado sucesivos Congresos en los que se ha confirmado la incorporación creciente de países a este acuerdo. Hay que destacar que últimamente la amenaza del cambio climático ha ocasionado en la opinión pública una considerable alarma social.

En la actualidad, año 2006, este documento plantea que las emisiones de gases del efecto invernadero antes de 2012 sean en volumen un 5,2% inferiores al valor de 1990. Hay una asignación de compromisos de emisiones que afectan a los países industrializados y que se aplican al sector energético e industrial pero no al del transporte, que supone el 33% de las emisiones, ni a sectores domésticos e industriales de peque-

ño tamaño. Los países en desarrollo no están obligados por el acuerdo (anexo 1) y Estados Unidos, 25% de las emisiones, no lo ha firmado. No hay acuerdos de promoción directa de la I+D para remediar este problema pero se incentivan proyectos limpios en la emisión de gases.

Este acuerdo es, por tanto, una necesaria carta de concienciación política antes que una herramienta real para hacer frente al cambio climático, pues la generación de gases va a seguir incrementándose aunque de una forma más controlada en los países industrializados que hoy son responsables del 60% de éstos. Es así que en datos de la agencia de información norteamericana, Energy Information Administration, se señala que incluso con el cumplimiento de lo firmado, las emisiones esperadas para el período 1990 y 2025 duplicarán el valor inicial fijado, pasando de 5.872 MtCO<sub>2</sub> a 10.361 MtCO<sub>2</sub>.

A raíz de este acuerdo ha surgido un comercio de derechos de emisión que terminará de entrar en vigor en 2008 y que penaliza las fuentes de generación de gases contaminantes y en consecuencia la utilización de los combustibles fósiles (alrededor de 10€ a 20€/tCO<sub>2</sub>, como cifra inicial de referencia). Se han creado dos procedimientos de compensación de emisiones mediante la promoción de nuevas inversiones en tecnologías limpias ya sea en los propios países como en países en desarrollo. El protocolo firmado desechó, por el momento, incluir entre éstas a la nuclear. Son los denominados "mecanismos de desarrollo limpio" y los de "aplicación conjunta".

En la actualidad, la energía nuclear ahorra la emisión anual de 2.160 Mt CO<sub>2</sub> que corresponde a la generación eléctrica de 2.700 TWh del parque nuclear mundial en 2004. Para este cálculo se ha supuesto que habría sido generado con el actual "mix" energético térmico de la UE-25 (54% carbón, 33% gas, 11% petróleo). Este ahorro equivale al obtenido por la producción hidráulica según se indica en datos del OIEA y supone el 17% de las emisiones anuales de los países de la OCDE o el 67% de las emisiones de los países de la anterior UE-15.

El Protocolo de Kioto ya ha sido ratificado por 129 países que superan el 55% de países existentes y cuyas emisiones suman más del 55% de emisiones. Está ratificado y en vigor en España. El coste para nuestro país por el exceso de generación de esos gases está estimado para el período 2008-2012 en 2.300 a 3.000 millones de euros, con una desviación final que se espera sea superior.

135

## ¿CÓMO AFECTA AL MEDIO AMBIENTE EL CALOR DE REFRIGERACIÓN DE LAS CENTRALES TÉRMICAS?

**E**n toda central térmica (de carbón, fuelóleo, gas o nuclear) hay una parte de la energía que, de acuerdo con la termodinámica, no se transforma en electricidad sino que se elimina en forma de calor residual. Este calor residual, si no se aprovecha de otro modo, se disipa en el agua de refrigeración del condensador. Cuando esta agua vuelve a su cauce original (río, lago o mar) puede producir un incremento térmico de este sumidero. Dependiendo de las circunstancias esta alteración puede tener efectos beneficiosos, indiferentes o perjudiciales, según los casos. Fuera de las ocasiones en que el aumento de temperatura sea deseable, la reglamentación prohíbe que dicho aumento exceda de una cierta cantidad, por debajo de la cual no hay alteración ecológica. Esta limitación del aumento de temperatura del agua se consigue diluyendo el agua del condensador con suficiente líquido del sumidero último o recurriendo al uso de torres de refrigeración.

Existen experiencias de aprovechamiento del calor residual de las centrales con fines útiles en piscifactorías o invernaderos, con lo que además





de evitarse el perjuicio ecológico, se aprovecha la energía residual de la central. Sirve de ejemplo anecdótico, a este respecto, la granja de cocodrilo en el Ródano que aprovecha las aguas de refrigeración del grupo nuclear de Tricastin.

136

## ¿CUÁLES SON LOS PROBLEMAS AMBIENTALES DE LAS CENTRALES NUCLEARES Y QUÉ MEDIDAS SE TOMAN PARA EVITARLOS?

**M**ientras las centrales térmicas convencionales queman combustibles fósiles para la producción de electricidad, una central nuclear obtiene su energía de la fisión del átomo de uranio. Esto significa que una central de este tipo no envía a la atmósfera óxidos de carbono, de azufre, de nitrógeno, ni otros productos de combustión, tales como las cenizas.

Desde el punto de vista de la protección del medio ambiente, las centrales nucleares siempre han estado sujetas a un estricto control reglamentario institucional difícil de igualar por otras actividades industriales. Dicho marco reglamentario contempla todas y cada una de las fases que componen el ciclo de producción, así como la protección de los trabajadores de la central y del público en general y el desmantelamiento de la central al final de su vida útil.

Las centrales nucleares generan emisiones de efluentes radiactivos en cantidades limitadas de acuerdo con esa regulación. Estas emisiones quedan registradas continuamente y son objeto de continuo seguimiento mediante un extenso programa de análisis realizado por entidades independientes y por la administración. Los valores de esos efluentes medidos en términos de actividad radiológica y de dosis son mil veces inferiores a lo permitido.

## ¿QUÉ EFECTOS AMBIENTALES PRODUCEN LA MINERÍA Y EL TRANSPORTE DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS?

La minería del carbón presenta una incidencia ambiental que puede variar según sea a cielo abierto o a través de pozos. Ambas modalidades tienen un problema en común que es el de las escombreras, cuyo control ambiental, construcción de depósitos estables y cubrimientos de éstos para evitar su disgregación, implica un aumento significativo de los costos de explotación. Cuando la minería del carbón se realiza a través de pozos, de todos es conocida la peligrosidad y el riesgo que para la vida y salud de los mineros representa esta modalidad, y bien merece recordarse que la vida humana es, desde el punto de vista del medio ambiente, el bien superior.



*Explotación de una mina de carbón*

Si nos referimos al petróleo, tanto la extracción y el transporte, como el proceso de refinado tienen sus efectos negativos sobre el medio ambiente y, en especial, las conocidas mareas negras con los grandes daños ecológicos que ocasionan.

La extracción de uranio no presenta, en principio, unas características ambientales muy diferentes respecto a otras minerías metálicas. Por lo que se refiere a la radiactividad, ésta no se encuentra a niveles muy superiores a los existentes en numerosas zonas naturales. En realidad, mediante la minería y el tratamiento de los minerales se recupera el elemento radiactivo haciendo que las escombreras ofrezcan escasos niveles de radiactividad. No obstante, los residuos que se producen para la formación de la llamada "torta amarilla" tienen que ser protegidos para evitar las emanaciones que se producen de gas radón.

138

## ¿CUÁLES SON LOS EFECTOS AMBIENTALES DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA?

**D**ado que para producir energía eléctrica una central hidráulica aprovecha el desnivel existente en un tramo de río, un primer efecto sobre el medio ambiente es la transformación de un sistema fluvial en otro lacustre.

En el caso de grandes embalses existen también modificaciones microclimáticas de la zona que pueden variar positiva o negativamente la habitabilidad del lugar.

La energía hidráulica, considerada como una de las que menor perturbación ocasiona a su entorno, también tiene sus efectos sobre el medio ambiente y en especial sobre las poblaciones.

La ubicación de una central hidroeléctrica tiene sus consecuencias ecológicas; así, entre otras, se alteran la flora y la fauna, el clima local, y se producen posibles actividades microsísmicas, aumento de bacterias y algas, olores y sabores desagradables, modificaciones en las concentraciones de oxígeno

y también la posibilidad de cambios ecológicos en el propio embalse y río abajo. No obstante, el cambio que se puede ocasionar no tiene por qué ser negativo, todo dependerá de los estudios ecológicos previos y de la importancia que se quiera dar a unos u otros objetivos ambientales.

La construcción de la central, debido a las grandes necesidades de espacio que necesita, lleva consigo, en numerosas ocasiones, sobre todo cuando las posibilidades hidráulicas de un país están muy explotadas, al desplazamiento de poblaciones a otros lugares. En la actualidad, y en España, éste es uno de los grandes problemas ecológicos que las centrales hidráulicas traen consigo.

139

## ¿QUÉ SE ENTIENDE POR CONTAMINACIÓN TRANSFRONTERIZA?

**B**ajo esta denominación se entiende la contaminación que sufre todo o parte del territorio de un país a consecuencia de la llegada a él de productos contaminantes generados en otro y que se transmiten a través de la atmósfera por una acción combinada de los vientos o por las corrientes en el agua.



En lo que se refiere a las emisiones radiactivas de origen diverso (centrales nucleares, usos industriales, aplicaciones médicas, etc.), existe un acuerdo en el seno del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), por el cual, en caso de accidente, se debe notificar urgentemente a éste, al objeto de poner en práctica inmediata un plan de seguimiento y buscar las soluciones para que los efectos sean tan bajos como sea posible.

En el ámbito de las Naciones Unidas y dentro de la Comisión Económica para Europa (CEPE), se firmó en 1979 el Convenio de Ginebra sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza. De este Convenio, ratificado por España en 1983, han surgido varios programas y protocolos ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), llegándose a firmar más recientemente, en 1994, el Protocolo de Azufre que fue ratificado por nuestro país en agosto de 1997.

140

## ¿CÓMO NOS AFECTAN LAS MEDIDAS AMBIENTALES DE LA UNIÓN EUROPEA?

**E**spaña, como miembro de la Unión Europea, está obligada a adoptar y cumplir las medidas que la Comisión establezca.

Uno de los problemas ambientales que más preocupa a la Unión Europea (UE) es el que se refiere a la contaminación atmosférica en general y de las lluvias ácidas en particular. Por ello y ante dicha preocupación asumió de forma conjunta para los quince Estados Miembros y dentro del Protocolo de Kioto, el compromiso de reducir en un 8% el conjunto de los seis gases de "efecto invernadero" (ver también la pregunta 131). En marzo de 1997 se llegó a un acuerdo de repartición de cargas entre los quince Estados Miembros para tres gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Dicho reparto se formalizó en el Consejo de Ministros de 1998, estableciéndose de forma vinculante entre todos los Estados Miembros (Burden Sharing).

### EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN LA UNIÓN EUROPEA (Mt)(1)

<i>País</i>	<i>1990</i>	<i>2004</i>	<i>Desviación 04/90</i>	<i>Objetivo 2010 (2) Variación 2010/1990</i>
Alemania	1.230,0	1.015,3	-17,5%	-21,0%
Austria	78,9	91,3	15,7%	-13,0%
Bélgica	146,9	147,9	0,7%	-7,5%
Chipre	6,0	8,9	48,2%	—
Dinamarca	69,3	68,1	-1,8%	-21,0%
Eslovaquia	73,2	51,0	-30,3%	-8,0%
Eslovenia	20,2	20,1	-0,8%	-8,0%
España	289,4	427,9	47,9%	15,0%
Estonia	42,6	21,3	-50,0%	-8,0%
Finlandia	71,1	81,4	14,5%	0,0%
Francia	567,1	562,6	-0,6%	0,0%
Grecia	111,1	137,6	23,9%	25,0%
Hungría	122,2	83,1	-32,0%	-6,0%
Irlanda	55,8	68,5	22,7%	13,0%
Italia	518,9	582,5	12,3%	-6,5%
Letonia	25,9	10,7	-58,5%	-8,0%
Lituania	50,9	20,3	-60,1%	-8,0%
Luxemburgo	12,7	12,7	0,3%	-28,0%
Malta	2,2	3,2	45,9%	—
Países Bajos	214,3	217,8	1,6%	-6,0%
Polonia	565,3	386,4	-31,6%	-6,0%
Portugal	60,0	84,5	41,0%	27,0%
Reino Unido	767,9	659,3	-14,1%	-12,5%
República Checa	196,3	147,1	-25,1%	-8,0%
Suecia	72,5	69,9	-3,6%	4,0%
<b>TOTAL UE-15</b>	<b>4.265,7</b>	<b>4.227,4</b>	<b>-0,9%</b>	<b>-8,0%</b>

(1) Emisiones de origen energético.

(2) Tasa referida a los seis gases contemplados en el Protocolo de Kioto.

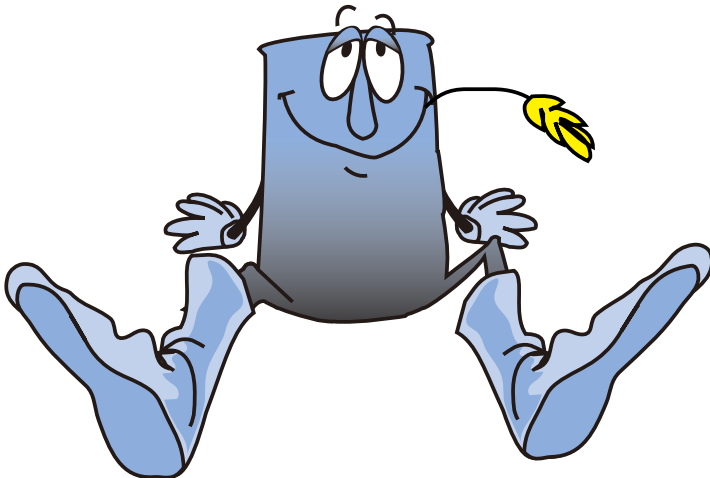
Fuente: Comisión Europea y AIE-2004. Los datos históricos pueden no coincidir con las estimaciones de cada Estado Miembro.

Si nos referimos a la situación por habitante en la perspectiva del año 2010 y para el conjunto de los seis gases considerados y de acuerdo con el actual reparto de cargas, España se situaría en una situación media dentro del conjunto de los países de la UE.

A lo anterior hay que añadir también una serie de Directivas tales como la de limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustible, en donde las centrales térmicas y refinerías son las instalaciones más afectadas, debiendo limitar sus emisiones a partir del año 2007.

Otras Directivas recientes de la UE se refieren a la eliminación para finales del 2010 de los policlorobifenilos y de los policloroterfenilos (PCB/PCT), con especial incidencia sobre los transformadores y condensadores eléctricos que contengan o hayan contenido estos productos. También se han fijado valores límite y umbrales de alerta o de actuación para el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxido nítrico, partículas y plomo.

Finalmente referirnos a la propuesta de Directiva sobre la fiscalidad a los productos energéticos, elevando el tipo mínimo del impuesto especial que soportan los carburantes y combustibles petrolíferos y ampliando su campo de acción al carbón, la electricidad y el gas.









# GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS





---

**En España, la gestión de los residuos radiactivos es realizada por ENRESA que prepara el Plan Nacional de Residuos Radiactivos y lo remite al Ministerio de Industria que lo presenta al gobierno para su aprobación.**

**Todos los residuos están controlados y definidas las operaciones a realizar para su almacenamiento.**

**El Plan Nacional vigente prevé gestionar 12.800 m<sup>3</sup> de residuos de combustible gastado y 176.300 m<sup>3</sup> de baja y media actividad hasta el año 2070. El coste será de 13.000 millones de euros. Esta cantidad es abonada por la industria productora de ellos.**

**Los residuos de baja y media actividad son almacenados en una planta destinada exclusivamente a este uso en El Cabril, Córdoba.**

**El combustible gastado será depositado temporalmente en un almacén centralizado, ATC, que estará construido antes de 2010.**

---

141

---

## LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS, ¿ES PRIVATIVA DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD?

**T**anto en los procesos vitales como en la propia naturaleza se producen continuamente residuos. Algunos son reprocesados y forman parte de esos propios ciclos pero otros no y no tienen otro destino que su eliminación o su confinamiento. A estos últimos es mejor denominar-

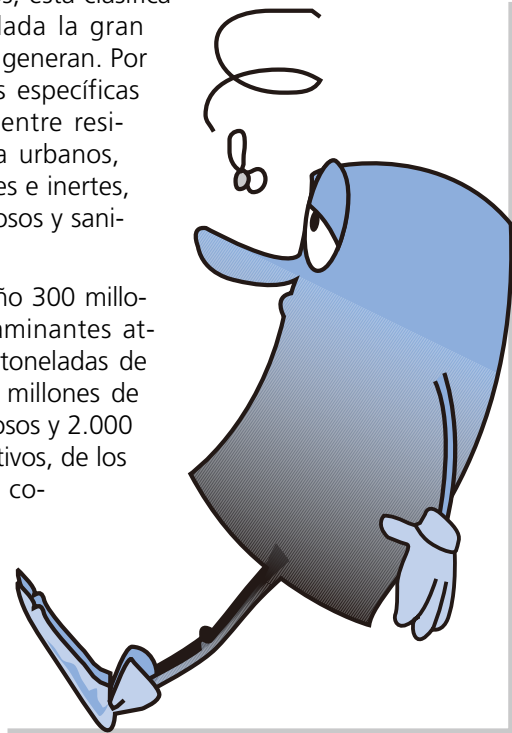
los como “desechos”. La actividad humana genera también residuos y desechos. Se trata de sustancias, materiales u objetos, restos de productos naturales o de procesos de fabricación.

En nuestra sociedad hay un aumento continuo de la producción de residuos por múltiples razones; entre ellas, cabe destacar las culturales y las surgidas del rápido crecimiento demográfico y de la tecnificación e industrialización crecientes.

La sociedad es consciente de que necesita gestionar esos residuos y desechos, algunos muy nocivos, y afrontar su confinamiento seguro con el problema añadido de la inabordable dispersión con que se producen y del inmenso y creciente volumen que se genera.

La Ley española de residuos de abril de 1998, establece una única clasificación de los residuos en dos grandes grupos, urbanos y peligrosos. Sin embargo, a efectos prácticos, esta clasificación plantea problemas, dada la gran variedad de residuos que se generan. Por este motivo, las normativas específicas han venido diferenciando entre residuos urbanos, asimilables a urbanos, agrícolas y forestales, banales e inertes, industriales, tóxicos y peligrosos y sanitarios.

En España se producen al año 300 millones de toneladas de contaminantes atmosféricos, 20 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos, 4 millones de toneladas de residuos peligrosos y 2.000 toneladas de residuos radiactivos, de los cuales, sólo 160 toneladas corresponden a combustible gastado.



## ¿ES GRAVE EL PROBLEMA QUE PRESENTA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS EN EL MUNDO DE HOY?

La sociedad industrializada se enfrenta con un problema difícil, al tener que diseñar, acometer y conseguir una gestión adecuada para todos los residuos que se producen. Se entiende por gestión de residuos el conjunto de actividades que conducen a su reutilización, su desaparición o, en su defecto, su neutralización y evacuación a lugares localizados, garantizando la seguridad a largo plazo.

El panorama mundial de los residuos peligrosos de la industria convencional se presenta grave y preocupante, en unos países con más retraso que en otros, pero con el denominador común de grandes volúmenes y escaso control y el problema de la ubicación de los mismos.

La preocupación por los residuos se inició en Europa con la Directiva 75/442/CEE, modificada por la Directiva 91/156/CEE y la creación, por parte de la Comisión de la Unión Europea, la Dirección General XI, la cual preparó y presentó al Consejo de Europa en 1989 un documento de estrategias de gestión para todos los residuos.

A pesar de la importancia concedida por la Comisión a la política de residuos y las medidas adoptadas en los últimos veinte años, se ha podido constatar que el reciclaje y la reutilización necesitan ser impulsados. Por ello, los diferentes Programas de Acción fijan unos objetivos a largo plazo para cada uno de los diferentes ámbitos establecidos, entre los que se encuentra la gestión de los residuos, con el fin de alcanzar el “desarrollo sostenible”.

La estrategia comunitaria se centra en un concepto de tratamiento global de los residuos, englobada en lo que se ha denominado “Jerarquía de Gestión”. Esta comprende el menú de opciones que deberán adoptar quienes se ocupan de los residuos y que se ha centrado en cinco ejes principales: la prevención; la recuperación; la seguridad en los transportes; la optimización de la eliminación final; y la acción correctora.

En España la actual Ley de Residuos 10/1998 de 21 de abril supone un marco común que tiende a una aplicación homogénea de la jerarquía de gestión. En 1990 se creó la empresa pública EMGRISA (Empresa Nacional de Gestión de Residuos Industriales, S.A.) que se ocupa de gestionar el Plan Nacional de Residuos Peligrosos (químicos y otros, pero no radiactivos).

El tratamiento de los residuos radiactivos se efectúa de acuerdo con el Plan General de Residuos Radiactivos, que aprueba el Gobierno y pone en práctica la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), creada en 1984. La gestión de estos residuos está regulada por un amplio marco legal que, de manera específica, contempla todas las actividades relativas a su tratamiento.

El desarrollo tecnológico alcanzado en la gestión de los residuos radiactivos contribuye a la puesta a punto de prácticas aplicables a otros tipos de residuos, especialmente aquellos que necesitan un tratamiento a largo plazo.

143

## ¿QUÉ SON Y DE DÓNDE PROCEDEN LOS RESIDUOS RADIATIVOS?

La humanidad ha convivido con la radiación y los isótopos radiactivos desde la aparición de nuestra vida en la tierra, donde existían isótopos radiactivos de período de semidesintegración muy largo, como el potasio-40, el uranio-238, el uranio-235 y el torio-232, así como los isótopos resultantes de la desintegración de estos tres últimos. También el hombre ha empleado algunos isótopos radiactivos naturales, como el radio-226 en técnicas terapéuticas y el uranio-235 en los reactores nucleares.

Se considera residuo radiactivo cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por las autoridades competentes.

Los residuos radiactivos se producen en las distintas aplicaciones en las que está presente la radiactividad, a saber:

- *Aplicaciones energéticas.* Es el grupo más importante. El mayor volumen de residuos radiactivos se produce en las distintas etapas por las que pasa el combustible nuclear (ciclos combustibles) y en la operación y el desmantelamiento de las centrales nucleares. Todos estos residuos suponen alrededor del 95% de la producción total.



*Combustible gastado procedente de las centrales nucleares*

- *Aplicaciones no energéticas.* Derivadas de los usos de los isótopos radiactivos, fundamentalmente en actividades como investigación, medicina e industria. Este grupo se conoce como el de los “pequeños productores”, porque incluso en los países de tecnología más avanzada, donde las actividades reseñadas están muy desarrolladas, el volumen de residuos radiactivos que generan es pequeño, comparado con el originado en la producción de energía nucleoelectrónica, pudiendo afirmarse que siempre es inferior al 10%, sin que esto quiera decir que su gestión deba ser menos rigurosa.



*Residuos radiactivos procedentes de aplicaciones en medicina e investigación*

En la Unión Europea, el volumen anual producido de residuos radiactivos a gestionar es de 37.000 m<sup>3</sup>. De esta cantidad, el 84%, es decir 31.000 m<sup>3</sup>, son residuos de baja actividad y corto período radiactivo. El resto corresponde al combustible gastado con 3.325 t y 3.000 m<sup>3</sup> a residuos de media y alta actividad provenientes del reproceso.

144

## ¿CÓMO SE CLASIFICAN LOS RESIDUOS RADIATIVOS?

**P**ara clasificar los residuos radiactivos se puede atender a diversos criterios, tales como su estado físico (sólidos, líquidos y gaseosos), tipo de radiación emitida (alfa, beta, gamma), contenido en radiactividad, período de semidesintegración de los radionucleidos que contiene, generación de calor, actividad específica por unidad de masa o volumen, etc.

Desde el punto de vista de su gestión, en España los residuos radiactivos se clasifican actualmente en:

### a) Residuos de baja y media actividad

- Tienen actividad específica baja por elemento radiactivo.
- No generan calor.
- Contienen radionucleidos emisores beta-gamma con períodos de semidesintegración inferiores a 30 años, lo que quiere decir que reducen su actividad a menos de la milésima parte en un período máximo de 300 años.
- Su contenido en emisores alfa debe ser inferior a 0,37 GBq/t (0,01 curios/tonelada en promedio).
- Se incluyen en este apartado los residuos de muy baja actividad y de muy corto período de semidesintegración y que por estas características pueden ser gestionados con criterios diferentes y menos exigentes que los genéricos definidos para este grupo.

b) Residuos de alta actividad

- Contienen radionucleidos con período de semidesintegración superior a 30 años.
- Contienen radionucleidos emisores alfa de período largo en concentraciones apreciables, por encima de 0,37 GBq/t (0,01 Ci/t).
- Generalmente desprenden calor.

No en todos los países se emplea la misma clasificación de residuos, razón por la que la Comisión de la Unión Europea ha recomendado unificar criterios, para lo cual propone la siguiente clasificación, que entró en vigor el 1 de enero de 2002.

1. Residuos radiactivos de transición.

Residuos, principalmente de origen médico, que se desintegran durante el período de almacenamiento temporal, pudiendo a continuación gestionarse como residuos no radiactivos, siempre que se respeten unos valores de desclasificación.

2. Residuos de baja y media actividad.

Su concentración en radionucleidos es tal que la generación de energía térmica durante su evacuación es suficientemente baja.

2.1. Residuos de vida corta.

Residuos radiactivos que contienen nucleidos cuyo período medio es inferior o igual al del Cs-137 y el Sr-90 (treinta años, aproximadamente), con una concentración limitada de radionucleidos alfa de vida larga (4.000 Bq/g en lotes individuales de residuos y una media general de 400 Bq/g en el volumen total de residuos).

2.2. Residuos de vida larga.

Radionucleidos y emisores alfa de vida larga cuya concentración es superior a los límites aplicables a los residuos de vida corta.

3. Residuos de alta actividad.

Residuos con una concentración tal de radionucleidos que debe tenerse en cuenta la generación de energía térmica durante su almacenamiento y evacuación. Este tipo de residuos se obtiene principalmente del tratamiento y del acondicionamiento del combustible gastado.



145

## ¿QUÉ RESIDUOS SE GENERAN EN LAS DIVERSAS APLICACIONES DE LOS ISÓTOPOS RADIACTIVOS?

Los residuos radiactivos a que dan lugar los pequeños productores provienen fundamentalmente de tres tipos de instalaciones: sanitarias, industriales y centros de investigación.

En las instalaciones médicas y hospitalarias, el uso de isótopos radiactivos para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades es muy amplio y está en constante crecimiento.

Así, elementos radiactivos no encapsulados, normalmente en fase líquida, son utilizados para el diagnóstico mediante trazadores con Tc-99m, I-125, H-3 o C-14, o bien para el tratamiento de enfermedades del tiroides (I-131) o de la sangre (P-32). Estas actividades generan residuos radiactivos sólidos: algodones, guantes de goma, jeringuillas, etc., así



*Preacondicionamiento y etiquetado de una bolsa que contiene residuos radiactivos de baja y media actividad*

como residuos radiactivos líquidos, que se clasifican como residuos de media actividad.

Por otro lado, en el tratamiento de tumores se emplean fuentes encapsuladas, siendo muy frecuente el uso de Co-60. Estas fuentes, una vez retiradas, son gestionadas como residuos de media actividad.

En las instalaciones industriales se utilizan también fuentes encapsuladas. Las de menor actividad se emplean en procesos de control. Para hacer ensayos no destructivos en construcciones metálicas por gammagrafía hacen falta fuentes de mayor actividad, y en irradiadores de esterilización de material sanitario o de alimentos, son necesarias fuentes de más alta actividad (cesio-137, por ejemplo). En todos los casos estas fuentes, al final de su vida útil, son consideradas residuos de baja y media actividad.

En los centros de investigación, los residuos proceden de reactores de enseñanza e investigación, celdas calientes metalúrgicas (instalaciones auxiliares de investigación donde se realizan ensayos, manipulaciones, pruebas, etc.), plantas piloto y servicios de descontaminación. Estos residuos son de naturaleza física, química y radiactiva muy variable y pueden cubrir toda la escala de clasificación de los residuos radiactivos.

146

## ¿QUÉ RESIDUOS SE GENERAN TRÁS EL “QUEMADO” DEL COMBUSTIBLE DE URANIO EN UN REACTOR NUCLEAR?

**E**l combustible nuclear durante su estancia en el núcleo del reactor se encuentra sometido a una elevada irradiación neutrónica, transformándose su constitución a lo largo del tiempo.

En las centrales de agua ligera, modelos PWR y BWR, el combustible nuclear se ha fabricado en forma de pequeñas pastillas cilíndricas, con medidas de alrededor de 8 mm de diámetro y 11 mm de altura y se ha alojado en varillas que a su vez se montan mediante un armazón de placas

de forma estructural prismática. De esta forma quedan agrupados conjuntos de cerca de 200 varillas en reactores de 1.000 MW, pero que varían según la potencia y el diseño específico, junto con otras pocas que incluyen los elementos de control de la reacción nuclear y de medición en lo que se llama un elemento o conjunto de combustible.

Antes de la fisión nuclear o del “quemado” del combustible, término que se utiliza a semejanza de los combustibles fósiles, se pueden caracterizar tres partes distintas en estos conjuntos de combustible:

- El propio combustible ( $UO_2$ ) en forma de pastillas y constituido por una matriz de uranio-238 en una proporción del 95% al 97% y que se ha enriquecido con el isótopo fisiónable uranio-235 en valores del 5% al 3%.
- La varilla de combustible fabricada con una aleación de circonio y una longitud del orden de 4 metros, dato referido a dichos reactores PWR y BWR de 1.000 MW, y que aloja a esas pastillas de combustible.
- Los materiales estructurales (rejillas, tubos guía, etc.) que conforman el armazón de los mencionados “conjuntos de combustible”.

Con la irradiación, se mantiene la estructura del conjunto de combustible pero se han producido las siguientes transformaciones en el combustible. Nos referiremos a continuación a un caso específico con un enriquecimiento del uranio 235 del 3,3% (téngase en cuenta que las reacciones nucleares tienen lugar con una probabilidad asociada y no siguen leyes lineales).

- a) En el combustible ( $UO_2$ ), del total del 3,3% de U-235, un 2% se fisiona produciendo energía y transmutándose a productos de fisión (P.F.), más ligeros, cuyos números atómicos son del orden de la mitad del de su progenitor en el caso de dos elementos producidos y que en general son emisores beta y gamma. El 0,44% se transmuta a U-236 (elemento que actúa de inhibidor de la fisión) por reacciones de captura neutrónica y el 0,86% final restante permanece sin reaccionar.

Por su parte y en lo que se refiere a la matriz de U-238 con el 96,7% del total del peso del combustible, un 1% sufre reacciones nucleares de transmutación, dando lugar a elementos pesados de la familia de los transuránicos (TRU), como son el plutonio con el 0,9%, neptunio, americio y curio, caracterizados todos ellos por ser emisores alfa.

A su vez, parte de ese plutonio generado (Pu-239) se fisiona y contribuye a la generación de energía y añade el correspondiente inventario de productos de fisión de su familia radiactiva.

La aparición del U-236, junto con los productos de fisión y los transuránicos, limitan el grado de quemado, aunque aún queden U-235 y plutonio, porque al capturar los neutrones (son venenos neutrónicos) disminuyen la población neutrónica e interrumpen la reacción de fisión en cadena. Por este motivo y por la propia pérdida de enriquecimiento es necesario periódicamente renovar el combustible en una operación que se llama recarga. Normalmente se renueva entre un tercio y un cuarto del número total de elementos que hay en el núcleo y se recolocan geográficamente todos los elementos restantes. Esta operación se hace, dependiendo del tipo de central, en ciclos de 12, 18 o 24 meses. Un reactor de 1.000 MW de potencia utiliza entre 20 y 30 t de combustible por ciclo de operación.

Los elementos retirados se conocen por combustible irradiado, gastado o quemado, y su composición es, aproximadamente, del 94,2% de U-238, 1% de transuránicos, 3,5% de productos de fisión, 0,445 de U-236 y 0,86% de U-235.

- b) En la vaina y en los materiales estructurales aparecen los denominados productos de activación, formados por reacciones de captura neutrónica por parte de algunos elementos constituyentes de los mismos, que son elementos radiactivos. El isótopo radiactivo más importante que se forma es el cobalto-60.

En el combustible gastado está contenida más del 99,5% de la radiactividad artificial que se genera en la producción de energía eléctrica en las centrales nucleares. Además, al mantener aquel su estructura sólida, retiene todos los elementos producidos, que además quedan retenidos por la vaina que constituye la segunda barrera de confinamiento que evita su diseminación al exterior.

Sólo la radiación gamma y la neutrónica por su alta penetración salen al exterior, pues la beta y la alfa son absorbidas. Los emisores gamma, teniendo en cuenta su período de semidesintegración y su energía, en unos 700 años habrán decaído a valores radiactivos de fondo natural.

Por otra parte, el uranio no consumido y los elementos transuránicos que son, esencialmente, emisores alfa de bajo poder de penetración

(tienen las mismas características que los minerales radiactivos); desde el punto de vista de las radiaciones emitidas no constituyen riesgo tras un período de almacenamiento de 700 años, al igual que los productos de fisión. Estos elementos, por tanto, son sólo peligrosos si se liberan y encuentran camino para ser inhalados (para lo que es preciso que sean transformados en gases) o ingeridos (para lo que es preciso que entren en la cadena trófica alimentaria de vegetales, animales y personas).

Es decir, la problemática que debe resolver la gestión del almacenamiento del combustible gastado (que constituye los residuos de alta actividad), una vez transcurridos 700 años, sería análoga a la que presentan los depósitos de seguridad de residuos tóxicos como el cadmio, mercurio, etc., elementos muy tóxicos que conservan indefinidamente esta peligrosidad salvo que reaccionen químicamente.

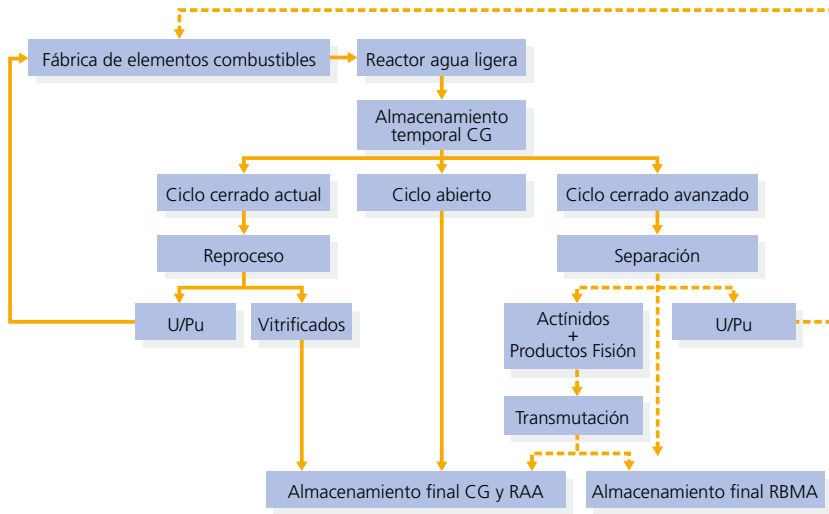
147

## ¿QUÉ SE PUEDE HACER CON EL COMBUSTIBLE GASTADO?

**E**n los comienzos de la utilización de la energía nuclear para la producción de electricidad, se consideraba indispensable realizar el tratamiento de los combustibles gastados, llamado también reelaboración o reproceso, con el fin de recuperar el U y el Pu presentes en ellos, para su posterior utilización como materiales energéticos.

A finales de los años 60 se preveía una escasez de capacidad comercial de reproceso en función de la construcción prevista de centrales nucleares, aunque la tecnología parecía relativamente simple y los costes bajos. En la década de los 70 se comprobó que el reproceso presentaba ciertas dificultades técnicas y que las normas de seguridad, cada vez más rígidas, aumentaban considerablemente los costes. Al mismo tiempo, las ofertas de servicios comerciales de reproceso se vieron seriamente afectadas por un cambio de política en Estados Unidos, al final de esta década de los 70, en lo referente al reciclado del Pu ("La no proliferación de armamento nuclear").

### OPCIONES DE GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO



A todo lo anterior hay que unir la situación del mercado del uranio y la competencia en los precios de los servicios de enriquecimiento. En la actualidad se contemplan dos opciones para la gestión del ciclo del combustible: el “ciclo abierto” o el “ciclo cerrado”.

El “ciclo abierto” considera al combustible gastado como residuo de radiactividad alta para su posterior gestión primero en un almacén temporal centralizado (ATT), luego sometiéndolo a la posibilidad de su separación y transmutación y muy posiblemente, al final, mediante su almacenamiento definitivo en formaciones geológicas profundas (AGP).

El “ciclo cerrado” realiza el tratamiento de los combustibles gastados (reproceso) con el fin de recuperar el uranio y el plutonio presentes en ellos para ser utilizados como materiales energéticos.

Desde comienzos de la pasada década de los 90 se han acometido iniciativas en algunos países, principalmente Francia y Japón, consistentes en investigar y desarrollar la separación y transmutación (ST) de determinados radionucleidos de vida larga presentes en los elementos irradiados. El objetivo es disminuir el inventario radiotóxico a largo plazo de los residuos de alta actividad y, por tanto, el riesgo radiológico de su almacena-

miento definitivo. A esta nueva forma de gestión de los combustibles gastados se le ha dado por llamar “ciclo cerrado avanzado”.

Estas tres opciones tienen en común dos etapas fundamentales: el almacenamiento temporal de los combustibles gastados y el posterior almacenamiento definitivo, bien sea de los propios combustibles gastados o de los residuos procedentes del reproceso actual o del avanzado.

148

## SI SE REPROCESA EL COMBUSTIBLE GASTADO, ¿QUÉ RESIDUOS Y OTROS MATERIALES SE GENERAN?

**E**n principio hay que decir que se recupera el uranio y el plutonio para su posterior utilización como materiales energéticos y se obtienen residuos de baja, media y alta actividad que hay que gestionar adecuadamente.

Actualmente los países que, total o parcialmente, realizan el reproceso de sus combustibles gastados, bien en sus propias instalaciones o contratando servicios del exterior, son Francia, Reino Unido, Japón, Rusia, Alemania, Bélgica, Holanda, China, India y Suiza. Solamente los dos primeros ofrecen servicios de reproceso que llevan aparejados un alto coste y la devolución del uranio y plutonio recuperados, así como de todos los residuos producidos, previamente acondicionados en diferentes tipos de contenedores.

Tras el necesario almacenamiento temporal del combustible gastado, en el reproceso se desvainan las pastillas de uranio contenidas en las varillas del combustible gastado, para lo cual hay que cortarlas y trocearlas. Las pastillas se disuelven con una mezcla de ácido y agua, la disolución líquida resultante se trata con disolventes capaces de extraer el uranio aislado por un lado y el plutonio por otro, quedándose en la disolución ácida acuosa los productos de fisión y el resto de los actínidos.

Por tanto, la disolución acuosa contiene la mayor parte de la radiactividad artificial contenida en el combustible gastado; es un residuo líquido de alta actividad que se guarda en depósitos hasta que pasa al proceso

de conversión a sólidos por vitrificación para fijar la radiactividad en un producto sólido insoluble. El producto final que queda es una cápsula hermética de acero inoxidable en cuyo interior está un vidrio insoluble que contiene la radiactividad que había en el combustible, siendo este paquete el residuo de alta actividad.

Los trozos de vainas resultantes del desvainado son un material radiactivo por efectos de la activación y además están contaminados por su contacto con las pastillas, por lo que constituyen un residuo sólido de radiactividad media. Estos restos de vainas se introducen en bidones de acero inoxidable rellenando los huecos que quedan con cemento. El paquete obtenido es un residuo de media actividad.

Finalmente en las instalaciones de reproceso se producen residuos tecnológicos y de proceso, que son residuos de baja actividad que se cementan y empaquetan en bidones convencionales constituyendo un bulto o paquete de baja actividad.



*Planta de reproceso de combustible gastado de Sellafield (Reino Unido)*



En la reelaboración no se genera ninguna radiactividad artificial nueva, sino que se trabaja con la radiactividad presente en el combustible gastado (y la de los productos de desintegración que se van generando), distribuyéndola de forma más racional y disminuyéndola en la debida al uranio y al plutonio que se han separado. Esto permite reducir, además del volumen, el tiempo de aislamiento que ha de transcurrir para que la radiactividad de los residuos finales disminuya hasta los valores de radiación natural.

149

## ¿QUÉ ES UN ATC Y QUÉ RESUELVE EN LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO?

Cuando se opta por la estrategia del ciclo abierto, es decir, la consideración del combustible gastado como un residuo sin otro uso posterior, el combustible gastado debe gestionarse como un residuo radiactivo de alta actividad, pasando por una etapa intermedia de almacenamiento temporal, antes de su gestión final. En el caso de ciclo cerrado también se producirían residuos de larga duración tras su reproceso y debería acometerse este período temporal de almacenamiento.

En la actualidad, la decisión definitiva con respecto a la gestión del combustible gastado no está tomada, pero sí controlada. Falta el necesario consenso social y ello también impulsa a que la decisión técnica opte por una situación de espera ante las perspectivas de hallar soluciones decisivas en el campo de la transmutación. Sin embargo, no debe olvidarse que existen tecnologías y conocimientos para enterrar de forma segura ese combustible gastado, mientras en contraposición a lo anterior, otro problema de gravosa actualidad como la solución al rápido calentamiento terrestre por el efecto invernadero ni está resuelto, ni acordado, ni controlado.

Con respecto a la gestión final, hay un consenso internacional sobre la viabilidad técnica de los almacenes geológicos profundos (AGP), existiendo a este respecto un alto grado de desarrollo en muchos países, aunque los procesos de implantación están siendo más lentos de lo previsto, fun-

damentalmente por problemas de aceptación pública y por el hecho de existir soluciones temporales satisfactorias. Aunque son varios los países que se encuentran en fases muy avanzadas respecto al AGP (EE.UU., Francia, Alemania, Suecia, Finlandia, etc.), actualmente no hay ninguna instalación operativa a nivel industrial, a excepción de la denominada planta WIPP en Estados Unidos para residuos del programa de defensa.

Además, ahora se incorpora el criterio de hacer que las soluciones que se adopten sean reversibles atendiendo a una responsabilidad intergeneracional, pues se es consciente que el combustible gastado conserva un potencial energético muy elevado que puede ser utilizado en el futuro y también que la aparición de nuevos avances pueden resolver, más rápidamente la duración del enterramiento que se propone.

Por otra parte, se están intensificando las investigaciones citadas en separación y transmutación (ST), promovidas a través de organismos internacionales (AEN, OIEA y UE) y países como Francia y Japón, al objeto de valorar la viabilidad de este método para minimizar el volumen y radiotoxicidad de los residuos.

En lo que respecta al almacenamiento temporal, o intermedio, comienza en las propias piscinas de la central donde se descarga el combustible gastado una vez extraído del reactor, con objeto de que decaiga su radiactividad y calor residual.

Como la capacidad de estas piscinas es limitada, es necesario que al cabo de un cierto tiempo el combustible sea trasladado a unos almacenes intermedios a la espera de su gestión final. Esta etapa de la gestión se considera resuelta a satisfacción en base a distintas técnicas como son el propio almacenamiento en piscinas, o el almacenamiento en seco (contenedores metálicos o de hormigón, cámaras, etc.), existiendo en el mundo instalaciones independientes o centralizadas con experiencia de funcionamiento.

En España se dispone, desde el año 2002, de un almacén temporal individual (ATI) en el emplazamiento de C.N. Trillo, basado en contenedores metálicos de doble uso (transporte y almacenamiento), fabricados por la industria española, con exclusividad para el combustible gastado de esa central.

La solución prevista en el VI Plan General de Residuos Radiactivos es disponer en el año 2010 de un Almacén Temporal Centralizado, ATC, para

todas las centrales españolas. Esta solución se decide por ser la más adecuada desde el punto de vista económico, de seguridad y de gestión. Este almacén es un edificio de hormigón que únicamente aísla del exterior los contenedores de combustible gastado allí ubicados.

### ESQUEMA ATC CÁMARAS



150

## ¿CUÁL ES EL POTENCIAL INTERÉS DE LA SEPARACIÓN Y LA TRANSMUTACIÓN DE RADIONUCLEIDOS DE VIDA LARGA?

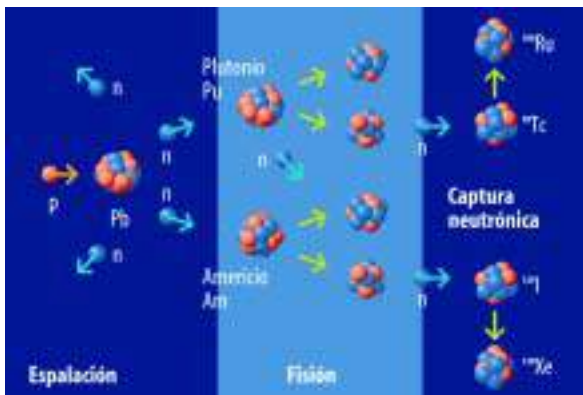
**E**l interés por estas técnicas, cuyo objetivo básico es disminuir el inventario radiotóxico de los residuos de alta actividad y por tanto su riesgo radiológico a largo plazo, se ha reactivado en los últimos años por iniciativa de Japón y Francia, básicamente, en tanto se opta por la solución

de construir un AGP o almacén definitivo de los residuos de alta actividad en formaciones geológicas. Se requerirá un gran esfuerzo económico y humano para su desarrollo y puesta en marcha, además de la colaboración internacional de todos los países que deben gestionar combustibles gastados procedentes de sus centrales nucleares.

Para cumplir el objetivo que se pretende con estas técnicas es necesario separar algunos radionucleidos con largo período de semidesintegración y alta radiotoxicidad, como son principalmente el plutonio ya recuperado en el reproceso actual y los denominados actínidos minoritarios (neptunio, americio y curio). También se ha propuesto separar algunos productos de fisión de vida larga como el tecnecio, yodo, cesio y circonio.

El objetivo de la transmutación es la transformación de ciertos radionucleidos de vida larga en otros de vida más corta o isótopos estables. La operación anterior a la transmutación es la conversión de los elementos químicos previamente separados y que contienen los isótopos radiactivos que se quieren transmutar, en formas sólidas adecuadas.

Esta operación se puede realizar por fisión o activación neutrónica. En principio los reactores actuales, tipo de agua ligera, podrían servir para esta finalidad, pero se ha demostrado que es necesario disponer de neutrones de alta energía y a poder ser con flujo elevado, por lo que los estudios se están encaminando a los reactores rápidos y a los sistemas accionados por aceleradores de partículas. Estos aceleradores emiten un



*Esquema de transmutación*

haz de protones de alta energía, que al incidir sobre un metal pesado (por ejemplo plomo) producen una desintegración en varios fragmentos (espalación) y la emisión de un alto flujo de neutrones muy energéticos, con capacidad para fisurar los radionucleidos de vida larga.

Este tipo de sistemas recibe también el nombre de reactores híbridos y aunque podrían ser utilizados para producir energía eléctrica, los proyectos actualmente propuestos que están en fase de investigación en EE.UU., Francia, Suiza y Japón, están encaminados a ser utilizados únicamente como sistemas transmutadores.

151

## ¿QUÉ OTROS RESIDUOS RADIATIVOS SE GENERAN EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA?

Los residuos radiactivos generados en la producción de energía nuclear eléctrica se suelen agrupar siguiendo la secuencia antes y durante la operación de la central nuclear.

1. Residuos generados antes de la utilización del combustible en la central nuclear.

Contienen radiactividad únicamente natural y son los materiales de desecho: a) de la minería del uranio; b) de la separación del uranio, de los minerales extraídos, en las plantas de fabricación de concentrados (torta amarilla); c) del enriquecimiento en uranio-235 para aumentar la concentración del isótopo fisurable; y d) de la fabricación del combustible nuclear. Se comentan en otra pregunta.

2. Residuos generados en el funcionamiento de las centrales nucleares.

Ya se ha descrito antes lo referente a la fisión nuclear o "quemado" del combustible. Además, hay otros residuos producidos al ser posible que por alguna fisura en una vaina de combustible, una pequeñísima fracción de los productos de fisión contenidos en el elemento combustible

pase al agua del circuito de refrigeración. Asimismo, pueden pasar al agua los productos radiactivos formados por la activación en la superficie de los materiales estructurales que hay en el núcleo del reactor; finalmente algunas impurezas contenidas en el agua de refrigeración y sustancias empleadas en su tratamiento son activadas, dando lugar a productos radiactivos.

Por estas razones se producen en las centrales nucleares residuos de proceso y mantenimiento resultantes de la purificación del agua del circuito de refrigeración, siendo en su mayor parte residuos de baja actividad y, en algún caso, de media. Se producen del orden de 100 m<sup>3</sup> de este tipo de residuos por año de operación en una central de 1.000 MW, conteniendo un total de actividad de 400 curios. Este volumen se ha reducido de forma muy importante en los últimos años aplicando técnicas de secado y compresión.

Por otra parte, el combustible nuclear una vez alcanzado el grado de quemado establecido, se saca del núcleo del reactor y se coloca en las piscinas de combustible gastado de la misma central nuclear, que tienen como misión su aislamiento radiobiológico, la disipación de su calor residual y su albergue provisional en espera de su posterior gestión. El agua de la piscina se contamina, y su descontaminación por filtración y absorción producen pequeñas cantidades de residuos de baja actividad.

152

## ¿QUÉ RESIDUOS SE PRODUCEN EN LA MINERÍA DEL URANIO, ASÍ COMO EN LA FABRICACIÓN DE CONCENTRADOS Y DE COMBUSTIBLE NUCLEAR?

**E**n la minería del uranio y en la fabricación de concentrados de uranio natural se generan materiales residuales, en los que se encuentran pequeñas cantidades de uranio y de la mayor parte de los descendientes de la cadena de desintegración de éste, es decir, es radiactividad debida a radionucleidos que se encuentran en la naturaleza.

En las minas de uranio los materiales residuales sólidos están constituidos por rocas, con tan bajo contenido en uranio que no es económico su aprovechamiento (estériles de minería), los cuales se acumulan en las denominadas "escombreras".

En la producción de concentrados, los principales materiales residuales son los restos de mineral de los que se ha separado el máximo posible de uranio (estériles de planta). Estos estériles se apilan en los llamados "diques de estériles" que generalmente están situados dentro del recinto de la propia fábrica.

En estas etapas se produce el mayor volumen de residuos del ciclo. En el caso de la minería, dependiendo del tipo de yacimiento y del método de explotación, pueden variar entre 3 y 8 toneladas de estéril por kilogramo de uranio final obtenido. En las fábricas de concentrados, este parámetro se sitúa en valores medios en el entorno de 1 tonelada de residuos por kilogramo de uranio extraído.

Aunque es radiactividad natural la que poseen estos materiales residuales (estériles), ha sido aflorada a la superficie y concentrada en una zona. En caso de lluvia puede haber arrastres y filtraciones que contaminen las aguas superficiales y del subsuelo (por ejemplo con radio). También el viento puede ser agente de dispersión de la radiactividad, pues puede arrastrar partículas sólidas o radón, que es un radionucleido gaseoso producido en la desintegración del radio. Estos efectos se evitan llevando a cabo unas operaciones que se conocen como "acciones remediadoras", que significan una forma de confinamiento suficiente para esta radiactividad natural.

Las operaciones consisten en rellenar las galerías de las minas de interior, o los huecos al aire libre en las minas a cielo abierto, una vez agotadas, con los escombros de más radiactividad, dejando el resto apilados en las escombreras debidamente cubiertas con capas de



tierra, que se revegetará, de tal forma que su lixiviación y erosión por los agentes atmosféricos sea mínima.

En el caso de los diques de las fábricas de concentrados, se hace una cobertura con capas sucesivas de asfalto, rocas y arcilla para impedir la acción del viento y el agua.

En ambos casos, escombreras y diques, a la vez que se realizan las operaciones de protección contra la contaminación, se estabilizan las pilas de estériles con el fin de evitar deslizamientos.

El concentrado de uranio para ser utilizado como combustible nuclear ha de ser enriquecido en el isótopo uranio-235, para lo que se pasa a hexafluoruro de uranio gaseoso, del que una vez enriquecido se obtiene el óxido de uranio sólido, el cual es empleado, en una etapa posterior, para fabricar las pastillas cerámicas que se introducen en las varillas que conforman el elemento combustible.

En estas operaciones se producen pequeñas cantidades de residuos como consecuencia de la contaminación que se origina en las diferentes fases, así como fruto de los subproductos y rechazos del proceso empleado.

En ambos casos los residuos que se generan únicamente contienen radiactividad natural. Todos ellos son residuos que se acondicionan en bidones metálicos para proceder a su posterior almacenamiento.

153

## ¿QUÉ RESIDUOS SE PRODUCEN EN EL DESMANTELAMIENTO DE LAS CENTRALES NUCLEARES?

Cuando tiene lugar la parada definitiva de una central nuclear se procede, en el plazo más breve posible, a la retirada de la central de todo el combustible gastado que hay en ella, tanto en el núcleo del reactor como almacenado en sus piscinas.



En el caso de los reactores de agua ligera, se procede a continuación a tratar el agua de refrigeración y otros líquidos contaminados, concentrándolos y solidificándolos con cemento, obteniendo residuos sólidos de baja o de media actividad que se retiran de la central.

También se retiran todos los residuos sólidos de baja y media actividad que hubiera almacenados en la central en espera de su envío al almacenamiento definitivo.

A continuación tendrán lugar dos procesos diferentes, pero relacionados entre sí, que son la descontaminación y el desmantelamiento.

La descontaminación engloba todas las operaciones de limpieza para separar los pequeños depósitos de residuos radiactivos que pueden estar fijados en las superficies de la vasija, de los tubos, en bombas, circuitos, equipos, suelos, etc.

El desmantelamiento es el desmontaje y demolición de estructuras, tuberías y componentes, de hormigón o metálicos, que están activados o contaminados internamente y su tratamiento como residuos radiactivos. El 85% del total de una central nuclear nunca llega a ser radiactivo ni se contamina y son residuos y escombros convencionales.

En España están en fase de desmantelamiento la central de Vandellós-I, ya con la fase 2 concluida con lo que solo queda el edificio del reactor en pie; se ha retirado el combustible gastado y se ha descontaminado el resto de la instalación y ahora comienza el de la central de José Cabrera.



*Dos momentos del proceso de desmantelamiento de Vandellós-I*

Además, también están en curso los trabajos en el CIEMAT de Madrid para desmontar las instalaciones de investigación allí ubicadas. Anteriormente se habían desmantelado otros reactores de investigación y restaurado antiguas minas de uranio como La Haba en Badajoz.

#### VOLÚMENES PROCESADOS DEL DESMANTELAMIENTO DE CN VANDELLÓS-I

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Cantidad-Toneladas</i>	<i>Destino</i>
Chatarra convencional	16.500 t	Reciclado
Escombros de hormigón	277.000 t	Vertedero
Residuos Radiactivos (1)	2.000 t	Almacén Residuos Baja y Media Actividad de El Cabril
<b>Total</b>	<b>310.000 t</b>	

(1) Incluye 1.128 t en camisas de grafito.

**154**

## ¿CÓMO SE GARANTIZA EL AISLAMIENTO DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS?

**E**l principio que sigue el almacenamiento en vertederos de cualquier tipo de residuos es aislarlos del entorno humano, interponiendo entre ellos y las personas un sistema de barreras que impida su retorno para siempre, o que minimice los riesgos a un valor prácticamente nulo en el caso de retorno, aunque éste sea altamente improbable. Esto se llama confinamiento.

Para los residuos radiactivos el sistema de barreras debe mantener su eficacia hasta que la radiactividad haya disminuido por decaimiento radiactivo a los niveles fijados por las autoridades competentes. En este caso se elimina, pues, el concepto de perennidad que llevan consigo muchos residuos convencionales.

Con independencia de los avances científicos que permitan, en el futuro, desarrollar tecnologías capaces de eliminar o disminuir la radiotoxicidad de estos residuos (como podría ser la separación y transmutación), ac-

tualmente está admitida y tipificada internacionalmente la estrategia a seguir para el almacenamiento final de los residuos radiactivos, es decir, para su confinamiento definitivo.

El peligro a evitar sería que el agua de lluvia o el agua subterránea entraran eventualmente en contacto con los residuos radiactivos, disolviera alguno de los radionucleidos presentes y los transportara al entorno humano.

Para disipar este peligro, la estrategia se basa en crear una serie de barreras que preserven al combustible almacenado de la acción del tiempo:

- a) Barrera Físico-Química: hacer con los residuos paquetes insolubles y estables, capaces de resistir la agresión del agua durante largo tiempo,
- b) Barrera de Ingeniería: diseñar un recinto especialmente preparado para impedir que el agua pueda tener acceso a su interior, donde se colocarán definitivamente los paquetes,

### SISTEMA DE BARRERAS MÚLTIPLES PARA EL AISLAMIENTO DE RESIDUOS RADIACTIVOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD



c) Barrera Geológica: emplazar y construir el recinto en una formación geológica, superficial o profunda de la corteza terrestre, que pueda garantizar la integridad de los residuos durante el tiempo que se requiera, a la vez que impedir o retardar su retorno a la biosfera en el caso de un fallo, altamente imprevisible, de todo el sistema de barreras.

La naturaleza proporciona una buena prueba de la viabilidad de esta estrategia de almacenamiento. A comienzos de la década de los 70, buscando uranio en el Gabón, se descubrió que en una zona llamada Oklo se habían producido en el pasado reacciones de fisión. Una conjunción de hechos, tales como una concentración extraordinariamente alta de mineral de uranio y la presencia de agua, que actuó como moderador, hizo que el conjunto funcionara como un reactor nuclear natural.

El fenómeno se inició hace 2.000 millones de años, permaneciendo intermitentemente activo durante unos 500.000 años. El resultado fue la generación de productos de fisión y transuránicos. La mayor parte de estas sustancias, así como sus descendientes, han permanecido retenidas en el mismo lugar donde fueron generadas. El ambiente geoquímico de la zona ha dificultado la migración de esos elementos radiactivos, a pesar de que las características de la geología estaban muy alejadas de las que, actualmente, se exigen para un almacenamiento de residuos radiactivos.

155

## ¿CÓMO SE TRANSPORTAN LOS RESIDUOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD?

El transporte de las sustancias radiactivas se realiza de acuerdo con las recomendaciones establecidas por el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA). En el caso europeo, la legislación vigente es el Acuerdo Europeo para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR). El conjunto de medidas establecidas por la reglamentación tiene como objetivo reducir la probabilidad de que ocurra un accidente y en el caso que suceda, mitigar sus efectos.

La seguridad del transporte se basa en el concepto de bulto, siendo éste el conjunto formado por el material radiactivo a transportar y el embalaje que lo confina. El grado de resistencia de este embalaje es proporcional a la actividad radiactiva que contiene y a la forma físico-química de las sustancias transportadas, atendiendo a su capacidad de dispersión. La seguridad se refuerza mediante el diseño de vehículos especialmente acondicionados.

Los conductores reciben una formación específica, tanto sobre la reglamentación aplicable como sobre las características de los materiales que transportan y sobre los procedimientos de actuación en caso de accidente.

De acuerdo con la situación geográfica de los centros productores (centrales nucleares, hospitales, industrias, centros de investigación, etc.) y de las características de los residuos a retirar, ENRESA elabora un programa en el que se establecen las fechas, horas y rutas de la retirada. Estos datos se comunican, con antelación suficiente, al Consejo de Seguridad Nuclear, al Ministerio de Industria y Energía, a la Guardia Civil, a Protección Civil, etc.

Con objeto de asegurar que se cumplen los requisitos exigidos por la reglamentación vigente y las normas internas de la empresa, ENRESA exige la implantación de sistemas de calidad según normas UNE-ISO, verificando su aplicación mediante auditorías externas (a las empresas transportistas) e internas (a su propia organización).

ENRESA, en coordinación con la Dirección General de Protección Civil, tiene establecido un Plan de Contingencias para el Transporte de Residuos Radiactivos, en el cual se tipifican los diferentes posibles incidentes o accidentes que pudieran suceder durante el transporte. Este Plan también establece las responsabilidades de las diferentes organizaciones o autoridades involucradas.

La documentación generada para organizar la expedición y el sistema informático utilizado permiten conocer, en todo momento, la naturale-



za de la carga: origen de los residuos, número de contenedores, características de cada uno de ellos (contenido, datos radiológicos, etc.). De esta forma, las autoridades y organismos encargados de la seguridad disponen de toda la información que permita optimizar los medios de intervención en función de las características de los residuos transportados.

ENRESA dispone de un equipo de intervención 24 horas que se desplazaría inmediatamente al lugar del accidente, con objeto de reacondicionar los materiales dañados para poder retirarlos de la vía pública lo antes posible y, posteriormente, efectuar las labores de limpieza y descontaminación que fueran necesarias.

156

## ¿CÓMO SE ALMACENAN LOS RESIDUOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD?

**E**n el caso de los residuos de baja y media actividad, el paquete (denominado “bulto”) es un bidón metálico que contiene los residuos, generalmente inmovilizados en cemento.

Estos residuos sólo es necesario confinarlos como máximo 250-300 años. La estrategia seguida para su tratamiento es el almacenamiento definitivo.

La tecnología normalmente empleada consiste en construir, en torno a los residuos, un sistema de barreras de ingeniería, ubicadas en el interior, o sobre una formación geológica estable, a la vez que adecuada para actuar como barrera en el caso de fallo de las artificiales.

En España está en funcionamiento, desde 1992, el almacenamiento de El Cabril, en Hornachuelos (Córdoba), para este tipo de residuos, construido con la tecnología francesa de barreras múltiples.

Los residuos de baja y media actividad procedentes de las centrales nucleares llegan a El Cabril acondicionados en bidones metálicos de 220 litros. Estos bidones son introducidos en contenedores de hormigón armado de forma cúbica de 2 metros de lado, inmovilizándolos mediante una lechada de cemento. Los contenedores, cuando el cemento de relleno ha

fraguado, se llevan a su destino definitivo, una celda de hormigón armado con capacidad para 320 contenedores, la cual una vez llena, se sella y se cubre con una losa de hormigón armado. Cuando todas las celdas estén completas se cubrirán con sucesivas capas de arcilla y grava, siendo la capa exterior de tierra vegetal para plantar arbustos, con el fin de que la instalación quede integrada paisajísticamente en la zona.

El número de celdas existentes en El Cabril es de 28 (en dos plataformas) que están construidas sobre el terreno en una formación geológica constituida por pizarras arcillosas.

Los residuos procedentes de instalaciones radiactivas (pequeños productores) llegan a El Cabril sin acondicionar, operación que se realiza en las instalaciones allí existentes, procediéndose a partir de esta operación de la misma manera que con los residuos que tenían su origen en las centrales nucleares.

El confinamiento que se produce con este sistema es suficiente para que el impacto radiológico sea prácticamente nulo. En el caso improbable de una situación accidental no prevista, en que haya degradación de estas barreras, el objetivo de seguridad es que el impacto radiológico sea en cualquier caso inferior al fondo natural. A este respecto conviene recordar que un 70% de los residuos de baja actividad alcanza la inocuidad en unos decenios.

El Cabril tiene capacidad para almacenar unos 50.000 m<sup>3</sup>, volumen que se estima será alcanzado hacia el año 2020 y es ampliable, pues solo consiste en incorporar nuevos edificios o estructuras. En este sentido ha



*Vista aérea de las instalaciones de El Cabril*

habido una reciente ampliación de espacio para alojar aquellos materiales radiactivos de muy baja radiactividad y que no precisan de las garantías que aportan las estructuras existentes que deben reservarse para los materiales radiactivos para los que se los ha diseñado.

157

## ¿CUÁL ES LA COBERTURA INTERNACIONAL EN LA CREACIÓN DE NORMAS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIACTIVOS?

Desde la celebración de la I Conferencia Internacional sobre los Usos Pacíficos de la Energía Atómica en agosto de 1955 (Primera Conferencia de Ginebra) se han ido creando instituciones para la cooperación e intercambio de información, que han sido trascendentales en la creación de un cuerpo de doctrina para la gestión de los residuos radiactivos aceptado internacionalmente.

Las instituciones que se reseñan a continuación han participado, aunque algunas no de forma exclusiva, en actividades que han configurado una cobertura internacional.

1. El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).
2. La Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (AEN-OCDE).
3. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR).
4. La Comunidad Europea de Energía Atómica (EURATOM).
5. La Organización Mundial de la Salud (OMS).
6. La Organización Internacional del Trabajo (OIT).
7. La Organización Internacional de Normalización (ISO).
8. La Agencia Internacional de la Energía (AIE).
9. El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR).
10. El Comité de Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes (BEIR).
11. La Sociedad Internacional de Radiología (ICR).
12. La Organización Marítima Internacional (OMI).



13. El Grupo de Expertos para el Estudio de la Prevención de la Contaminación del Medio Marino (GESAMP).
14. La Asociación Nuclear Europea.
15. La Comisión Internacional de Unidades de Radiación (ICRU).

A este conjunto de órganos independientes unos de otros se debe el gran esfuerzo para la generación de una normativa básica tecnológica, de seguridad, de protección radiológica, de aspectos sociales y de ética, con proyección internacional en el tema de los residuos radiactivos.

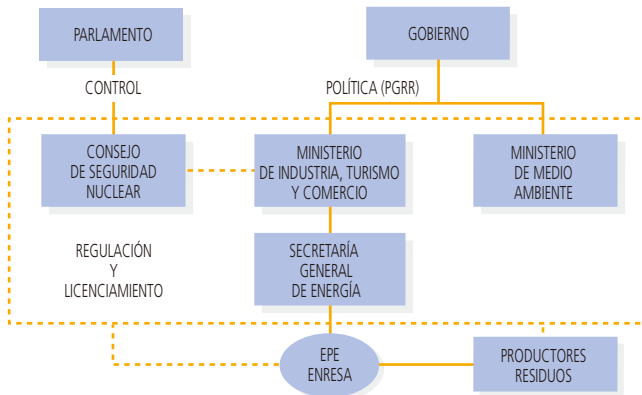
158

## ¿QUÉ ES ENRESA Y EN QUÉ CONSISTE EL VI PLAN GENERAL DE RESIDUOS RADIATIVOS?

Los Estados con programas nucleares significativos han creado entes públicos específicos para la gestión de los residuos radiactivos, o han responsabilizado de su creación al consorcio de empresas productoras de energía nucleoelectrica, reservándose de alguna manera el seguimiento y control técnico y financiero. En España, desde un primer momento estuvo controlada la gestión de los residuos radiactivos, habiéndose encargado de esta labor el centro de investigación que se creó para la actividad nuclear, la Junta de Energía Nuclear, hoy CIEMAT, hasta la constitución de ENRESA.

La Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, ENRESA, se crea por Real Decreto 1522/1984. Es una sociedad pública, participada en un 80% por el CIEMAT y en un 20% por SEPI (antes Instituto Nacional de Industria). Su misión es gestionar los residuos radiactivos producidos en España, incluido el combustible gastado y el desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares y radiactivas, actividades que constituyen un servicio público esencial que se reserva, en conformidad con la actual constitución, artículo 128.2, a la titularidad del Estado. Esta labor se realiza a través del Plan General de Residuos Radiactivos que esta entidad pública presenta al gobierno para su aprobación. En la actualidad está vigente el VI Plan Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos de fecha julio 2006.

### ESQUEMA DE ORGANIZACIÓN PLANTEADA EN EL VI PGR



Tal como se establece en el Real Decreto de constitución de ENRESA, los costes de las actividades derivadas de la gestión de los residuos radiactivos deben ser financiados por los generadores de dichos residuos, y tienen que cubrir los gastos que se derivan de todas las etapas de la gestión, aunque éstas se realicen después de haber terminado la vida útil de las centrales nucleares o de cualquier otra instalación generadora.

En el sector nucleoelectrico esta financiación se hacía a través de una cuota porcentual sobre la recaudación por venta de toda la energía eléctrica que se consume en el país. Esta cuota ha sido del 0,8%. En el nuevo plan aprobado, los costes son soportados por los que producen los residuos y en el caso del combustible gastado por las centrales nucleares con una cuota de unos 20 céntimos de Euro por kWh producido.

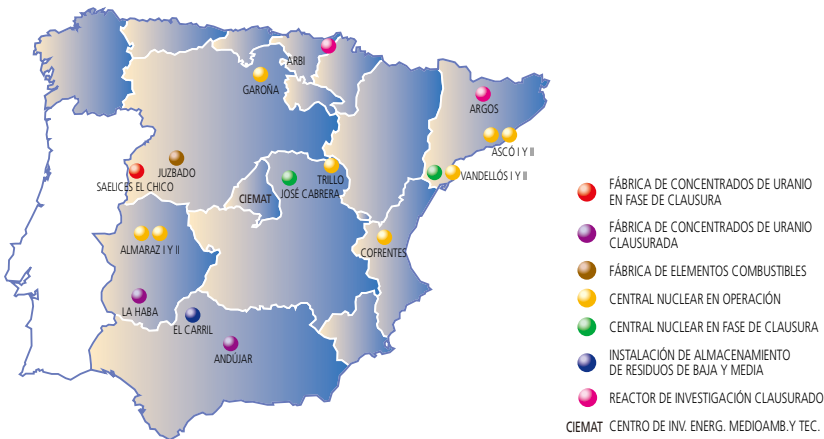
En el caso de las instalaciones radiactivas (pequeños productores), se establece una tarifa, por la prestación del servicio, que debe ser abonada en el momento de la recogida de los residuos.

En el actual VI Plan nacional aprobado en junio de 2006, se hace un inventario de los residuos a gestionar en volumen y categorización y se determinan los costes de gestión y el procedimiento de gestión de las cuotas de los generadores de residuos, capitalizándolos en el tiempo con los ratios financieros. Además, se relacionan los programas de investigación y las colaboraciones y participaciones con organismos, empresas e instituciones internacionales que trabajan en estos campos.

Así mismo, el Plan establece el objetivo de disponer de un Almacén Temporal Centralizado (ATC) como la solución transitoria a adoptar en España para la gestión del combustible gastado de sus centrales nucleares. A este fin y para la designación del emplazamiento, se opta por la solicitud de candidaturas de ayuntamientos de toda España y por la creación de una comisión interministerial que valorará esas candidaturas desde el punto de vista técnico y de otros factores.

En definitiva, el Plan establece para España un volumen de 12.800 m<sup>3</sup> de residuos de alta actividad, con el combustible gastado de las centrales nucleares a lo largo de su vida útil esperada y de 176.300 m<sup>3</sup> de residuos de baja y media actividad. El coste total de esta gestión que es integral de todo el proceso hasta su almacenamiento final, es de 13.000 M€, valor 2006 y que cubre todo el período desde 1985 hasta el año 2070.

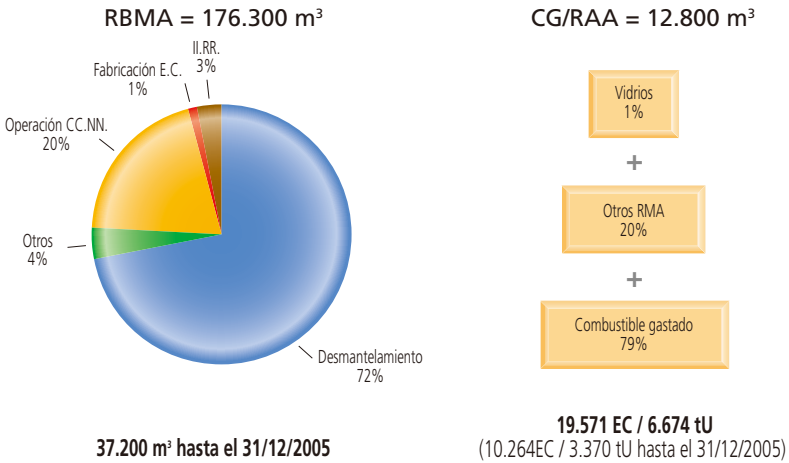
### INSTALACIONES GENERADORAS DE RESIDUOS RADIACTIVOS EN ESPAÑA



### Registro de instalaciones radiactivas

LA CORUÑA: 30	LA RIOJA: 5	ÁVILA: 2	TARRAGONA: 24	SEVILLA: 51
LUGO: 6	LEÓN: 11	MADRID: 266	CASTELLÓN: 11	CÓRDOBA: 19
ORENSE: 4	PALENCIA: 3	HUESCA: 6	VALENCIA: 72	JAÉN: 8
PONTEVEDRA: 15	BURGOS: 17	ZARAGOZA: 34	ALICANTE: 27	CÁDIZ: 25
ASTURIAS: 37	ZAMORA: 2	TERUEL: 8	MURCIA: 29	MÁLAGA: 22
CANTABRIA: 22	VALLADOLID: 12	CÁCERES: 10	TOLEDO: 12	GRANADA: 26
VICAYA: 67	SEGOVIA: 6	BADAJOS: 10	CUENCA: 4	ALMERÍA: 12
GUIPÚZCOA: 37	SORIA: 2	LÉRIDA: 11	CIUDAD REAL: 12	ISLAS BALEARES: 15
ÁLAVA: 20	GUADALAJARA: 8	BARCELONA: 223	ALBACETE: 7	S. CRUZ DE TENERIFE: 19
NAVARRA: 29	SALAMANCA: 11	GERONA: 11	HUELVA: 11	GRAN CANARIA: 12

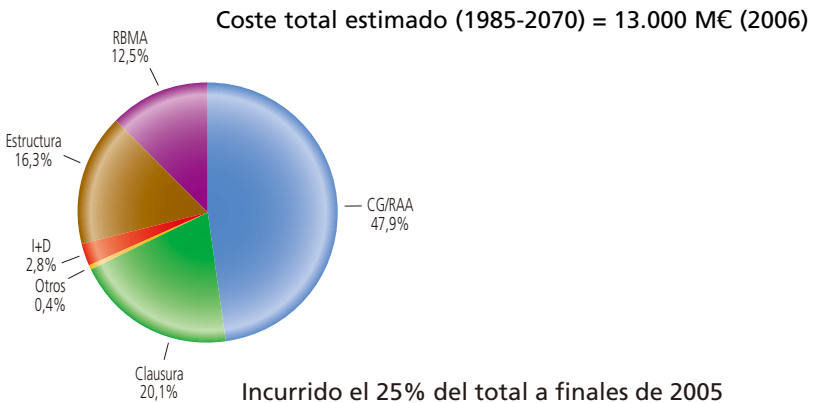
## RESIDUOS RADIACTIVOS A GESTIONAR EN ESPAÑA HASTA 2070



RBMA: Residuos de Baja y Media Actividad acondicionados (incluye residuos de muy baja actividad).  
CG/RAA: Combustible Gastado y Residuos de Alta Actividad encapsulados  
(incluye residuos de media actividad).

EC: Elementos Combustibles.  
CC.NN.: Centrales Nucleares.  
II.RR.: Instalaciones Radiactivas.

## COSTES DE LA GESTIÓN POR GRANDES CONCEPTOS



CAPÍTULO  
12

# EL RIESGO EN LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD





---

**Toda actividad humana conlleva un riesgo que aunque es objetivamente medible y comparable con otros, al final es percibido de forma subjetiva.**

**El riesgo soportado por el uso de la energía nuclear es aceptable, pues está limitado y su valor es muy inferior al de la mayoría de las actividades humanas.**

**Pero este riesgo solo será legítimamente aceptable si, previamente, la actividad nuclear esté legislada, regulada, controlada y supervisada en un sistema de derecho y en un régimen democrático que garantice la independencia de los poderes del estado.**

---

159

---

## ¿QUÉ ES Y CÓMO SE DEFINE EL RIESGO?

**E**n toda actividad o instalación industrial existe la posibilidad de que se produzcan diversos tipos de fallos o de funcionamiento defectuoso. La posibilidad de que aparezca uno de ellos viene definida por una probabilidad. A su vez, este fallo, si se produce, dará lugar a unos determinados efectos indexados.

La variable aleatoria que asocia tales efectos adversos con la probabilidad de que se produzcan, se llama función del riesgo. En términos reales, debería definirse la función de distribución del riesgo, que es aquella que da la probabilidad de que se produzcan daños inferiores a uno dado. Estas consecuencias serán, unas veces, el número de muertes en un accidente y otras, los daños materiales valorados en unidades monetarias. Matemáticamente el riesgo de un cierto accidente se cuantifica mediante el producto de la probabilidad por el daño producido.

$$\text{Riesgo} = \text{Daño} \times \text{Probabilidad}$$

Esta importante relación puede ser de incómoda interpretación y aún más en su comprensión y aceptación. El “daño” de un accidente asociado a una tecnología concreta (p. ej. el número de víctimas por accidente) puede ser muy elevado pero si su “probabilidad” de ocurrencia es baja, el resultado final, el “riesgo”, puede ser inferior al de otra tecnología que tenga una alta siniestralidad o probabilidad de accidente (p. ej. el automóvil), pero de muy limitado daño (pocas víctimas por accidente).

En consecuencia, una tecnología como el automóvil que presenta un riesgo muy elevado, pues genera anualmente millones de muertos y accidentados, así como elevados costes económicos, está aceptada socialmente, mientras que otras tecnologías como la nuclear, cuyo riesgo es inferior aunque subjetivamente no lo parezca, genera un rechazo social inmensamente mayor. Sirva para completar estas palabras que el máximo accidente nuclear ocurrido en la central de Chernóbil ha cuantificado el daño real y ha despejado incertidumbres de su medida. Esto se comentará en otra pregunta posterior.



Origen	Probabilidad	Daño
Inundaciones 1887 en China	Baja	1.000.000 muertos.
700 desastres naturales en 1999	Baja	70.000 muertos.
Pérdidas económicas por desastres naturales (1990-99)	Baja	535.000 M\$.
Uso automóvil en España S. XX	Alta	250.000 muertos y 14.000.000 heridos.
Uso automóvil en el mundo S. XX	Alta	35.000.000 muertos y 500.000.000 heridos graves.
Uso automóvil hoy, media diaria	Alta	En España 12 muertos. En el mundo 3.000 muertos y 100.000 heridos.
Uso automóvil. Coste económico anual España	Alta	6.000 M€ (50% ingresos turísticos).
Accidente Chernóbil (1986)	Muy baja	57 muertos directos por el accidente, 200.000 personas evacuadas. Se constata cáncer cierto de tiroides hasta 10.000 personas y daños en la salud de trabajadores "liquidadores". Mayores daños psicológicos.
Tsunami 2004	Baja	220.000 muertos.

Fuente: Aseguradora Munich Rae; Instituto Seguridad Vial-Valencia y otros.

160

## ¿CÓMO SE ACEPTAN LOS RIESGOS DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS?

**A**nte la imposibilidad de vivir en un mundo absolutamente seguro, tanto los individuos como la sociedad aceptan determinados riesgos e, incluso, llegan a olvidarse de su existencia cuando son lo suficientemente pequeños y se está normalmente acostumbrado a ellos. Para poder adoptar decisiones sobre las actividades que puedan implicar daños



se han efectuado diversos estudios, relacionados con la postura de las personas, o grupos, frente a determinados riesgos. En estos estudios se ha comprobado que la actitud ante el riesgo difiere de unos a otros individuos, así como de que se trate de fenómenos conocidos a los que se esté acostumbrado o sean nuevos, y también de si son impuestos o no.

Se ha comprobado que algunas decisiones, a pesar de tener un riesgo mayor que otras, tienen una mayor aceptabilidad. Tal es el caso de quien temiendo viajar en avión lo hace en automóvil, a pesar de que en éste la probabilidad de accidente sea mucho mayor.

En la adopción de decisiones relacionadas con el riesgo, se puede seguir el criterio empírico que consiste en determinar la función de la distribución del riesgo y compararla con las de otros aceptados por la sociedad. La actividad cuestionada será aceptable sólo si la función de distribución es igual o menor que las de otras actividades cuyos riesgos son aceptados.

Además de los riesgos relacionados con la salud, existen otros muchos aspectos importantes, tales como su repercusión social, las ventajas económicas, el impacto en el medio ambiente y los daños físicos, que deben tenerse en cuenta a la hora de decidir una actividad frente a otra.

161

## ¿QUÉ RIESGOS EXISTEN EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA?

**E**l aprovechamiento energético del agua para producir energía eléctrica trae consigo una serie de transformaciones que modifican el curso de las aguas de los ríos, como son la construcción de presas, embalses, canales, galerías, etc.

La generación de energía eléctrica mediante el agua presenta la ventaja fundamental de usar un recurso natural renovable, que, empleando además adecuadamente las transformaciones anteriores, puede utilizarse para control de inundaciones, riesgos, suministro de agua potable y para instalaciones industriales.

Los riesgos ocasionados por esta forma de energía se concentran en los accidentes catastróficos derivados del hundimiento de presas o embalses.

Durante la fase de construcción, los accidentes que pueden ocurrir afectan fundamentalmente al personal trabajador. Los que pueden ocurrir durante la operación o explotación de la central son de tipo catastrófico, por rotura del muro de contención de la central o por pérdida de asentamiento del mismo, tras un posible desplazamiento del terreno. En ambos casos, se pone en libertad una gran masa de agua.

162

## ¿CUÁL ES EL RIESGO DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS DE CARBÓN?

Los riesgos del empleo del carbón para producir energía eléctrica se localizan en el ciclo de la minería del carbón, en las fases de construcción y en la operación y explotación de la central:

- La minería produce un elevado riesgo de enfermedades respiratorias en los trabajadores, además de enfermedades de tipo nervioso, por inhalación de polvo procedente del proceso de extracción del carbón.
- Durante la construcción los riesgos no son superiores a los de otras actividades industriales, que tienen una frecuencia de ocurrencia característica de la instalación de construcciones civiles de gran envergadura. En ningún caso suelen ser de tipo catastrófico.
- En la fase de explotación hay riesgos para la salud de los trabajadores como son: enfermedades respiratorias por la existencia de polvo de carbón, y posible pérdida de capacidad auditiva por ruidos excesivos. Para el público en general, el riesgo se debe a los gases de combustión ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ), hidrocarburos, materia orgánica, cenizas, metales y radionucleidos, que ocasionan enfermedades respiratorias, toxicidad y cáncer. Además, por la producción de gran contenido de cenizas, se puede producir contaminación de aguas subterráneas. Hay que señalar también las lluvias ácidas.

- El impacto ambiental que producen estas centrales hay que valorarlo en el tiempo, y en su medio local, regional o global. A corto plazo y en su entorno se produce una contaminación superficial y de aguas subterráneas, por los gases de combustión, y por las cenizas. En el entorno regional por las emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  puede producirse deforestación. De forma global y a más largo plazo, se produce un cambio en el ecosistema local, y estas centrales tienen una participación importante por el  $\text{CO}_2$  en el efecto invernadero. También es cierto que se están desarrollando tecnologías de secuestro del carbono y limpieza de gases que disminuyen dichos efectos.



*La minería del carbón,  
una actividad de elevado riesgo*

163

## ¿CUÁL ES EL RIESGO DE LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS DE FUELÓLEO?

Los riesgos derivados del ciclo del fuelóleo, desde su extracción como petróleo, el transporte, el refinado y su empleo en la central, son fundamentalmente fuego en los yacimientos, emisión de gases orgánicos durante el refinado que puede producir gran riesgo de cáncer, daños elevados por fuego en las refinerías, así como durante el transporte.

El riesgo para el público y el impacto ambiental en la explotación de una central térmica de fuelóleo se deben a los gases producidos en su combustión, como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , hidrocarburos y materia orgánica. Estas centrales tienen una participación importante en el efecto invernadero por el  $\text{CO}_2$  vertido.

164

## ¿CUÁL ES EL RIESGO DE LAS CENTRALES TÉRMICAS DE GAS NATURAL?

**S**i bien en una central térmica de gas los riesgos para la salud y el impacto medioambiental son menores que en una de carbón y en una de fuelóleo, durante la combustión aparece fundamentalmente  $\text{NO}_x$ , que produce un gran riesgo de enfermedades respiratorias.

A esto hay que añadir el riesgo de fuego y explosión durante el almacenamiento y transporte del combustible, procesos muy importantes en estas centrales. Este riesgo se debe a la presencia de gases licuados inflamables en la composición del gas natural.

Las emisiones de  $\text{NO}_x$  producen un impacto medioambiental a corto y largo plazo en el entorno regional y local. Al producir  $\text{CO}_2$ , aunque sea menos que las de carbón, estas centrales participan en el efecto invernadero.

165

## ¿CUÁL ES EL RIESGO DE LAS CENTRALES SOLARES?

**S**i son de tipo térmico, que usan heliostatos o espejos, los riesgos los producen la luz reflejada en los espejos (que puede producir ceguera) y los fluidos con los que se trabaja, como sales de sodio, que en general son productos tóxicos.

Si se trata de una central solar fotovoltaica, el riesgo más importante se produce en las fábricas de células solares por el gran riesgo de exposición a sustancias y gases tóxicos, y la toxicidad de esos componentes cuyo escape accidental durante el proceso de fabricación es un riesgo para la salud del público.

166

## ¿CUÁL ES EL RIESGO DE LOS PARQUES EÓLICOS?

Un parque eólico está formado por un gran número de unidades eólicas, de elevada altura, con palas de los aerogeneradores de enormes dimensiones sometidas a fuerzas del viento muy intensas. El mayor riesgo se produce si las palas se desprenden, cuando las condiciones del viento superan los límites de diseño.

Si dichos parques están cerca del punto de consumo aparece un riesgo para la población. En este caso hay que añadir el impacto ambiental en forma de ruido y la gran ocupación de espacio, junto con el daño estético.



167

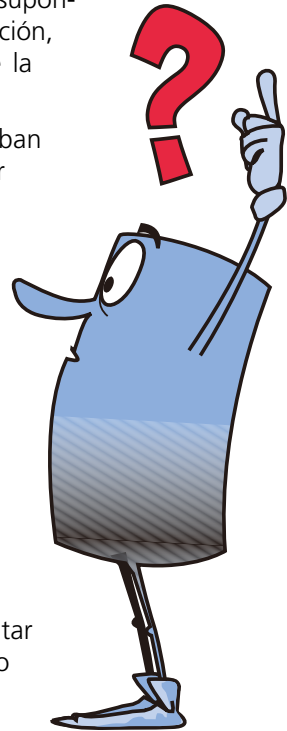
## ¿CUÁL ES EL RIESGO DE LAS CENTRALES NUCLEARES Y CÓMO SE COMPARA CON LOS DE OTRAS CENTRALES?

**E**l riesgo de las centrales nucleares se debe a la presencia y posible escape al exterior de las radiaciones y de los productos radiactivos producidos en el núcleo del reactor.

Por este motivo, la seguridad nuclear se basa en diseñar, construir y operar las centrales nucleares para lograr de forma segura la producción de energía eléctrica, sin que ello suponga un riesgo superior al tolerable para la población, al medio ambiente y para los trabajadores de la central.

El riesgo nuclear es pequeño, como ya indicaban las cifras del famoso informe preparado por Rasmussen (hoy la probabilidad de accidente es de  $10^{-5}$  y en nuevos diseños de  $10^{-6}$ ). El riesgo es tan bajo porque la probabilidad de producirse un accidente es muy pequeña. Tras recoger la experiencia de los dos accidentes más graves de la historia, los de Three Mile Island (TMI) y Chernóbil, la probabilidad de ocurrencia sigue siendo muy pequeña, y con los nuevos diseños y planes establecidos el daño potencial ocasionado también sigue decreciendo en magnitud.

Si se compara el accidente de TMI, en el cual apenas hubo emisiones radiactivas al exterior, con el de Chernóbil que sí las tuvo, es de resaltar que el concepto de seguridad nuclear impuesto por los países occidentales es mucho más estricto que el impuesto en su día por la anti-



gua Unión Soviética, y que está hoy en línea con los usos mundiales. También ha servido para delimitar el concepto de daño infringido.

En definitiva, se puede afirmar, con los datos existentes, que el riesgo nuclear no solo es bajo sino que hoy es menor, en los nuevos diseños y por las prácticas de operación incorporadas en la industria y que el daño también es limitado y decreciente. La actividad industrial es completamente aceptable para la sociedad, eso sí, siempre que se mantengan las condiciones de existencia de un control y supervisión independientes y de una garantía legislativa y regulatoria, y de estabilidad social.

A la hora de comparar los riesgos entre las centrales nucleares y las que generan electricidad con otras tecnologías, se observa en primer lugar y de forma general, que el número de fallecidos por cualquier actividad relacionada con centrales eléctricas es menor que por cualquier otra actividad humana. Si ahora nos centramos en el empleo de centrales nucleares y analizamos su riesgo, tenemos que referirnos al informe Rasmussen en donde se comparaban la frecuencia de daños materiales originados por fenómenos naturales y los sucesos de actividades humanas, con los ocasionados por el funcionamiento de 100 centrales nucleares. Los riesgos nucleares son siempre extraordinariamente bajos, por la aplicación del concepto de seguridad a ultranza. Este informe conserva su vigencia.

168

## ¿QUÉ SE ENTIENDE POR SEGURIDAD INTRÍNSECA DE UNA CENTRAL NUCLEAR?

**D**e acuerdo con el criterio de un diseño seguro, la central debe mantener una seguridad intrínseca y una seguridad incorporada. La primera se refiere a la imposibilidad de que se desencadene una reacción nuclear de fisión incontrolada y la segunda a los elementos añadidos que permiten la regulación, control y detención inmediata de esa reacción nuclear. La seguridad intrínseca surge de las características físicas del comportamiento del combustible nuclear mientras que la seguridad funcional nace de la ingeniería desarrollada y de su diseño con medidas ta-

les como la presencia en el núcleo de elementos de control accionados por el operador o por mecanismos automáticos, así como las barreras de protección interpuestas.

La seguridad intrínseca nace de su diseño y se basa en principios físicos asociados al proceso de fisión nuclear, como la existencia de una configuración específica (geometría) en la distribución del material fisionable y la presencia de un mínimo de este material o "masa crítica". Entran en este aspecto variables como el enriquecimiento del combustible y la geometría de su distribución, la separación entre barras del combustible, el número total de elementos combustibles, los materiales usados en la vaina y en la estructura de soporte del combustible, el número total de barras de control, la temperatura del refrigerante, la presencia de burbujas de vapor que modifican la moderación neutrónica, etc.

Con los diseños actuales en reactores de agua ligera, en el caso de una elevación de potencia indeseada (sea fortuita o como resultado de error o fallo), la desviación de estos parámetros (distorsión de la geometría, falta de refrigerante, temperatura, burbujas) da lugar inmediatamente a una parada o disminución de potencia por mecanismos naturales, como la disminución de la reactividad por falta de moderación o por mayor temperatura del combustible, sin que sea necesaria la intervención del operador.

169

## ¿CUÁLES SON LOS PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA SEGURIDAD NUCLEAR?

La seguridad nuclear o seguridad incorporada tiene como meta que durante la explotación de una central no haya escapes de productos radiactivos ni de radiación, ni que se produzcan daños al público, al personal de explotación o al medio ambiente. Para ello el diseño de la central procura la detención inmediata de la reacción nuclear, el mantenimiento de la refrigeración del combustible nuclear y el control y confinamiento de los materiales y de las sustancias radiactivas.



Para cumplir este criterio básico, las centrales nucleares se construyen de acuerdo con el principio de seguridad a ultranza. Consiste en prevenir en lo posible los fallos que podrían producirse a consecuencia de errores de diseño, fabricación, construcción u operación o por causas externas, y aceptar que, aún así, podría producirse algún fallo, por lo que, además, han de incorporarse sistemas conocidos como “salvaguardias tecnológicas” para controlarlos, y adoptarse medidas en la central que anulen o minimicen las consecuencias de dichos fallos. En síntesis, la seguridad nuclear establece unas medidas escalonadas de seguridad, de tal modo que si falla alguna quedan todavía las siguientes para evitar daños.

Para ello se proyectan y construyen las centrales con parámetros y materiales capaces para resolver las situaciones de accidente (incluidos incendios, explosiones, etc.) e impedir que éste se produzca por sucesos naturales externos esperables en la zona de su emplazamiento como sismos, huracanes, riadas, etc. Se adoptan unos niveles de calidad muy superiores a los de la mayoría de las instalaciones industriales y se incorporan sistemas de seguridad que suplen, duplicándolos, a los sistemas principales en caso de fallo de éstos o fallo de alguno de sus componentes.

En relación con otro tipo de acciones no naturales, como son las intencionadas de tipo terrorista, en todas las centrales existe un plan y medidas de protección físicas y de vigilancia que prevén tales acciones.

A pesar de estas medidas, nunca se podrá eliminar completamente la posibilidad de fallo, como en cualquier actividad humana, pero su probabilidad será muy pequeña.



## ¿CUÁLES SON LAS BARRERAS DE SEGURIDAD QUE IMPIDEN LOS ESCAPES RADIATIVOS DE UN REACTOR NUCLEAR?

Las vías de escape de la radiación y de los productos radiactivos suelen ser similares en cualquier tipo de central nuclear. Para impedir el escape se interponen varias barreras de seguridad, las cuales se describen a continuación:

- El combustible nuclear es un material cerámico, formado por pastillas de óxido de uranio sinterizado de gran densidad, y constituye la primera barrera, pues retiene una gran cantidad de productos de fisión que no pasan a la vaina. Normalmente, a la temperatura de funcionamiento retiene todos los productos de fisión sólidos y el 90 por 100 de los gases y volátiles producidos.
- La segunda barrera es la vaina donde se apilan, encerradas herméticamente, las pastillas de  $UO_2$ , y que no deja pasar los productos de fisión al refrigerante; en el diseño se admite que pueda existir una pequeña proporción de defectos mecánicos o porosidades en las vainas.
- La tercera barrera es el circuito primario o circuito de presión, integrado por la vasija del reactor, que es de acero especial de 20 a 25 cm de espesor, revestida interiormente de acero inoxidable, por las bombas de refrigeración, presionador en los reactores PWR, generadores de vapor y tuberías de conexión entre los distintos elementos.
- La cuarta barrera es el edificio de contención, construido de hormigón postensado sobre una losa también de hormigón de más de tres metros de espesor. Todo este edificio va recubierto interiormente por una chapa de acero para asegurar su hermeticidad, incluso en el supuesto de rotura súbita del sistema de refrigeración. En los reactores soviéticos no existía esta cuarta barrera o edificio de contención, que habría aminorado las consecuencias del accidente de Chernóbil. En la actualidad, este recinto se incluye también en esas centrales y se procede al cierre de los que no lo incluyen.

Podría hablarse también de una quinta barrera formada por las salvaguardias tecnológicas: redundancia de equipos, sistemas y componentes, diseño antisísmico, protección contraincendios, sistemas pasivos de control, etc.

171

## ¿QUÉ SON Y PARA QUÉ SIRVEN LAS SALVAGUARDIAS TECNOLÓGICAS?

**A**demás de la seguridad intrínseca en los reactores nucleares, dada por el diseño de su núcleo, existe la seguridad incorporada que aparece en el diseño del reactor. Consta de las barreras físicas, los sistemas de protección y control del reactor que controlan la reacción nuclear y las salvaguardias tecnológicas. Aquí nos referiremos a estas últimas.

Las salvaguardias tecnológicas son un conjunto de sistemas diseñados para garantizar la protección del reactor (detención inmediata de la reacción nuclear y mantenimiento en este estado) así como el confinamiento de los productos radiactivos de forma que se eviten los accidentes y se reduzcan sus consecuencias exteriores a límites mínimos. En los reactores de agua ligera están primero las salvaguardias enfocadas a asegurar la refrigeración del núcleo aun en el caso de la pérdida por rotura del circuito de refrigeración, evitando que se alcance la temperatura de fusión del combustible y las destinadas al control de la reacción nuclear. La primera, además, está apoyada por la presencia del recinto de contención, que debe ser capaz de soportar la temperatura y presión derivadas del citado accidente y contener, en su caso, el material radiactivo.

Para este fin, se disponen sistemas alternativos o redundantes que cumplen desde el punto de vista de la seguridad la función de refrigeración del núcleo y la de control de la reacción nuclear. Son los siguientes sistemas de seguridad nuclear que detallamos, aunque cabría hacer con mayor extensión una relación de otros que exceden el carácter de esta publicación:

- El sistema de inyección de seguridad, que suministra agua borada a la vasija del reactor en caso de rotura del circuito primario de refrigera-

ción y que actúa de forma pasiva, primero, por descarga de tanques a presión y después mediante bombas de inyección que recirculan el agua recogida en el recinto de contención.

- El sistema de refrigeración de emergencia del núcleo, que resuelva el fallo del sistema de refrigeración principal, junto con el necesario sistema de evacuación del calor residual que permite evacuar el calor generado en caso de fallo del principal.
- Además, en la contención existen el sistema de aspersión de la contención y el de refrigeración por ventilación, el primero para reducir la presión mediante inyección de agua con boro en la atmósfera del recinto de contención, y el segundo para eliminar el calor desprendido en el accidente.



172

## ¿QUÉ MEDIDAS SE TOMAN PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD DE UNA CENTRAL NUCLEAR?

Las medidas de seguridad adoptadas en las centrales nucleares occidentales, y por tanto en las españolas, son entre otras:

- a) Selección de un emplazamiento apropiado, teniendo en cuenta sus características geológicas, sísmicas, hidrológicas y meteorológicas. Se realizan una serie de análisis, sondeos y observaciones para diseñar la instalación de modo que soporte los daños producidos por terremotos, inundaciones, cargas del viento y efectos adversos originados por otros fenómenos.
- b) Antes del comienzo de la construcción de la central, se somete a la aprobación de la Administración el Estudio Preliminar de Seguridad, que describe los criterios del proyecto de la instalación y analiza el funcionamiento de los distintos sistemas y estructuras. Además, considera incidentes hipotéticos anormales y demuestra que, aunque se produjesen, la población no sufriría daños inaceptables.
- c) Para obtener el permiso de explotación se presenta el Estudio Final de Seguridad, semejante al anterior, pero donde se ha de demostrar que se ha cumplido lo especificado en él y en el que se describe y analiza cómo ha quedado construida la central. En este estudio final se detalla que:
  - Los productos radiactivos que se generan en el núcleo están protegidos por cuatro barreras sucesivas que impiden su liberación directa al exterior.
  - Los edificios, sistemas y componentes relacionados con la parada del reactor, su mantenimiento en este estado y el confinamiento de la radiactividad son resistentes al máximo sismo esperable y a sucesos naturales que puedan ocurrir en el entorno.

- Aun en el caso hipotético de un accidente, existen sistemas de seguridad que impiden que sus consecuencias sean inaceptables.
  - Los sistemas importantes para la seguridad tienen componentes duplicados e independientes para que, en caso de fallo de uno de ellos, actúe su "doble" sin que se deriven efectos perjudiciales. También se duplican las líneas eléctricas, acometidas de agua y otros sistemas, cuando por razones de seguridad hay que garantizar el suministro.
  - La central se protege contra posibles sabotajes y dispone de sistemas muy elaborados de protección contra incendios.
  - La fabricación de componentes y su instalación y montaje se han realizado de acuerdo con un programa de garantía de calidad muy severo.
- d) Antes de comenzar la operación comercial de la central se prepara una serie de documentos oficiales para la explotación que, tras ser aprobados por la Administración, regulan detalladamente todos los aspectos de aquélla.
- e) Antes y durante el funcionamiento de la central, los diversos componentes se someten a pruebas para comprobar que funcionan de acuerdo con lo previsto en el proyecto. Así mismo se efectúa el mantenimiento preventivo de la instalación.
- f) La Administración regula la concesión de licencias al personal de operación de la central, las cuales hay que renovar periódicamente.
- g) La Administración ejerce vigilancia sobre el buen funcionamiento y el cumplimiento de las especificaciones de explotación durante toda la vida de la central. Para ello, existe un regulador independiente, el Consejo de Seguridad Nuclear, que controla y supervisa toda la actividad nuclear, informando al Parlamento y asesorando a la autoridad ejecutiva, el Ministerio de Industria, proponiendo llegado el caso la incoación de expedientes y sanciones, incluida el cierre de instalaciones y pérdida de los permisos concedidos.
- h) Antes de que la central comience a funcionar, se estudia el fondo radiológico de la zona. Durante la explotación, se ejerce una vigilancia ambiental para comparar los resultados de sus medidas con el fondo y poder determinar cualquier influencia de la instalación sobre la zona.

## ¿CÓMO ES LA SEGURIDAD DE UNA CENTRAL NUCLEAR DURANTE SU OPERACIÓN?

La seguridad de una central nuclear durante su operación se mantiene con varios sistemas.

El control de la operación se basa en seguir la potencia del reactor y en regular su reactividad (coeficiente de aceleración de la reacción nuclear). Para ello, el sistema de instrumentación y control del reactor determina el valor de todas las variables de la operación, como son el flujo neutrónico, la temperatura del refrigerante, caudal, presión, etc., limitando sus valores y regulándolos mediante la concentración de boro en el refrigerante y las barras de control.



*Sala de Control de una central nuclear*

Además, existe el sistema de protección del reactor cuyo fin es la parada instantánea del reactor mediante una inmediata inserción de las barras de control ante una indicación de que algún parámetro del reactor tiene valor fuera del intervalo previsto.

Junto con estos sistemas, la seguridad durante la operación de la central está complementada con la inspección, vigilancia y comprobación periódicas de dichos sistemas, equipos y componentes, mediante ensayos previamente programados. Está, a este respecto, la denominada inspección en servicio que de forma mecanizada y con robots verifica periódicamente el estado de las soldaduras de la vasija y de las tuberías del circuito de refrigeración principal.

Existe también un plan de vigilancia radiológica ambiental, tanto en el emplazamiento de la central, como en los alrededores, durante todo el período de explotación. Básicamente consiste en:

- a) Toma de datos de dosis en las estaciones ambientales seleccionadas.
- b) Toma de muestras de la fauna y la flora de la zona.
- c) Toma de muestras de agua, aire y leche.
- d) Preparación y recuento radiológico de las muestras.
- e) Evaluación radiológica y cálculo de dosis acumuladas.

174

## ¿QUÉ SE ENTIENDE POR NIVELES ADMINISTRATIVOS DE SEGURIDAD?

**S**e entiende por nivel administrativo de seguridad, el control que la Administración ejerce sobre las empresas propietarias de las centrales nucleares, con el fin de mantener los niveles técnicos requeridos durante el proyecto, la construcción y la explotación de aquéllas.

El primer nivel administrativo de seguridad consiste en una gestión integral de la calidad mediante el estricto control realizado sobre todo el



conjunto de actividades de una central nuclear. Se trata de un sistema notarial que documenta todo lo que se hace y controla la adecuación de métodos aplicados y del personal involucrado. En este nivel se encuadra el denominado programa de garantía de calidad, que reúne todas las acciones planeadas y aplicadas sistemáticamente con el objeto de proporcionar una confianza sólida de que todos los materiales, componentes y equipo se comportarán adecuadamente durante la operación de la central. Esta garantía de calidad incluye un control mediante exámenes de cada material, componente o equipo, y la correspondiente gestión de la documentación que garantiza los distintos exámenes realizados.

El responsable de esta gestión integral de la calidad es el explotador de la central nuclear, que normalmente es una empresa eléctrica y para ello suele preparar un plan de coordinación de todos los participantes de la central (ingeniería, fabricantes de equipos y componentes, suministradores, constructores, etc.). El control lo ejercen los órganos competentes de la Administración a través de la inspección realizada por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

El segundo nivel administrativo de seguridad está formado por toda la normativa, condicionantes y restricciones en la explotación de la central impuestos por los órganos de la Administración. Aquí se incluyen todos los preceptos que marca la reglamentación, los condicionantes y normas específicas incluidos en las autorizaciones dadas por la Administración y los reglamentos internos redactados por el personal de la central, que son aprobados por la Administración por lo que adquieren carácter mandatorio.

La actividad nuclear en España está completamente regulada y normalizada.

175

## ¿PUEDE HACER EXPLOSIÓN UNA CENTRAL NUCLEAR?

**N**o. Para que tenga lugar una explosión nuclear usando uranio es necesario que la concentración del isótopo U-235 sea superior al 90%. En el combustible de las centrales nucleares la concentración en dicho

isótopo es inferior al 5%, por tanto es imposible que pueda producirse una explosión nuclear en ellas.

Además, los explosivos nucleares no pueden incorporar elementos moderadores ni absorbentes que permitan controlar el flujo de neutrones, mientras que en los reactores nucleares la presencia de elementos de control hace que la reacción pueda estar siempre controlada y por tanto nunca se pueda producir un aumento incontrolado del número de neutrones.

Pueden, sin embargo, darse accidentes químicos, eléctricos o mecánicos, pues se trata de una instalación industrial. En Chernóbil, de hecho, hubo una explosión de origen químico que dispersó el combustible nuclear al exterior, pero no fue una explosión de origen nuclear.

176

## ¿QUÉ OCURRIÓ EN LA CENTRAL NUCLEAR DE THREE MILE ISLAND (HARRISBURG)?

La central nuclear de Three Mile Island está situada a tan sólo 16 km de la ciudad de Harrisburg (Pennsylvania), que tenía una población de unos 70.000 habitantes.

El accidente se produjo el día 28 de marzo de 1979 en la unidad 2 (TMI-2), que llevaba un año en funcionamiento. El reactor es del tipo de agua a presión, con un diseño diferente de los reactores similares que funcionan en España. El desencadenante inicial del accidente fue un fallo humano.

La causa inicial fue la obstrucción de una tubería del circuito de depuración del condensado, debido a un exceso de aglomeración de las resinas empleadas en dicho sistema. Esto, que en sí no tiene una gran importancia, en TMI-2 desencadenó una serie de sucesos, con fallos, errores y otras circunstancias. La principal de las causas fue no cumplir las normas de funcionamiento de la central, al mantener inadvertidamente cerradas dos válvulas de aislamiento del sistema de alimentación de emergencia, después de una inspección. Se produjeron errores en la interpretación de los sucesos, lo que dio lugar a decisiones equivocadas.

El accidente produjo un daño importante al núcleo del reactor, y una emisión de productos radiactivos al exterior ligeramente superior a la autorizada.

Sin embargo, los efectos radiológicos sobre la población cercana a la central fueron muy pequeños. Según las estimaciones realizadas por técnicos de la Comisión Reguladora Nuclear (NRC), del Departamento de Salud, Educación y Bienestar y de la Agencia de Protección Ambiental, se observó una dosis equivalente colectiva hasta el día 7 de abril de 33 personas-sievert, lo cual representa un incremento del 1,5 por 100 en la dosis equivalente anual recibida en la zona debida a la radiación natural, que es de 1 mSv en dicha zona. La conclusión del informe fue que la dosis equivalente recibida por la población representaba un riesgo mínimo.

TMI-2 puso de manifiesto que el concepto de seguridad a ultranza había funcionado correctamente y que para que el accidente ocurriera fue necesaria una cadena de sucesos desfavorables. Por este motivo se han sacado importantes conclusiones para mejorar la seguridad de las centrales, definiéndose medidas correctoras que los distintos países han ido incluyendo en sus centrales y, sobre todo, se han extendido a la formación y entrenamiento del personal operador de las centrales, quienes en este caso tuvieron una participación destacada en la evolución del accidente.

177

## ¿QUÉ OCURRIÓ EN CHERNÓBIL?

La central nuclear de Chernóbil constaba de cuatro unidades de 1.000 MWe cada una, equipadas con reactores RBMK, de tipo heterogéneo con moderador de grafito, refrigerado por agua en ebullición, que circula por canales donde se encuentra el combustible.

Los reactores RBMK no tienen edificio de contención, en el sentido que se tiene de él en las centrales occidentales, sobre todo las PWR y BWR. La parte superior del edificio del reactor es un cierre convencional sobre las paredes de hormigón y, por tanto, no tiene el carácter de cuarta barrera de seguridad.

Además, este tipo de reactores carece del concepto de seguridad intrínseca, ya que el coeficiente de reactividad por aumento de la temperatura en el grafito es positivo, y también es positivo el coeficiente de huecos del refrigerante. Por tanto, en algún punto de la operación se puede producir una situación inestable.

El accidente se produjo al realizar un experimento de tipo convencional, para demostrar que, en caso de desconexión de las líneas eléctricas exteriores, la energía eléctrica producida por el alternador a partir de la inercia de la turbina sin vapor sería bastante para alimentar transitoriamente ciertos componentes del sistema de refrigeración de emergencia, hasta que estuvieran disponibles sus generadores diésel propios.

En el experimento se violaron las normas de funcionamiento, llevando el reactor a situaciones en las que el margen de seguridad se redujo a límites inaceptables, dadas las características intrínsecas del reactor.

El accidente debemos clasificarlo en su origen como de fallo humano, pues no se concibe la realización de "experimentos" en centrales en operación comercial, ni se concibe que se realizasen rompiendo la línea de responsabilidad de forma que se procediese a desconectar los sistemas de seguridad que impedían su realización y que, además, el técnico que lo realizaba ignorase aspectos del diseño de los reactores RBMK que inevitablemente llevaban a un transitorio de exceso de potencia con resultados catastróficos. Peor aún fue el comportamiento que supuso ocultar el accidente y la generación de una nube radiactiva que fue detectada por el servicio radiológico sueco cuatro días después.

La descripción oficial del accidente indica que ocurrió la noche del 25 al 26 de abril de 1986 provocado por un transitorio de potencia, al aumentar la reactividad como consecuencia de la ebullición del agua. Al acumularse una energía del orden de 300 cal/g en el combustible, se produjo la ignición de las camisas de grafito que contenían dicho combustible y la generación de hidrógeno al contacto a esa temperatura del vapor de agua de refrigeración con materiales de las vainas, gas que explotó. La violencia de la energía desprendida provocó la elevación de la losa soporte del reactor, rompiendo la cavidad del reactor.

La entrada de aire facilitó la combustión del grafito; y también la apertura al exterior permitió la liberación de productos radiactivos, hasta valores de varios millones de curios al día.

De las consecuencias del accidente existen sucesivos informes editados, destacando el último publicado en 2004, conjuntamente por el OIEA, OMS, y otros organismos internacionales. La polémica desatada por el accidente y su utilización en la disputa ideológica y política se mantiene a este respecto.

En dicho documento se aporta la cifra de 57 muertos directos reconocidos en los momentos iniciales y de varios miles de afectados posteriores que pueden desarrollar o han desarrollado cánceres, especialmente de tiroides, tratables médicamente en su mayoría. Entre los afectados está un segmento de población infantil, por la deficiente gestión inicial del accidente. Es importante constatar la contaminación de la zona limítrofe que motivó evacuar una población muy elevada, calculada en más de 200.000 habitantes, de ciudades, pueblos y granjas cercanos, con los importantes costes sociales y psicológicos asociados. También quedaron afectados unos 240.000 trabajadores movilizados, denominados liquidadores, que incluyen a personal de todo tipo, desde emergencias hasta sanidad e intendencia. Este grupo aumentó más tarde hasta unos 600.000, que estuvieron sujetos a exposiciones menores. El grupo más afectado de estos trabajadores, en número de unos 10.000, actuaron en las fases inmediatamente posteriores del accidente para la construcción del sarcófago que enterró el reactor dañado, muchas veces sin las protecciones adecuadas, por lo que se expuso a dosis radiactivas elevadas.



La controversia surge al relacionarse con el accidente, en algunos estudios, cualquier fallecimiento posterior.

Con respecto al territorio, quedaron contaminadas sobre todo determinadas zonas en Bielorrusia, pero también en Rusia y Ucrania, con valores de radiación que en algún caso y en zonas muy determinadas alcanzan cinco veces el valor de referencia natural (1 a 5 Ci/km<sup>2</sup>) pero con isótopos como el Cs-137, que tiene un período de semidesintegración de 30 años. En zonas con contaminación hasta 20 Ci/km<sup>2</sup> ha retornado una población de 200.000 habitantes.

Es conveniente hacer un comentario aclaratorio a este respecto. Lo importante es la dosis absorbida que depende de varios factores que miden la incorporación de los radionucleidos a las vías tróficas y al ser humano. Los posibles efectos de esta dosis hay que aislarlos de los propios procesos biológicos de envejecimiento y de la vida. Sólo de esta forma se pueden valorar las consecuencias específicas de este accidente e independizarlas. Las dosis calculadas (media anual) para las zonas afectadas oscilan entre 4 y 40 mSv con presencia de picos superiores (el valor legal establecido para profesionales de la industria nuclear es de 20 mSv). La mayoría de los afectados lo han sido por una deficiente planificación de actuaciones en la gestión del accidente.

También hay que citar que el mayor daño de este accidente, al igual que el de cualquier accidente y de tantas otras situaciones vitales, es el psicológico, pues la salud es una compleja armonía entre alma y cuerpo y puede ser dañada de forma importante por hechos traumáticos como es el abandono del hogar y del entorno vital, derivando, finalmente, en enfermedades. También hay que observar que es muy difícil deslindar, sin disponer de estudios previos extensos, la enfermedad inducida por éste u otro accidente, de las propias patologías de la población y más si se añade a todo ello un entorno de escasos recursos económicos. La falta de estudios epidemiológicos previos de enfermedades en la región afectada impide alcanzar conclusiones objetivas de causa-efecto en el origen de las enfermedades ahora estudiadas, lo cual no significa que se quieran ignorar las consecuencias del accidente, ni disminuirlo, ni difuminar responsabilidades, ni relativizar el inmenso daño del abandono forzado de lo que es el "hogar". Sólo se quiere constatar la dificultad y la controversia generada a la hora de crear una estadística de fallecimientos con enfermedades origen, cuando existen multitud de condicionantes específicos y personales que impiden alcanzar la conclusión deseada.

## ¿QUÉ OCURRIÓ EN VANDELLÓS-1?

**E**n la central de Vandellós I, situada en la provincia de Tarragona, y con un reactor de tipo grafito-gas, se produjo, el 19 de octubre de 1989, un accidente que se inició por un incendio en un edificio convencional de la central, el edificio de turbinas, que no tiene relación con componentes radiactivos.

El incendio se originó por la rotura de tuberías de engrase, lo que produjo un vertido importante de aceite en muy poco tiempo. A continuación y como consecuencia del incendio se produjo una serie sucesiva de fallos de sistemas, especialmente por la inundación de los bajos del edificio de turbinas con entrada del agua de varios circuitos y de la proveniente de la extinción del incendio con un daño en importantes sistemas eléctricos.

Pese a todos estos hechos, los operadores de la central consiguieron llevarla a la situación de parada segura, sin alcanzarse en los elementos combustibles temperaturas críticas; no se produjo deterioro del circuito de refrigeración, ni tampoco daño alguno a las personas que intervinieron en el control de la central.

Como conclusión: en este accidente nunca hubo contaminación de zonas ni de las personas involucradas en las labores de recuperación de la central, ni escapes radiactivos al exterior.



*Central nuclear de Vandellós-I*

179

## ¿QUÉ OTROS ACCIDENTES HAN OCURRIDO EN CENTRALES NUCLEARES?

A lo largo de todo el tiempo que llevan funcionando las centrales nucleares comerciales se han producido averías que en ningún caso han ocasionado daños significativos al medio ambiente, excepto en el caso del reactor de Chernóbil.

Chernóbil es el único caso en que ha acaecido el máximo accidente previsible en un reactor, que es la fusión del núcleo, acompañado del peor de los escenarios, el escape de material radiactivo al exterior.

Sólo ha ocurrido otro caso de fusión del núcleo en Three Mile Island, que supuso la parada definitiva de esta central; sin embargo, no se produjeron escapes al exterior, al funcionar adecuadamente las barreras de contención.

El incidente de Vandellós-I, ocurrido en España, no dio lugar al deterioro del reactor ni su combustible, ni tuvo consecuencias radiológicas para los trabajadores, ni la población general, ni el medio ambiente.

Se han producido incidencias de operación en otras centrales nucleares, cuya valoración se realiza atendiendo a criterios como si quedan afectados los sistemas de seguridad, si se trata de fallos de las barreras de contención, si hay escapes de materiales radiactivos al exterior, si hay fallos en la gestión de las instalaciones, incumplimiento de los procedimientos, etc. (ver la cuestión 195, que explica la escala INES).



## ¿SE PODRÍA PRODUCIR UN ACCIDENTE SEMEJANTE AL DE CHERNÓBIL EN LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS?

**E**l accidente de la central nuclear de Chernóbil no se podría producir nunca en las centrales españolas por diversos motivos:

1. No existe ninguna central nuclear española con diseño similar a la de Chernóbil, que tenía, a determinados niveles de carga, coeficientes de reactividad del moderador y refrigerante positivos. Es decir, la excursión de potencia (y en consecuencia de calor generado) originó que la reacción nuclear de fisión se acelerase. La seguridad intrínseca de los reactores nucleares españoles, con coeficientes de reactividad siempre negativos, ante un incremento súbito de potencia, actúa deteniendo inmediatamente la reacción de fisión nuclear sin necesidad de intervención del operador ni de mecanismos de protección.
2. Las centrales nucleares españolas se basan en el concepto de seguridad a ultranza, usando las barreras físicas interpuestas al escape de la radiación o productos radiactivos. La última barrera, no existente en reactores similares al de Chernóbil, habría sido capaz de contener, al menos, la energía liberada en el accidente, así como retener parcialmente los productos radiactivos, con lo cual, en el caso de que Chernóbil hubiera tenido una barrera de estas características, el accidente se habría producido, pero con una reducción significativa en la liberación de productos al exterior.
3. La cultura de seguridad existente en las instalaciones nucleares y compartida por el personal responsable de su explotación junto con la existencia de un organismo regulador independiente, el Consejo de Seguridad Nuclear, son una garantía de que actuaciones o situaciones como la citada no se puedan reproducir.

## ¿SE APLICAN MEDIDAS DE SEGURIDAD A LAS DEMÁS ACTIVIDADES NUCLEARES COMO SON LA MINERÍA, LA FABRICACIÓN DEL COMBUSTIBLE, EL TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS Y EL TRATAMIENTO DE COMBUSTIBLE IRRADIADO?

- En la minería del uranio se trabaja con minerales cuya radiactividad se debe a causas naturales. En todas las instalaciones de minería y producción de concentrados de uranio, se toman medidas muy rigurosas para controlar los efectos radiológicos en el medio ambiente, y para la protección radiológica del personal, siguiendo la reglamentación existente.
- Las fábricas de elementos combustibles de óxido de uranio trabajan con uranio ligeramente enriquecido. Durante la fabricación, se emplean métodos físicoquímicos, pero nunca nucleares, con lo que el nivel de radiactividad sigue debiéndose a causas naturales. Se estima que la dosis anual recibida por los trabajadores de la fábrica es superior, en una fracción muy pequeña, a la dosis debida a la radiación natural en dicha zona.
- Las características de seguridad impuestas a las fábricas de elementos combustibles son muy exigentes, a pesar del bajo nivel de dosis que se alcanza, debido sobre todo a que pudieran alcanzarse condiciones de criticidad. Por esta razón, el diseño de la fábrica limita el grado de humedad ambiental, la distancia entre recipientes con uranio, etc.
- El transporte de materiales radiactivos se efectúa mediante contenedores especialmente diseñados, debidamente aprobados y homologados por las autoridades competentes. Estos contenedores deberán haber pasado con éxito pruebas límites como son los de caída libre, resistencia al fuego, penetración e inmersión en agua, etc.

- Durante el tratamiento de combustible irradiado realizado en una fábrica de reelaboración, es necesario emplear medidas de seguridad adecuadas para garantizar el confinamiento de los compuestos de plutonio, así como los productos de fisión y de activación, considerados finalmente como residuos. Además de las medidas continuas de dosis realizadas al personal, se impone un trabajo de control a distancia, para evitar la irradiación por productos emisores de radiación gamma.



## ¿EXISTE COOPERACIÓN INTERNACIONAL EN LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES NUCLEARES?

Existen dos organizaciones privadas formadas por las empresas responsables de la operación de las centrales nucleares (INPO y WANO) que participan en la cooperación internacional en la prevención de accidentes nucleares. A continuación se describe su funcionamiento y sus objetivos.

### **Institute of Nuclear Power Operations (INPO)**

Las compañías eléctricas propietarias de las centrales nucleares de Estados Unidos fundaron, el 3 de diciembre de 1979, el Institute of Nuclear Power Operations (INPO) con el objetivo de mejorar la seguridad y fiabilidad, y promover la excelencia en la operación de las centrales nucleares.

Después del accidente de Three Mile Island, el 28 de marzo de 1979, en Estados Unidos se creó una comisión para analizar el cómo y porqué el accidente había ocurrido. Algunas de las recomendaciones emitidas por la Comisión Kemeny, y que dieron lugar a la creación de INPO, fueron las siguientes:

- Realizar un sistemático análisis de la experiencia operativa, y hacer que ésta se intercambie de forma rápida y eficaz entre la industria a nivel internacional.
- Establecer un instituto autorizado que certificase la formación del personal de las centrales y el mantenimiento de los conocimientos y habilidades de los mismos.
- Fortalecer la responsabilidad de la dirección a todos los niveles y mejorar la explotación general de la industria nuclear.

INPO es una organización independiente de las centrales nucleares y del organismo regulador de Estados Unidos, NRC. Sin embargo, tiene firmados acuerdos de colaboración y de intercambio de información técnica tanto con la NRC, como con otras organizaciones de Estados Unidos como el Nuclear Energy Institute (NEI). INPO dispone de un programa internacional de participantes al que pertenecen las centrales españolas, desde 1981.

### **World Association of Nuclear Operators (WANO)**

Las compañías eléctricas del mundo propietarias de las centrales nucleares fundaron, el 15 de mayo de 1989, la Asociación Mundial de Explotadores Nucleares (WANO) con el objetivo de alcanzar los más altos niveles de seguridad y fiabilidad en la operación de las centrales nucleares a través del intercambio de información técnica, de la comparación, emulación y comunicación entre sus miembros.

Después del accidente de Chernóbil, se demostró la necesidad de cooperación internacional y de intercambio de información. Los beneficios que una asociación como WANO puede aportar a la comunidad nuclear son directamente proporcionales a la participación específica en sus programas de cada uno de sus miembros, o sea de cada central.

WANO es una organización independiente de cualquier organización gubernamental u de otros organismos reguladores. WANO funciona únicamente para sus miembros y en nombre de ellos, los explotadores de las centrales nucleares. Sin embargo, tiene firmados acuerdos de colaboración y de intercambio de información técnica con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

La asociación opera a través de cuatro centros regionales establecidos en Atlanta, Moscú, París y Tokio. Cada centro está dirigido por un Consejo Directivo. Las actividades de estos centros están coordinadas por el centro coordinador de Londres. Los miembros participantes de WANO están distribuidos entre los cuatro centros en base a razones geográficas o técnicas. El personal que trabaja en los centros es cedido temporalmente por las empresas miembros.



CAPÍTULO  
13

# REGLAMENTACIÓN DE LA SEGURIDAD NUCLEAR





---

**En España, toda la actividad nuclear está regulada, jerárquicamente, en un cuerpo legal completo, inspirado en la normativa internacional y es conforme con la europea. Además, la industria tiene completamente normalizadas todas sus actuaciones mediante procedimientos específicos.**

**El Consejo de Seguridad Nuclear, organismo técnico independiente, responde ante el Parlamento de la gestión de la actividad nuclear en España.**

**La utilización pacífica de la energía nuclear está legislada con la referencia de los tratados y normativa internacional y con la supervisión de la Agencia Internacional de Energía Atómica.**

---

183

## ¿POR QUÉ HAY UNA REGLAMENTACIÓN ESPECÍFICA DE LA SEGURIDAD NUCLEAR?

**T**odas las actividades de la sociedad están sometidas al Derecho común, que establece los derechos y obligaciones de los ciudadanos. Además, este cuerpo legal debe abarcar todas las posibles situaciones y limitaciones derivadas del ejercicio de dicha actividad. A través de las leyes, que dan vida a los posteriores reglamentos y normas, quedan reguladas las condiciones para su libre ejercicio y las conductas de las personas y entidades, estableciéndose los necesarios procedimientos para dirimir conflictos.



La actividad nuclear conlleva la utilización de las radiaciones procedentes de materiales radiactivos, de origen natural o artificial y de diferentes intensidades y características, que pueden representar un riesgo que debe ser previsto y confinado. Desde el momento en que se tuvo conocimiento de dichos riesgos se tomaron las debidas precauciones y se establecieron normativas de uso, en un principio de carácter muy limitado. Es con el descubrimiento de la fisión nuclear en cadena en 1942, hito que hizo emerger una nueva era de la humanidad, cuando dichos riesgos pasaron a ser de carácter universal e impulsaron a los gobiernos a establecer legislaciones y normativas específicas.

De esta forma en 1946, recién acabada la II Guerra Mundial, Estados Unidos aprobaba la primera Ley Nuclear (Atomic Energy Act) que claramente disponía: "...la política de los Estados Unidos se basará en que el desarrollo y la utilización de la energía atómica se encauce, en la medida de lo posible, hacia la mejora del bienestar público... y contribuir a la paz mundial". Los restantes estados regularon sus actividades inicialmente, a través de la constitución de entidades constituidas para tal fin, como fue el caso de la Junta de Energía Nuclear en España. A nivel mundial se creó el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA, o en siglas inglesas IAEA) con el fin, entre otros, de armonizar requisitos y promover una legislación coherente entre los países. También se crearon organismos regionales como EURATOM en el seno de la entonces Comunidad Europea, hoy Unión Europea, y la Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE. También surgieron organismos como la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (ICRP en siglas inglesas).

En base a los tratados firmados y a las leyes ya promulgadas en Estados Unidos, muchos países desarrollaron leyes específicas. En el caso español, se publicó la Ley de Energía Nuclear de 1964 que fue posteriormente desarrollada en el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas en 1972, documentos que han sido luego complementados por la Ley de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear, Ley de creación de Enresa, etc.

La actividad nuclear abarca el manejo de sustancias radiactivas en tareas de minería, transporte, utilización en procesos industriales (electricidad, industria), medicina, investigación, gestión de residuos y en todos los casos la previsión de accidentes y de su prevención y corrección.

## ¿SON MUY DIFERENTES LAS REGLAMENTACIONES NUCLEARES DE LOS DISTINTOS PAÍSES?

**H**oy día las reglamentaciones de la seguridad nuclear y radiológica tienden a homogenizarse en todos los países del mundo, lo que hay que interpretar en el sentido de incorporar los mismos criterios y una base de parámetros técnicos mínimos, pero no en alcanzar una misma formulación legal pues ésta siempre será competencia de los parlamentos nacionales; es ésta una consecuencia lógica de dos hechos importantes que se dan cita actualmente:

- Por un lado, la liberalización (y globalización) de la economía, sobre la base de la libre competencia (que culminó en la Ronda Uruguay del GATT), en la que sólo pueden subsistir las tecnologías productivas basadas en los sistemas de la calidad más avanzados; ello garantiza que países de segunda fila se puedan equipar con instalaciones cuyas bases técnicas de la seguridad sean equivalentes a las de los países líderes en tecnología; y nada impide, por otro lado, que los países receptores adopten como propias las reglamentaciones de seguridad de los países suministradores; y
- Por otro lado, se aprecia que, por la vía de tratados y convenciones internacionales, existe una transferencia de la soberanía normativa de los Estados hacia los organismos internacionales que elaboran recomendaciones y normas básicas sobre temas medioambientales y de seguridad nuclear, que son incorporadas a las legislaciones nacionales. Merece una reseña aparte el caso de la Unión Europea, cuyas Directivas son de obligado cumplimiento y que deben ser transpuestas a las legislaciones nacionales de los países miembros.

Si bien ésta es la tendencia con la que se afronta el futuro de la seguridad, en el presente coexisten todavía serias diferencias en las reglamentaciones nucleares de algunos países, que son fruto de las vicisitudes históricas vividas en estos más de 60 años de tecnología nuclear.

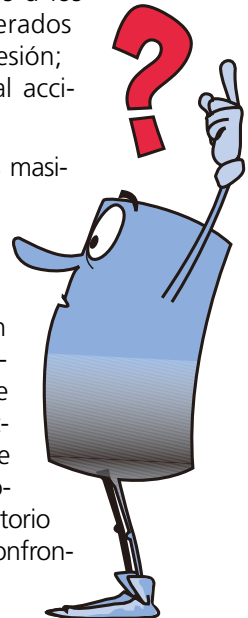
En efecto, la tecnología nuclear nació en la década de los años 40, justo en el prelude de la Segunda Guerra Mundial, y, como consecuencia de ella, el mundo quedó dividido en dos grandes bloques geopolíticos, antagónicos e incommunicados,

- El de los países occidentales, de corte democrático, en el que el principio rector era la libre competencia (con clara hegemonía de los EE.UU.); y
- El de los anteriores países de economía central planificada (bajo el liderazgo de la URSS), en las que, por lo que aquí respecta, el Estado decidía la suficiencia de las bases técnicas y administrativas de la seguridad (entre ellas, por ejemplo, suprimir el edificio de contención, como barrera última de la defensa en profundidad de las centrales nucleares).

Sin entrar en pormenores sobre las diferencias reglamentarias de la seguridad nuclear y radiológica que se aplicaba en ambos bloques, lo que sí importa subrayar es que el despliegue de las centrales nucleoelectricas, que tuvo lugar en el mundo desde mediados de la década de los 50, se hizo fundamentalmente sobre dos estilos de diseño diferentes:

- El americano, que dio lugar a los reactores de agua ligera PWR y BWR; y
- El soviético, que dio los reactores VVER, parecidos a los PWR, y los RBMK, sin parangón occidental, moderados con grafito y refrigerados por tubos de agua a presión; una de cuyas unidades daría lugar con el tiempo al accidente de Chernóbil (1986).

Los mencionados tipos de reactores fueron implantados masivamente en sus respectivos bloques de influencia, sin que se hicieran comparaciones respecto a su nivel de seguridad, sobre todo porque ésta surge y solo tiene sentido a partir de un sistema de creencias y valores subyacente en la sociedad y en sus dirigentes y que en este caso eran muy diferentes; y por otro porque, además, el mundo estaba inmerso en la "guerra fría" entre ambos bloques lo que impedía incluso el intercambio técnico de experiencias e iniciativas de mejora. El accidente de Chernóbil (1986) fue un claro exponente de esta bipolaridad de creencias, valores y culturas, siendo premonitorio de la caída del muro de Berlín (1989) que concluyó la confrontación ideológica.



El citado accidente de Chernóbil mostró, crudamente, la internacionalidad de los efectos de un accidente nuclear y disparó las alarmas en Occidente. Con este motivo, la Unión Europea, apoyada por el grupo de los siete (G-7), empezó a recabar fondos para implementar programas de ayuda tecnológica (Takis y Phare), con el fin de mejorar la seguridad de las centrales nucleares de los países del Este.

Estos desequilibrios y carencias llevaron al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), a principios de los años 90, a impulsar una Convención sobre Seguridad Nuclear —que ya ha entrado en vigor (24/10/96)—, en la que los países miembros (España entre ellos) aceptan el compromiso internacional de cumplir determinados estándares de seguridad y se obligan a presentar periódicamente (cada 3 años) un informe para examinar el estado de la seguridad y las medidas administrativas y reglamentarias que se han adoptado en cumplimiento de la Convención. Posteriormente, en 1997, se ha acordado la Convención para la Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y de los Desechos Radiactivos. Ello conducirá, sin duda, a consolidar progresivamente en todo el mundo unos niveles aceptables y uniformes de seguridad nuclear y radiológica.

185

## ¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES ORGANISMOS INTERNACIONALES QUE FORMULAN RECOMENDACIONES SOBRE SEGURIDAD NUCLEAR Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA?

La utilización de la energía nuclear para usos pacíficos recibió un impulso definitivo, tras la dramática experiencia de las explosiones nucleares en la segunda guerra mundial, con el conocido discurso “átomos para la paz” del Presidente Eisenhower de los EE.UU. ante la Asamblea General de las Naciones Unidas, el 8 de diciembre de 1953. El presidente norteamericano ofreció empezar una nueva era de la humanidad abrien-

do vías de cooperación y transferencia tecnológica que posibilitaran la utilización de estos conocimientos para el bien de la humanidad y evitar la extensión de su uso bélico.

A raíz de esta declaración se abrió un importantísimo período de cooperación internacional y se crearon organismos y se constituyeron asociaciones de índole científico, técnico y económico.

De entre todas las organizaciones existentes en la actualidad, las relacionadas a continuación son las principales y tienen capacidad de formular recomendaciones que no son vinculantes para los Estados, salvo cuando se suscriben acuerdos específicos a este nivel y son ratificados posteriormente por los gobiernos respectivos.

- El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).
- La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR).
- La Agencia de Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (NEA/OCDE).

\* El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), creado en 1957 por las Naciones Unidas y con sede en Viena, es un Agencia de ésta que responde ante la Asamblea General y el Comité de Seguridad de las Naciones Unidas y que tiene como misión fomentar la cooperación científica y técnica en el ámbito de la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos a nivel mundial y en especial supervisar el régimen de salvaguardias que evita la proliferación nuclear con fines bélicos.

El Organismo Internacional de Energía Atómica debe proporcionar materiales, formación y equipos de expertos para el fomento de los usos pacíficos de la energía nuclear, a la vez que debe vigilar mediante un sistema estricto de salvaguardias todo desvío de los mismos hacia los usos bélicos.

La creación del OIEA permitió a este Organismo ser el centro rector del régimen internacional de la seguridad nuclear y radiológica que el mundo necesitaba. Es conveniente aclarar, no obstante, que el OIEA no persigue ser, ni nunca lo ha sido, un “organismo regulador internacional”, sino que su papel se limita a elaborar recomendaciones, esto es, normas de referencia sobre seguridad y a prestar asistencia a los organismos reguladores nacionales, o a ejercer los derechos de inspección contenidos en los acuerdos de salvaguardias firmados por los Estados.

El OIEA estaba formado (en 2006) por 140 Estados Miembros. A su cabeza hay un director general con cinco departamentos técnicos y cuenta con una plantilla de 2.200 profesionales de 90 países y un presupuesto anual del orden de 273 millones de Euros, siendo el 30% destinado a proyectos de cooperación técnica. Sus órganos de gobierno son los siguientes:

- La Conferencia General, constituida por representantes de todos los Estados Miembros, que se reúne una vez al año para examinar la política general del Organismo y examinar el informe anual que presenta su Director General; y
- La Junta de Gobernadores, formada por 35 miembros (de ellos, 22 elegidos por la Conferencia General), que se reúne cinco veces al año para implementar la política aprobada por la Conferencia General.

Los cinco departamentos técnicos son: Ciencia y Aplicaciones Nucleares; Cooperación Técnica; Salvaguardias; Energía Nuclear y Seguridad Nuclear y Física.

El OIEA, en su lucha por conseguir un alto grado de seguridad en todo el mundo, impulsó a principios de los años 90 la Convención de Seguridad Nuclear, que entró en vigor en 1996, obligándose cada uno de los Estados firmantes a presentar un informe de autoevaluación de la seguridad de sus instalaciones —primer examen en abril de 1999, y luego cada 3 años—, bajo directrices muy rigurosas y principios internacionalmente reconocidos. Del mismo corte ha resultado ser la Convención Conjunta de la Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y la Seguridad en la Gestión de los Residuos Radiactivos de 1997, con el objetivo de garantizar unos mínimos de seguridad en la gestión de los residuos radiactivos. Consultar [www.iaea.org](http://www.iaea.org).

- \* La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) es un organismo de carácter científico y técnico y es la más veterana de las organizaciones mencionadas, pues su origen se remonta al II Congreso Internacional de Radiología (Estocolmo, 1928), en el que se creó el Comité Internacional para la Protección contra los Rayos X y el Radio, que estuvo formado por un escogido grupo de eminentes científicos, con la misión de formular recomendaciones de protección contra las dos fuentes de radiación ionizante entonces más importantes, los rayos X y el radio.

Está formada por una Comisión Principal (con un máximo de 12 miembros), que da cobertura general a los temas de la protección contra las radiaciones, 4 Comités permanentes, que cubren las siguientes áreas específicas y una Secretaría Científica para la coordinación de la Comisión y de los Comités:

- Efectos de las Radiaciones, en especial, los riesgos de cáncer a bajas dosis;
  - Límites Derivados, modelos dosimétricos, el Hombre de Referencia, etc.;
  - Protección en Medicina, uso de radiofármacos, lesiones radioinducidas, etc.;
  - Aplicación de las Recomendaciones, dosis crónicas, residuos radiactivos. Consultar [www.icrp.org](http://www.icrp.org);
- \* La Agencia de Energía Nuclear (NEA) es un organismo semiautónomo de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), con sede en París, que tiene por objeto el desarrollo cooperativo de la energía nuclear como fuente segura, económicamente atractiva, y aceptable desde el punto de vista medioambiental.

Fue fundada en 1958 con el nombre de Agencia Europea de Energía Nuclear (ENEA), con la finalidad de aunar recursos científicos y económicos de los países de Europa Occidental para el desarrollo de la energía nuclear. Pero, en la década de 1970, la Agencia expandió su ámbito territorial y dio entrada a Australia y Japón, primero, y a los EE.UU. y Canadá, después, con lo que pasó a ser la Agencia de Energía Nuclear, NEA.

La Agencia está formada actualmente por 27 Estados Miembros de Europa, América, Asia y Australia; todos ellos industrializados, con regímenes políticos democráticos y economías de libre mercado. Sus áreas de actuación son:

- la gestión de los residuos radiactivos,
- la seguridad de las instalaciones nucleares,
- la responsabilidad civil nuclear,
- la economía y tecnología del ciclo del combustible,
- la gestión de la vida de las centrales nucleares,
- el servicio de códigos de cálculo y la gestión del Banco de Datos,
- la experiencia operativa de las centrales (IRS, con OIEA),

- las aplicaciones del Análisis Probabilista de la Seguridad, y
- la dirección de proyectos internacionales de investigación.

Actualmente, NEA está reorientando su misión fundamental en el sentido de asegurar la participación de la energía nuclear en el menú del desarrollo sostenible, en previsión de que la cobertura eléctrica con combustibles fósiles pueda resultar muy problemática en el futuro, por la inaceptabilidad medioambiental de la combustión. Consultar [www.nea.fr](http://www.nea.fr).

186

## ¿QUÉ PAPEL JUEGA EURATOM EN LA REGLAMENTACIÓN NUCLEAR DE LOS PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA?

**E**URATOM es el nombre abreviado con el que se conoce el Tratado de la Comunidad Europea de la Energía Atómica, firmado en Roma el 25 de marzo de 1957 por los seis países que constituían el núcleo originario de la Unión Europea; el Tratado entró en vigor el 1 de enero de 1958, teniendo por objeto el desarrollo de una industria nuclear europea, mediante la creación de un mercado común de equipos y materiales nucleares, así como el establecimiento de unas normas básicas de seguridad y de protección de la población.

El 13 de mayo de 1996, se publicó la Directiva 96/29 de EURATOM, por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. Esta Directiva, una vez traspuesta, ha modificado los Reglamentos de Protección Sanitaria Contra las Radiaciones Ionizantes, y de las Instalaciones Nucleares y Radiactivas de los países de la Unión.

El ámbito de aplicación de esta Directiva incluye (aparte del funcionamiento de los aparatos productores de radiaciones ionizantes de más de



5 kV) los siguientes campos de actividades, en los que la exposición a las radiaciones admite un cierto grado de control:

- *la producción*, tratamiento, manipulación, utilización, posesión, transporte, importación a la Comunidad o exportación a partir de ella, almacenamiento y eliminación de sustancias radiactivas;
- *las actividades laborales* que supongan una exposición significativa de los trabajadores o del público a fuentes de radiación natural; y
- *las intervenciones*, tanto en situaciones de emergencia radiológica, como en situaciones de exposición prolongada resultantes de emergencias previas o de actividades del pasado con perturbación de la radiactividad yacente.

Todas estas actividades —que en la Directiva se llaman prácticas— están sometidas al régimen regulador de declaración y autorización previa por los Estados Miembros, salvo en aquellos casos en los que las mencionadas actividades se refieran a materiales cuya concentración radiactiva esté por debajo de ciertos valores límite, que quedan exentas. Consultar [www.euratom.org](http://www.euratom.org).

187

## ¿QUÉ ORGANISMO ESTÁ ENCARGADO DE VELAR POR LA SEGURIDAD NUCLEAR Y RADIOLÓGICA EN ESPAÑA?

**E**l Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), creado por Ley 15/80, de 22 de abril, como Ente de Derecho Público, independiente de la Administración Central del Estado, y responsable sólo ante el Parlamento; se le instituye como único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, con la misión fundamental de vigilar el cumplimiento de la normativa aplicable a las instalaciones nucleares y radiactivas. En consonancia con ello, las principales funciones del CSN son:

- proponer al Gobierno la reglamentación necesaria en materia de seguridad nuclear y protección radiológica;

- evaluar y autorizar los proyectos de las instalaciones nucleares y radiactivas, en todas sus etapas —emplazamiento, diseño, construcción, operación y clausura—, así como las solicitudes de transporte de sustancias radiactivas y de combustibles nucleares;
- inspeccionar y controlar el funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas, imponiendo la corrección de las posibles deficiencias;
- conceder licencias a las personas que operan las instalaciones nucleares y radiactivas;
- supervisar las dosis de radiación recibidas por los trabajadores profesionalmente expuestos y por la población en general, con observancia estricta de los límites de dosis establecidos;
- vigilar permanentemente los niveles de radiación en el medio ambiente;
- colaborar técnicamente en los planes de emergencias radiológicas a que puedan dar lugar los accidentes en instalaciones nucleares o radiactivas, y en los transportes;
- promocionar planes de investigación en materia de seguridad nuclear y protección radiológica;
- informar de oficio al Parlamento, y a los medios de comunicación y a las personas que lo soliciten.

De cuanto antecede no debe deducirse que el CSN sea la autoridad que regula los actos administrativos de la seguridad nuclear y la protección radiológica en España, actividades que corresponden al Ministerio de Industria y Energía, ya que la Autoridad Reguladora en España se ejerce de forma compartida, y complementaria, entre:

- el Ministerio de Industria y Energía, *inter alia*, como brazo ejecutivo de la Autoridad, al que corresponde el trámite y concesión de las licencias solicitadas por los titulares de instalaciones nucleares y radiactivas, o de otras actividades reglamentadas, así como la diligencia de expedientes y la imputación de sanciones; y



- el Consejo de Seguridad Nuclear, como brazo preceptivo de la Autoridad, en su condición de “único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica”, cuyos informes técnicos son preceptivos, vinculantes (cuando denegatorios) e inmodificables en sus condicionamientos (cuando positivos).

188

## ¿QUÉ REGLAMENTACIÓN NUCLEAR SE APLICA EN ESPAÑA?

**E**n materia de seguridad nuclear y protección radiológica, en España se aplican las disposiciones que elabora el poder legislativo, a las que hay que añadir las que, por formar parte del acervo comunitario (EURATOM), son de obligado cumplimiento desde el momento de nuestra adhesión a la Unión Europea (1 de enero de 1986); así como aquellas que se deriven de las Convenciones y Protocolos internacionales ratificados por España.

La reglamentación nuclear española está definida en las siguientes disposiciones legales:

- *Ley 25/64*, sobre energía nuclear, que tiene por objeto fomentar el desarrollo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear y su puesta en práctica en el territorio nacional;
- *Ley 15/80*, de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear, que establece las funciones del organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, su composición y estructura, y los bienes y medios económicos que fundamentan su independencia; en esta Ley se reconoce al Consejo la facultad de encomendar a las Comunidades Autónomas la realización de algunas de las funciones que le están atribuidas.
- *Ley 14/99*, de Tasas y Precios Públicos por Servicios Prestados por el CSN, que regula los aspectos económicos de los servicios que presta el CSN, a la vez que amplía las funciones y competencias previstas en su Ley fundacional;

- Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre (BOE de 31/12/99) de Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas que modifica el anterior *Decreto 2869/72* y que desarrollaba la Ley 15/64. En el reglamento se definen y clasifican las instalaciones nucleares y radiactivas, y se establece la documentación necesaria para obtener las correspondientes autorizaciones. Contiene, así mismo, los requisitos para obtener las licencias del personal de operación. En su revisión, además, está la transferencia de competencias al Estado de las Autonomías; la regulación del trámite del desmantelamiento y clausura de las instalaciones; la actualización de los valores de las actividades exentas de los radionucleidos (Directiva 96/29 EURATOM) y su empleo en la nueva clasificación de las instalaciones radiactivas;
- *Real Decreto 2115/98*, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Transportes de Mercancías Peligrosas por Carretera; ídem 2225/98, por ferrocarril; ídem 145/89, por vía marítima; ídem BOE N° 23(91) y BOE N° 164(97), por vía aérea; que son disposiciones de cumplimiento de Acuerdos Internacionales;
- *Decreto 2177/67*, por el que se aprueba el Reglamento de Cobertura de Riesgos Nucleares, complementado con el Decreto 2864/68, sobre Señalamiento de la Cobertura Exigible en materia de Responsabilidad Civil por Riesgos Nucleares, que establecen la cobertura de responsabilidad por daños nucleares ocasionados por instalaciones o por el transporte de sustancias nucleares;
- *Real Decreto 783/2001 de 6 de julio*, por el que se aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes, que produce el alineamiento de nuestra normativa con la Directiva 80/836/EURATOM;
- *Real Decreto 413/97 de 21 de marzo*, sobre Protección Operacional de los Trabajadores Externos con Riesgo de Exposición a Radiaciones Ionizantes por Intervención en Zona Controlada, que es transposición de la Directiva 90/641/EURATOM;
- *Orden en BOE de 14 de julio de 2004* por la que se aprueba la revisión del Plan Básico de Emergencia Nuclear de abril de 1989, y BOE de 14 de junio de 2006 que aprueba los Planes Provinciales de Emergencia Nuclear donde existan centrales nucleares;

- *Instrumento de Ratificación* (en BOE de 25 de octubre de 1981) de la Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares;
- *Orden* (en el BOE de 4 de junio de 1993) relativa a la Información al Público sobre las Medidas de Protección Sanitaria y sobre el Comportamiento a seguir en caso de Emergencia Radiológica, que es transposición de la Directiva 89/618/EURATOM.
- Además, el Consejo de Seguridad Nuclear publica una serie de Guías de Seguridad, que son documentos técnicos elaborados por el CSN que contienen preceptos, recomendaciones u orientaciones que facilitan a los titulares de las instalaciones nucleares y radiactivas la gestión de aspectos concretos de la seguridad nuclear y la protección radiológica. Forman un conjunto de 40 unidades divididas en 10 series, tratándose en cada serie un tema específico.

También hay que citar que el CSN ha firmado acuerdos de encomienda de actividades con diversas Comunidades Autónomas.

189

## ¿CÓMO ESTÁ ORGANIZADO EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR PARA DAR CUMPLIMIENTO A SUS FUNCIONES?

**E**l Consejo de Seguridad Nuclear es un organismo de dirección colegiada, formada por un Presidente y cuatro Consejeros, y un Secretario General, que ejecuta las decisiones y acuerdos tomados por la dirección colegiada reunida en Pleno. Sus miembros, de relevante prestigio en los campos de la seguridad nuclear y protección radiológica o afines, son elegidos por la Comisión de Industria y Energía del Congreso de los Diputados, con la misión de velar por las funciones y obligaciones que el organismo tiene con el Parlamento y la sociedad.

Aparte de la dirección colegiada, el organismo tiene un nutrido cuerpo técnico de especialistas, que da cobertura a toda la problemática que

puedan presentar la seguridad nuclear y la protección radiológica de las instalaciones nucleares y radiactivas existentes en el país, las cuales deben cumplir escrupulosamente la reglamentación nuclear vigente.

Además del cuerpo técnico, el CSN tiene gabinetes específicos, que desarrollan la estrategia de cooperación con otros países, organismos y foros internacionales; o que coordinan las relaciones del CSN con el Parlamento y las diversas administraciones del Estado.

Existe una Oficina de Emergencias, que coordina la participación del CSN en los Planes de Emergencia Provinciales, centralizando en el SALEM (Sala de Emergencias) los datos de vigilancia radiológica de la red REVIRA (Red de Vigilancia Radiológica Ambiental), y los de la red RAR (Red de Alerta a la Radiactividad) de Protección Civil.

Existe también una Oficina de Inspección, facultada para elevar al Ministerio de Industria y Energía expedientes sancionadores a los titulares de las instalaciones que incumplen la normativa. Consultar [www.csn.es](http://www.csn.es).



*Centro de información del Consejo de Seguridad Nuclear*

## ¿QUÉ CAPACITACIÓN SE REQUIERE AL PERSONAL DE OPERACIÓN DE LAS INSTALACIONES NUCLEARES Y RADIATIVAS?

**E**l personal que opera los dispositivos de control de las instalaciones nucleares o radiactivas, o que dirige dichas operaciones, tiene que estar provisto de una *licencia específica*, concedida por el CSN, tras acreditar su capacitación para realizar estas tareas en la instalación en la que vaya a ejercer el puesto de trabajo.

De forma explícita, la *Ley de Tasas y Precios Públicos por servicios prestados por el Consejo de Seguridad Nuclear* dice que es facultad del Consejo "conceder y renovar, mediante la realización de las pruebas que [el Consejo] establezca, las licencias de operador y supervisor para instalaciones nucleares o radiactivas, los diplomas de jefe de servicio de protección radiológica, y las acreditaciones para dirigir u operar las instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico", que extiende el concepto de tasas por servicios de concesión y renovación de licencias a los diplomados de protección radiológica y a las personas acreditadas para la operación de las instalaciones de rayos X.

Los solicitantes de licencias no sólo han de acreditar su preparación y experiencia para las misiones específicas que van a realizar, sino que, además, deben demostrar un buen conocimiento del proyecto de la instalación y un reconocido equilibrio psíquico. Estas licencias deben ser renovadas periódicamente mediante un examen ex-profeso realizado por el Consejo de Seguridad Nuclear.

## ¿CÓMO CONTROLA EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE LOS TRABAJADORES PROFESIONALMENTE EXPUESTOS?

Una de las misiones fundamentales del CSN es la seguridad radiológica de los trabajadores que, por motivos profesionales, estén expuestos a las radiaciones ionizantes. Todos ellos, sea cual sea la instalación en la que trabajen —central nuclear, instalación del ciclo del combustible, instalación radiactiva de aplicación de las radiaciones (incluidas las instalaciones de rayos X de diagnóstico médico)— están sometidos a un control dosimétrico y a una vigilancia médica personalizados; a tal efecto, y con el fin de realizar un seguimiento de las dosis recibidas, el CSN dispone de un Banco Dosimétrico Nacional y edita un informe anual radiológico con todos los datos e incidencias ocurridas en España. Este informe es de consulta pública en la página web del CSN, [www.csn.es](http://www.csn.es), y los datos allí referidos son los siguientes en la fecha de reedición de esta publicación (2006):

Se registraron 89.004 trabajadores en actividades radiológicas y que en total sumaron una dosis colectiva total de 37.914 mSv x Persona. Este valor refleja una dosis individual media anual de 0,42 mSv/persona.

Como referencia hay que citar que los registros de la radiación natural en España alcanzan valores medios de 2 mSv/año. Los valores locales se pueden consultar en tiempo real en la citada página Web CSN.

Del total de trabajadores controlados, el 85%





trabaja en instalaciones radiactivas (bien sea médicas con el 79% del total o industriales con el 6% restante), el 8% en centrales nucleares y el 7% restante en instalaciones del ciclo, minería, residuos, y en el transporte.

El 98,5% de los trabajadores acumularon una dosis inferior a 5 mSv/año, valor legal establecido máximo para al público en general, y el 99,93% está en el rango de dosis inferior a 50 mSv/año, valor legal máximo en un año establecido para los trabajadores profesionalmente expuestos.

#### REGISTRO DE TRABAJADORES EN INSTALACIONES NUCLEARES Y CC.NN.

<i>Trabajadores</i>	<i>Dosis anual</i>
58,79%	Inferior al umbral de medida
39,73%	< 5 mSv
1,4%	5 < Dosis < 20 mSv
0,06%	20 < Dosis < 50 mSv
<b>89.004 Trabajadores</b>	<b>37.914 mSv x Persona</b>

192

## ¿CÓMO CONTROLA EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR LA CALIDAD RADIOLÓGICA DEL MEDIO AMBIENTE?

**E**l medio ambiente, aun sin la existencia del hombre, tiene un fondo radiológico natural propio, consecuencia de las radiaciones ionizantes emitidas por las fuentes naturales de radiación, tanto terrestres como cósmicas. Se ha estimado que este fondo confiere una dosis efectiva de 2,4 mSv/año, como valor promedio, a cualquier persona que viva en el planeta Tierra; y que, este fondo, debido a la naturaleza de las fuentes que lo generan —radiación cósmica, radionucleidos cosmogénicos y radionucleidos naturales de muy larga duración— ha debido permanecer constante, en cada lugar, a lo largo de los tiempos.

La dosis varía de unos lugares a otros. En España se dispone de un mapa de radiactividad natural (MARN) que revela diferencias importantes entre las regiones, correspondiendo los valores mayores a las zonas graníticas.

Este condicionante básico es el fundamento de una de las funciones que el Estado ha encargado al CSN, “controlar y vigilar la calidad radiológica del medio ambiente de todo el territorio nacional, en

cumplimiento de las obligaciones internacionales del Estado español en la materia, y sin perjuicio de la competencia que las distintas Administraciones públicas tengan atribuidas”. Las obligaciones internacionales a que hace referencia son, básicamente, los Artículos 35 y 36 de EURATOM, que establecen que los Estados Miembros deben crear las instalaciones necesarias para controlar de modo permanente la calidad radiológica de la atmósfera, las aguas y el suelo (es decir, los tres componentes básicos de la biosfera), y comunicar regularmente a la Comisión la información relativa a estos controles.

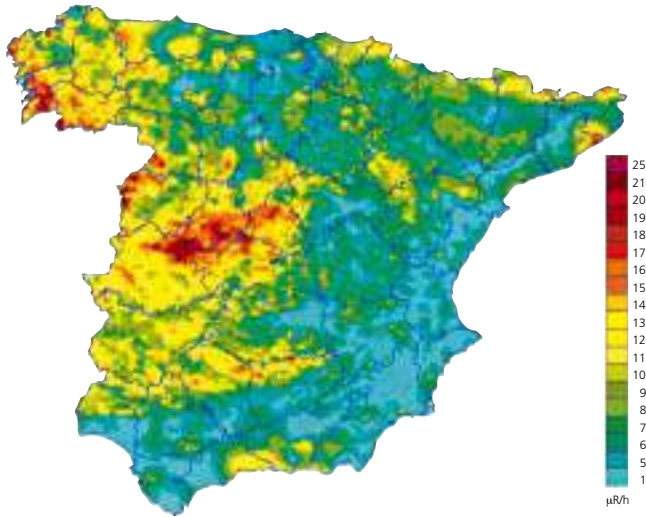
En España la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (REVIRA), establecida sobre todo el país, integra varios sistemas de información radiológica bien diferenciados:

- la *red implantada en la zona de influencia de las centrales nucleares e instalaciones del ciclo del combustible*, en la que el control se realiza mediante los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA), que ejecutan los propios titulares de las instalaciones (más de 50.000 mediciones anuales), y a los que el CSN superpone programas de control independiente, los cuales, de mutuo acuerdo, pueden ser realizados por las Comunidades Autónomas;
- la *Red de Vigilancia Radiológica Ambiental no asociada a las instalaciones*, constituida por:
  - la Red de Estaciones de Muestro (REM), que se vale de programas de muestreo y análisis ejecutados por diferentes laboratorios; y



- la Red de Estaciones Automáticas (REA), que facilita datos en tiempo real a la sala de emergencias (SALEM) del CSN, en especial, de la tasa de dosis en la atmósfera en distintas zonas del país.
- la Red de Vigilancia de las Aguas Continentales y Costeras, que desarrolla el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación del Ministerio de Fomento, mediante acuerdo marco con el CSN), que controla la presencia de radionucleidos naturales y artificiales en las cuencas hidrográficas españolas y en las aguas costeras, llegando a detectar, por ejemplo, trazas de tritio aguas abajo de las cuencas donde están instaladas las centrales nucleares;
- la Red de Alerta a la Radiactividad (RAR), con 900 estaciones de medida, explotada conjuntamente por el CSN y la Dirección General de Protección Civil, que da cobertura en continuo a las situaciones de emergencia que pudieran presentarse en el territorio nacional.

### RADIATIVIDAD NATURAL EN LA ESPAÑA PENINSULAR (Mapa elaborado por el CSN y ENUSA)



*Mapa Radiométrico. Proyecto MARNA. Se indican los valores medios de exposición gamma natural correspondientes a cada una de las provincias españolas. Los valores altos están ligados a formaciones de rocas graníticas y sedimentarias derivadas, mientras que los más bajos lo están a formaciones sedimentarias de origen marino.*

## ¿QUÉ ES UN PLAN DE EMERGENCIA NUCLEAR?

**E**l Estado, como organización garante del bien común, tiene entre una de sus muchas obligaciones legislar para prever el riesgo de las actividades que se desarrollan en su ámbito de forma que se evite primero y se minimice llegado el caso después, las consecuencias de accidentes y fallos catastróficos, ya sean de origen técnico o humano. El objetivo buscado no solo es lograr que la probabilidad de ocurrencia sea mínima, sino que el daño causado a los trabajadores, a la población y al medio ambiente, sean también mínimos.

La industria nuclear, desde un principio, ya había hecho suyo este objetivo que es la base de su cultura de seguridad, con adelanto a las propias redacciones legales. Además, la internacionalidad del uso de esta tecnología ha impulsado la creación de organismos supranacionales públicos y privados, la firma de acuerdos a nivel de estados y gobiernos, y la publicación de normas y directrices de obligada referencia que han enriquecido y servido de guía a la hora de redactar normas y leyes. Todo esto se ha traducido en la conciencia de estar siempre atentos para incorporar las mejoras de todo tipo identificadas y, sobre todo, en lo referente al principio de precaución en el mantenimiento de la seguridad.

Existen dos situaciones de emergencia en lo que se refiere a su ámbito de aplicación. Las emergencias internas a las instalaciones y que no suponen riesgo ni consecuencias al exterior y las emergencias externas que plantean la posibilidad de generarse consecuencias externas sobre las personas y medio ambiente.

Las primeras son contempladas en los Planes de Emergencia Interior o PEI y las segundas a través del Plan de Emergencia Nuclear o PLABEN que es el plan director de los diferentes planes de emergencia que involucran al resto de la administración en los diferentes emplazamientos.

- La emergencia interna tiene como origen un suceso de carácter interno a la instalación y el objetivo es el propio control de este suceso, la protección a los trabajadores, así como asegurar el confinamiento del posible daño sin afectar al exterior.

La confección del Plan de Emergencia Interior, PEI, corresponde a la entidad explotadora de la central, la cual debe proponerlo para su aprobación al Consejo de Seguridad Nuclear y se redacta en base al Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas vigente editado en 1999. En el caso de que fuera necesario aplicar el plan, su ejecución correspondería, previa comunicación a la organización de emergencia o SALEM del Consejo de Seguridad Nuclear, a la entidad explotadora, con la colaboración que fuera precisa del exterior.

Téngase presente que las instalaciones nucleares, entre ellas las centrales nucleares, se han diseñado y construido y se operan con criterios y sistemas que previenen la ocurrencia de accidentes y de fallos catastróficos, disponiendo de medidas y protecciones para corregir efectos y consecuencias de forma que se mantenga la integridad de la propia instalación y hagan muy improbable su ocurrencia.

- La emergencia exterior es activada por el director del Plan de Emergencia Nuclear de la provincia afectada, el Subdelegado del Gobierno como director del dispositivo de defensa civil, tras recibir notificación de la situación por el director de la instalación cuando la magnitud del suceso



significa riesgo para personas y el medio ambiente exterior. En todo el proceso se mantiene continuamente informado al Consejo de Seguridad Nuclear, a través de la sala de emergencias SALEM, y que es el organismo técnico que informa y valora la situación. Posteriormente, se activarán, si es necesario, los planes municipales de emergencia nuclear a través de los alcaldes de los ayuntamientos afectados, PAMEN, y llegado el caso, el Plan de asistencia central a nivel estatal que activa la respuesta de la administración central y de todos sus medios y recursos. Este Plan incluye la solicitud de asistencia internacional, PENCRA.

El Plan Básico de Emergencia Nuclear o PLABEN vigente ha sido aprobado por el RD 1546/2004 de fecha 25 de junio y como Plan director soporta a los Planes de Emergencia Nuclear Exteriores (provinciales), aprobados por Resolución del BOE de 14 de junio de 2006, y que tienen como denominación: Plan Director del PENBU (Plan de Emergencia Nuclear exterior a la central nuclear de Santa María de Garoña, Burgos); PENCA (central nuclear de Almaraz, Cáceres), PENGUA (centrales nucleares de José Cabrera y Trillo, Guadalajara), PENTA (centrales nucleares de Ascó y Vandellós, Tarragona) y PENVA (central nuclear de Cofrentes, Valencia).

El PLABEN clasifica en cuatro Categorías los accidentes posibles, desde I a IV en orden creciente de gravedad, índice que será definido por el director de la instalación y establece cuatro situaciones de emergencia en función de las medidas de protección que deben ser impuestas. No hay relación directa aplicable en el tiempo entre "Categoría de accidente" y "Situación de emergencia", pues la "Categoría" informa de la magnitud del accidente en función de la gravedad del suceso y de la naturaleza y cantidad de material radiactivo que se puede liberar al exterior y arranca una declaración de "Situación de Emergencia", mientras que esta última se refiere a las medidas necesarias y el tiempo de su mantenimiento en vigor, independientemente al control o la conclusión de dicho accidente. Es decir, puede mantenerse activada una situación de emergencia y el accidente haber concluido.

Los planes de emergencia son comprobados anualmente mediante la realización de simulacros que movilizan a todos los efectivos y validan procedimientos y exponen resultados.

### CATEGORÍAS DE ACCIDENTES Y DE SITUACIONES DE EMERGENCIA RELACIONADAS

<i>Categorías de accidentes</i>	<i>Situaciones de emergencia</i>
I	0
II, III	1
IV	2
	3

### RELACIÓN ENTRE MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y SITUACIONES DE EMERGENCIA

<i>Medidas de protección</i>	<i>Situación de emergencia</i>
Ninguna	0
Control de accesos	1
Control de accesos	2
Medidas urgentes principales: confinamiento y profilaxis radiológica. Medidas urgentes complementarias: autoprotección ciudadana y autoprotección del personal de intervención; restricciones al consumo de alimentos y agua; estabulación de animales.	3
Control de accesos	3
Medidas urgentes principales: confinamiento, profilaxis radiológica y evacuación. Medidas urgentes complementarias: autoprotección ciudadana y autoprotección del personal de intervención; restricciones al consumo de alimentos y agua; estabulación de animales; descontaminación del personal.	

## ¿CUÁLES SON LAS MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE, EN UNA INTERVENCIÓN URGENTE, PARA QUE LA POBLACIÓN RECIBA LA MENOR DOSIS POSIBLE (O EVITE LA MAYOR DOSIS PREVENIBLE)?

**A** continuación se resumen de forma abreviada estas medidas:

### NIVELES DE INTERVENCIÓN URGENTE SEGÚN LA DOSIS EVITABLE

Medidas	Dosis evitable (mSv)	Condiciones
Refugio	10	No más de 2 días
Profilaxis con yodo	100	Dosis integrada tiroides
Evacuación	50	En 1 semana

también internacionalmente consensuadas, que pueden interpretarse del siguiente modo:

- el *refugio* significa permanecer en el interior de los edificios (puertas y ventanas cerradas) para reducir la exposición a la contaminación en suspensión en el aire o depositada en las superficies; el nivel de intervención para aplicar esta medida presupone que se van a evitar dosis individuales superiores a 10 mSv; su aplicación es óptima para exposiciones intensas de corta duración, ya que, en general, el confinamiento no es practicable por más de 2 días;
- la *profilaxis con yodo* consiste en la administración de yodo estable para bloquear la fijación del yodo radiactivo por la glándula tiroides; el nivel de intervención tiene por objeto evitar dosis integradas a esta glándula superiores a los 100 mSv; y, en general, va asociada al *refugio* o la *evacuación*;
- la *evacuación* es el traslado urgente de las personas de sus viviendas habituales a otros lugares no afectados por el accidente; la interven-



ción es aconsejable cuando el ahorro de dosis es por lo menos de 50 mSv en un espacio corto de tiempo, como una semana.

195

## ¿CÓMO INFORMAR A LA POBLACIÓN SOBRE UNA EMERGENCIA NUCLEAR?

La información objetiva a la población, en caso de accidente nuclear, tiene dos ámbitos claramente diferenciados:

- el *ámbito local*, que se enmarca dentro de los Planes provinciales de Emergencia, en el que los destinatarios son las personas que pueden verse afectadas, directa o indirectamente, por un accidente; y
- el *ámbito supranacional*, que se enmarca dentro de las obligaciones contraídas por los Estados en *Convenios Internacionales*, como el de Pronta Notificación y el de Asistencia Mutua (ambos ratificados por España), o por requisitos del Tratado EURATOM, en el que los destinatarios son *organismos técnicos* (OIEA de las Naciones Unidas, la Comisión de la UE, NEA/OCDE, etc.), que tienen por misión coordinar la ayuda internacional, si fuera necesaria.

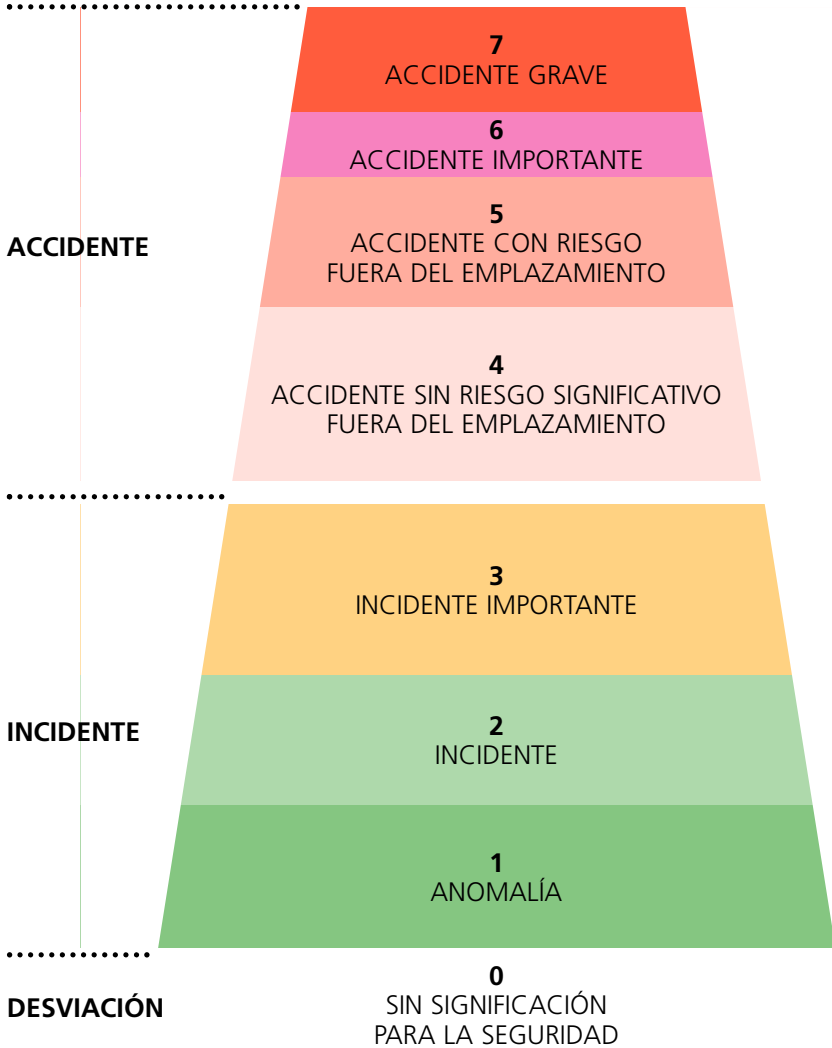
En ambos casos, los contenidos informativos cumplen objetivos distintos y se enmarcan dentro de sistemáticas bien diferenciadas.

A nivel local, y referido a los países de la Unión Europea, la Directiva 89/618/EURATOM regula la *información que hay que dar sobre las medidas de protección sanitaria y sobre el comportamiento a seguir en caso de emergencia radiológica*. Por lo que a España respecta, la responsabilidad de proporcionar la información local corresponde al **Subdelegado del Gobierno** en la provincia, por ser Presidente del Centro de Coordinación Operativa (CECOP) y Director del Plan de Emergencia Provincial. La información debe contener indicaciones precisas sobre:

- la *situación radiológica*, las características de las sustancias radiactivas liberadas, la zona geográfica afectada, y la previsible evolución de la situación de emergencia a la vista de las condiciones climatológicas reinantes;

### ESCALA INTERNACIONAL DE SUCESOS NUCLEARES

Para la pronta comunicación de su significación desde el punto de vista de la seguridad



REGLAMENTACIÓN DE LA SEGURIDAD NUCLEAR

<i>Nivel/Clave descriptiva</i>	<i>Criterios</i>	<i>Ejemplos</i>
<b>ACCIDENTES</b> <b>7</b> <b>ACCIDENTE GRAVE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberación externa de una gran parte del material radiactivo de una instalación grande (por ejemplo, el núcleo de un reactor de potencia). Ello comprendería típicamente una mezcla de productos de fisión radiactivos de vida corta y larga (en cantidades radiológicamente equivalentes a más de decenas de miles de terabequerios de yodo 131). Esa liberación daría lugar posiblemente a efectos agudos para la salud; efectos retardados para la salud en una amplia zona que abarcase posiblemente más de un país; consecuencias a largo plazo para el medio ambiente.</li> </ul>	Central nuclear de Chernóbil, URSS (actualmente en Ucrania), 1986.
<b>6</b> <b>ACCIDENTE IMPORTANTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberación externa de material radiactivo (en cantidades radiológicamente equivalentes al orden de miles a decenas de miles de terabequerios de yodo 131). Esa liberación tendría por resultado probablemente la puesta en práctica plena de las contramedidas previstas en los planes locales para casos de emergencia a fin de limitar los efectos severos para la salud.</li> </ul>	Planta de reelaboración de Kishtim, URSS (actualmente en Rusia), 1957.
<b>5</b> <b>ACCIDENTE CON RIESGO FUERA DEL EMPLAZAMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberación externa de material radiactivo (en cantidades radiológicamente equivalentes al orden de cientos a miles de terabequerios de yodo 131). Esa liberación tendría probablemente por resultado la puesta en práctica parcial de las contramedidas previstas en los planes locales para casos de emergencia a fin de reducir la probabilidad de efectos para la salud.</li> </ul>	Windscale Pile, Reino Unido, 1957.
<b>4</b> <b>ACCIDENTE SIN RIESGO SIGNIFICATIVO FUERA DEL EMPLAZAMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños graves en la instalación nuclear. Ello puede incluir daños graves en una gran parte del núcleo de un reactor de potencia, un accidente de criticidad importante o un incendio o explosión importante que libere grandes cantidades de radiactividad dentro de la instalación.</li> <li>• Liberación externa de radiactividad que tenga por resultado una dosis al grupo crítico del orden de algunos milsievert*. Con esa liberación sería por lo general poco probable que se requirieran medidas de protección fuera del emplazamiento, con excepción de un posible control local de los alimentos.</li> <li>• Daños significativos en la instalación nuclear. Un accidente de este tipo podría comprender daños en la central nuclear que originasen importantes problemas de recuperación en el emplazamiento, tales como la fusión parcial del núcleo en un reactor de potencia y sucesos comparables en instalaciones que no sean reactores.</li> <li>• Irradiación de uno o más trabajadores que se traduzca en una sobreexposición con probabilidad alta de muerte temprana.</li> </ul>	Central Nuclear de Three Mile Island, Estados Unidos, 1979.
<b>3</b> <b>INCIDENTE IMPORTANTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberación externa de radiactividad que de por resultado una dosis al grupo crítico del orden de décimos de milsievert*. Con esa liberación, es posible que no se necesiten medidas de protección fuera del emplazamiento.</li> <li>• Sucesos en el emplazamiento que se traduzcan en dosis recibidas por los trabajadores suficientes para causar efectos agudos en la salud y/o un suceso que provoque una fuerte difusión de contaminación, como por ejemplo, algunos miles de terabequerios de actividad liberados en una contención secundaria en que el material pueda llevarse de vuelta a una zona de almacenamiento satisfactoria.</li> </ul>	
<b>2</b> <b>INCIDENTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incidentes en que un fallo ulterior de los sistemas de seguridad podría dar lugar a condiciones de accidente o a una situación en que los sistemas de seguridad no pudiesen impedir un accidente si se produjeran ciertos sucesos iniciadores.</li> <li>• Incidentes con fallo significativo de las disposiciones de seguridad pero en que subsiste una defensa en profundidad suficiente para hacer frente a nuevos fallos. Esto comprende sucesos cuyos fallos reales se clasificarían en el nivel 1, pero que revelasen otras significativas insuficiencias organizativas o deficiencias de la cultura de la seguridad.</li> <li>• Un suceso que tenga por resultado una dosis recibida por un trabajador que exceda el límite de dosis anual estatuido y/o un suceso que cause la presencia de cantidades significativas de radiactividad en la instalación en zonas en que según el diseño no se las espere y que requiera medidas correctivas.</li> </ul>	Central nuclear de Vandellós, España, 1989.
<b>1</b> <b>ANOMALÍA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anomalia que rebasa el régimen autorizado pero con un mantenimiento significativo de la defensa en profundidad. Esto puede deberse a fallo del equipo, error humano o procedimientos inadecuados y puede ocurrir en cualquier zona abarcada por la Escala, por ejemplo explotación de la central, transporte de materiales radiactivos, manipulación de combustible, almacenamiento de desechos. Entre los ejemplos se incluyen: violación de las especificaciones técnicas o del reglamento de transporte, incidentes sin consecuencias directas para la seguridad que revelen insuficiencias del sistema organizativo o de la cultura de la seguridad, pequeños defectos de las tuberías que vayan más allá de lo esperado por el programa de vigilancia.</li> </ul>	
<b>DESVIACIONES O DEBAJO DE LA ESCALA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desviaciones en que los límites y condiciones operacionales no han sido rebasados y que se gestionan adecuadamente de acuerdo con los procedimientos pertinentes. Entre los ejemplos se incluyen: un fallo aleatorio único en un sistema redundante descubierto durante las inspecciones o ensayos periódicos, un disparo previsto del reactor que proceda normalmente, activación espuria de los sistemas de protección sin consecuencias significativas, escapes dentro de los límites operacionales, pequeños derrames de contaminación dentro de zonas controladas sin mayores consecuencias para la cultura de la seguridad.</li> </ul>	SIN SIGNIFICACIÓN PARA LA SEGURIDAD

\* Las dosis se expresan en términos de dosis equivalente efectiva (dosis corporal). Estos criterios pueden, cuando sea conveniente, expresarse también en términos de los correspondientes límites anuales de descarga de efluentes autorizados por las autoridades nacionales.

– las *consignas de protección*, relativas a la circulación en la zona, permanencia en refugio, recomendaciones alimentarias, profilaxis con yodo, disposiciones para la evacuación de la población (si fuera necesario), e instrucciones para los grupos más vulnerables (en particular, niños y mujeres embarazadas).

En el *ámbito supranacional* se ha establecido un procedimiento de notificación rápida y objetiva, que consiste en señalar la gravedad de un suceso mediante su posición en la *Escala Internacional de Sucesos Nucleares*, conocida como Escala INES (de las siglas inglesas International Nuclear Event Scale), que utiliza como criterios de clasificación el *alcance del impacto radiológico* y la *degradación de las barreras de la defensa en profundidad*. La Escala INES, en uso oficial en España desde 1990, consta de 7 niveles, ordenados del 1 al 7 según gravedad creciente, de los cuales, los niveles 4-7 son llamados accidentes nucleares, en los que hay degradación de las barreras de contención y, por lo tanto, *impactos radiológicos externos*, cada vez de mayor significación; los niveles 1-3 se corresponden con *impactos radiológicos internos*, con afectación sólo a las primeras barreras de contención, y reciben el nombre de incidentes nucleares y anomalías.

La Escala INES no es una escala física que relacione una magnitud física, por ejemplo la escala Richter que mide la intensidad de un terremoto, con la categorización asignada. Es una escala informativa que incluye valoraciones de un suceso incluidos aspectos no necesariamente tangibles.

196

## ¿EN QUÉ CONSISTE LA RESPONSABILIDAD CIVIL NUCLEAR?

**E**l Derecho Civil estipula que si se producen daños como resultado de cualquier actividad industrial, el responsable de los mismos deberá subsanarlos o indemnizar a los perjudicados. Para ello, estos deberán probar que los daños son consecuencia de dolo o negligencia del titular de la actividad.

Las normas que impone la reglamentación nuclear minimizan la probabilidad de que ocurran daños nucleares, entendidos como la pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales o los daños a las cosas como consecuencia de las propiedades radiactivas de los combustibles nucleares o residuos radiactivos o de las radiaciones ionizantes. Estas normas contemplan la imposición de sanciones en caso de infracciones, que pueden incluir indemnizaciones por los daños ocasionados. Independientemente de esta actuación administrativa y de las posibles acciones penales, los perjudicados tienen derecho a indemnizaciones por vía civil.

Los daños nucleares pueden teóricamente afectar a un gran número de personas o ser de gran magnitud para algunas personas físicas o jurídicas, y los perjudicados pueden encontrarse fuera del territorio donde esté la instalación. Por ello, los legisladores han establecido un régimen de responsabilidad objetiva, por la cual la responsabilidad de los daños nucleares corresponde siempre al explotador. El explotador no puede traspasar ninguna parte de su responsabilidad a sus proveedores o contratistas. Están excluidos de la responsabilidad del explotador:

- Los daños por accidentes debidos a guerra, insurrección o catástrofe natural.
- Los daños ocasionados por irradiaciones en tratamiento terapéutico.
- Los daños a los trabajadores de la instalación, que están cubiertos por prescripciones específicas de la Seguridad Social.
- Los daños a personas que hubieran ocasionado intencionadamente el hecho causante de los daños.

Se han establecido una serie de Convenios Internacionales para asegurar que las indemnizaciones se satisfagan sin demora, establecer sus límites cuantitativos y de otra índole y obligar a constituir una garantía para asegurar que se podrán hacer efectivas. Estos Convenios son el de París (1960), firmado por países de la OCDE y enmendado varias veces, y el de Viena (1963, enmendado en 1997), auspiciado por el OIEA y firmado por otros muchos países. En 1988 se firmó un Protocolo que compatibiliza ambos Convenios. España es signataria del Convenio de París.

Se establece por los Convenios un límite cuantitativo de la responsabilidad civil nuclear que, según la última revisión que entrará en vigor próximamente, es de 700 millones de euros por accidente para el explotador, de

700 a 1.200 millones para el Estado donde se encuentra la instalación y de 1.200 a 1.500 millones para el conjunto de los Estados firmantes. La responsabilidad del explotador debe obligatoriamente estar garantizada, generalmente por medio de un seguro. Además del límite cuantitativo, se establece un límite temporal de 10 años para hacer las reclamaciones y de 30 años si se trata de daños a las personas. El seguro es suscrito por el explotador con un asegurador o grupo de aseguradores (el llamado Pool Atómico Español en el caso de España). La franquicia suele ser del 5%.

La exoneración de responsabilidad de proveedores y contratistas permite evitar una multiplicidad de seguros que en muchos casos harían imposible la actividad industrial en el campo nuclear. Sin embargo, la industria nuclear se encuentra con un grave problema cuando se trata de suministros o servicios a países no firmantes de los Convenios, o que no han trasladado los acuerdos a su legislación.

197

## ¿QUÉ ES EL TRATADO DE NO-PROLIFERACIÓN NUCLEAR?

**D**espués de la Guerra Mundial, los países miembros de las Naciones Unidas decidieron que sería necesario impedir que se extendiera la posesión de armas nucleares, por el riesgo de que llegaran a manos irresponsables. En 1968 un importante número de países suscribieron el Tratado de No-Proliferación de Armas Nucleares (TNP), por el que:

- Los países poseedores de armas nucleares se comprometen a no traspasar a nadie armas nucleares ni ayudar a ningún Estado a fabricarlas ni a adquirirlas.
- Los países no poseedores de armas nucleares se comprometen a no recibir de nadie armas nucleares, ni fabricarlas, ni pedir ayuda a nadie para ello.

También se comprometen a no proporcionar materiales básicos (uranio y torio) ni materiales nucleares especiales (uranio enriquecido y pluto-

nio) a ningún país no poseedor de armas nucleares sin que tales materiales queden sometidos a Salvaguardias.

- Cada país no poseedor de armas nucleares se compromete a aceptar las Salvaguardias (básicamente obligación de entrega de información y de aceptar régimen de inspecciones) del OIEA, estipuladas en acuerdos formalizados bilateralmente.

En 1998 se firmó un Protocolo Adicional por el que a los materiales controlados por el TNP se sumaban, a efectos de Salvaguardias, gran cantidad de equipos, especificados en listas detalladas, que podrían utilizarse para actividades no pacíficas. España se adhirió al TNP y al Protocolo adicional en 1987 y 2003, respectivamente.

Por otra parte, para los países de la Unión Europea, mediante acuerdo entre dichos países, EURATOM y el OIEA, es EURATOM quien aplica las Salvaguardias en cada país, reservándose el OIEA el derecho de supervisar dicha aplicación. Algunas de las instalaciones y actividades nucleares dedicadas a usos pacíficos pueden también emplearse, con determinadas medidas, para usos no pacíficos.

- Las centrales nucleares modernas no se prestan a la proliferación, incluso si se reprocesa el combustible gastado, pues el plutonio contenido en él está muy “contaminado” con los isótopos pares Pu-240 y Pu-242, que no son fisionables. Un artefacto fabricado con este plutonio no estallaría o tendría muy bajo rendimiento, y sería difícilmente controlable.
- Las actividades del ciclo del combustible no son en sí proliferantes. Sin embargo, una instalación de enriquecimiento de uranio para abastecer un parque de reactores de agua ligera podría transformarse (por ejemplo, añadiendo más centrifugadoras) para producir uranio muy enriquecido, apto para las armas. Todos los países tienen derecho a producir su propio combustible, pero cuando los programas nucleares son muy reducidos, hay motivos para sospechar que una costosa instalación de enriquecimiento puede estar pensada para otros fines.
- Otra clase de instalación que puede indicar una intención no pacífica es la de reproceso o reelaboración, para separar el plutonio contenido en el combustible gastado. No hay razón para tener una instalación de este tipo si no se dispone de un parque nuclear importante y programas de utilización en los propios reactores térmicos (combustible MOX) o en reactores rápidos.

En todo caso, los países poseedores de armas nucleares están sujetos al TNP de una forma específica que les permite continuar sus programas militares. Las potencias nucleares han ido suscribiendo diversos Tratados para prohibir las pruebas nucleares en la atmósfera, en el espacio o en el mar, y para reducir los arsenales. Acabada la Guerra Fría, estos acuerdos se van cumpliendo y se está procediendo a desmantelar numerosos artefactos y utilizar su material fisionable en reactores comerciales. Es motivo de grave preocupación, sin embargo, la sospecha de que determinados países no poseedores de armas nucleares llevan a cabo programas militares nucleares, lo cual quedó demostrado hace unos años por las pruebas realizadas por India y Pakistán.

### **El Grupo de Suministradores Nucleares**

Los países firmantes del TNP pueden suministrar a países no firmantes materiales y equipos de los relacionados en el Protocolo Adicional, siempre que el país receptor acredite que el uso final de tales materiales o equipos es para instalaciones concretas que están cubiertas por un acuerdo de Salvaguardias del OIEA. Sin embargo, los principales países suministradores, reunidos en el Grupo de Suministradores Nucleares (GSN) han suscrito un Acuerdo por el cual estos suministros requerirán la aceptación por el país receptor de un régimen de Salvaguardias de Alcance Total, en virtud del cual quedan sometidas a Salvaguardias todas las instalaciones nucleares del país. Este Acuerdo, al que se incorporó España en 1988 y más recientemente China, impide la exportación de materiales y equipos de unas listas similares a las del Protocolo Adicional a países no firmantes del TNP, como India, Pakistán o Israel, o firmantes, como Irán o Corea del Norte. Últimamente India ha obtenido un reconocimiento más favorable, reconociéndosele que es un país poseedor de armas nucleares, pese a haber llegado a esta posición después de la fecha del TNP.



CAPÍTULO  
14

ASPECTOS  
ECONÓMICOS  
DE LA GENERACIÓN  
ELÉCTRICA





---

**Garantizar el suministro eléctrico significa, en una economía libre y competitiva, atender la demanda eléctrica con su exigente curva diaria, con fiabilidad y a un precio que sea aceptable para los consumidores.**

**Para ello debe tener garantizado el abastecimiento de combustible con una cesta energética diversificada de éstos y de sus tecnologías. Además, esta actividad debe hacerse de forma respetuosa con el medio ambiente.**

**La energía nuclear es muy intensiva en capital y su ventaja principal estriba en ofrecer grandes potencias de producción de gran fiabilidad y muy bajos costes anuales gracias a la gran densidad energética del uranio y la escasa volatilidad de su precio.**

---

198

## ¿QUÉ SE ENTIENDE POR COSTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA?

**E**l coste de un producto resulta de la suma de sus respectivos costes de producción, distribución, transporte y de comercialización. Cada una de estas partidas recoge los gastos incurridos en los procesos correspondientes. En el caso de las centrales eléctricas, cuando hablamos de costes nos estamos refiriendo al coste de generación y el producto es la energía eléctrica entregada a la red, que se expresa en kilovatios-hora (kWh) o megavatios-hora (MWh). La relación es  $1 \text{ MWh} = 1.000 \text{ kWh}$ .

Para producir esta energía eléctrica es necesario disponer de una central con una potencia suficiente de generación acorde con el mercado, de un combustible y del personal que se haga cargo de su gestión, operación y mantenimiento. El coste de generación eléctrica resulta de dividir el total de gastos anuales (por mantenimiento, inversiones, amortización, estruc-

turales u organizativos y de consumo de combustible) entre la producción anual lograda (MWh).

Los restantes costes de distribución, transporte y comercialización abarcan las pérdidas de energía producidas en la red, los correspondientes al mantenimiento, amortización, inversiones, etc., en ésta, en los centros de transformación, junto con los gastos comerciales, impuestos, tasas, etc.

Mientras en la producción se puede hablar de un producto, en el resto de procesos habría que hablar de un servicio, puesto que la llegada del kWh al consumidor final exige una serie de tareas adicionales a la propia producción. Piénsese que el producto kWh conlleva además de la propia energía, una serie de servicios adicionales: estabilidad de red con frecuencia de 50 Hz y de voltaje de 220 V, calidad de señal con parámetros técnicos, limitación de abastecimiento de potencia reactiva, control potencia activa, etc.

199

## ¿CÓMO SE CALCULA EL COSTE DE PRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA?

**E**l coste real de la electricidad producida en una central en explotación, durante un período de tiempo determinado, se calcula a partir del valor de amortización de la inversión de la central, del coste del combustible consumido y de los gastos de operación y mantenimiento, tal y como se realiza en cualquier planificación económica.

Con el fin de disponer de elementos de juicio a la hora de decidir las nuevas inversiones a realizar es preciso evaluar el coste medio de la producción de energía eléctrica en futuras centrales, relacionando el coste de producción a lo largo de toda la vida de la central. Para ello, es necesario definir el período de vida de la central, las horas anuales de utilización de la misma y el coste del dinero empleado en la financiación. Estos estudios de costes deben realizarse de forma sistemática para garantizar una utilización de las instalaciones que rentabilicen las inversiones realizadas y sus gastos operativos.

## ¿CÓMO SE CALCULA LA INVERSIÓN DE UNA CENTRAL?

**E**n el análisis económico de una nueva central, inicialmente es necesario establecer el denominado coste base de la central, que es lo que costaría ésta si se construyera y pagara instantáneamente. El coste base está constituido en primer lugar por los costes directos, que son: los terrenos, obra civil, montaje y equipo; y en segundo lugar, por los indirectos o inmateriales: servicios de ingeniería, inspección y dotación para contingencias durante el período de ejecución del proyecto.

Para profundizar en el detalle del análisis, es necesario desglosar del coste base la parte que es de procedencia nacional o comunitaria en el futuro y por tanto se paga en moneda del país donde se construye la central, y la parte del mismo que es necesario adquirir en el exterior y se debe pagar en moneda extranjera con el consiguiente riesgo en las variaciones del cambio.

Una central nuclear tarda en construirse y desde las primeras etapas del diseño hasta la explotación comercial transcurre un determinado tiempo siguiendo un calendario programado, el cual marca los pagos con que se irán materializando anualmente las inversiones correspondientes. Para calcular la inversión total actualizada al momento de puesta en explotación de la central será necesario sumar todos los pagos parciales, tras multiplicarlos por dos factores: el primero considera la inflación; el segundo representa los costes financieros que estará devengando cada inversión parcial desde el momento del pago hasta la puesta en operación de la central.

Según lo anterior, el coste total de inversión es igual al coste base multiplicado por un cierto factor que crece cuanto mayor sea la tasa de costes financieros y cuanto mayor es el período de construcción de la central.

El coste de la inversión total dividido por la potencia nominal de la central, MWe, representa el coste de la potencia unitaria instalada. Este pa-

rámetro es de una gran importancia porque el coste de la potencia unitaria instalada depende en gran medida del tipo de central construido, y dentro de ello no es constante para cada tipo de central, sino que depende de la potencia instalada; cuando mayor es la potencia menor es el coste unitario.

201

## ¿CÓMO INFLUYEN LA INVERSIÓN Y EL COMBUSTIBLE SOBRE EL COSTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA?

La inversión realizada en una central se amortiza a lo largo de su vida operativa. Además es necesario crear un fondo para financiar el desmantelamiento de la central cuando haya terminado su vida, el cual se estima como un porcentaje fijo de la inversión.

El coste anual de inversión se calcula a partir del número de años de funcionamiento de la central y de la tasa de capitalización del dinero, suponiendo que la amortización es uniforme a lo largo del tiempo. En el cálculo se supone que el número de horas de funcionamiento anual de la central es también constante a lo largo de su vida. Con ello resulta que la repercusión de los costes de inversión sobre el coste de kilovatio hora es directamente proporcional al coste de la potencia unitaria instalada e inversamente proporcional al número de horas de funcionamiento anual de la central.

Esto significa que las centrales nucleares, con un valor muy alto de la inversión, requieren un factor de utilización grande para ser rentables, lo que se traduce en que estas centrales deben funcionar el mayor número de horas posibles, prácticamente en base, mientras que las puntas, por lógica, se cubrirán con centrales cuyos costes de capital sean menores, aunque sus costes de combustible sean superiores.

El número de años de vida de la central se estima con un período fijo, sin que esté afectado por las horas reales de utilización. La experiencia ad-

quirida en la explotación de centrales nucleares indica que el período de 30 años aceptado inicialmente como duración de las mismas es demasiado corto, por lo que se establecen valores mayores para cada central, en función de sus vicisitudes, lo que está más de acuerdo con sus posibilidades reales. Con estas decisiones se lograrán valores menores para la repercusión de los costes de capital sobre el coste de la electricidad, puesto que la amortización se hará en un periodo mucho más largo.

La repercusión del combustible sobre el kilovatio hora generado se obtiene de dividir el coste total del combustible consumido por la central durante un año de operación (incluye coste de las materias primas energéticas, coste de los procesos de transformación, de los fletes, seguros, etc.) por la energía generada por la central durante un año de funcionamiento. Para cada tipo de central el coste del combustible por kWh generado no varía apreciablemente con el tamaño de la central.

El coste del combustible en una central hidráulica es casi despreciable, bajo en las centrales nucleares, y muy alto en las térmicas de carbón, fuel y gas.



## ¿QUÉ ES PRODUCIR ENERGÍA EN “RÉGIMEN DE BASE”?

La energía de base es la que, por ser capaz de ser producida de forma continua y en condiciones económicas aceptables para el mercado, ocupa la “base” de la curva de carga. La cobertura de la curva de demanda se realiza, por consiguiente, añadiendo a la energía base el resto de energías producidas por las diferentes tecnologías, según su disponibilidad y sus costes variables.

La solución energética diaria que garantiza el abastecimiento depende de cada país y de cada situación. Solo un parque diversificado con una “cesta” de combustibles disponible y coherente con los condicionantes locales es capaz de superar el reto diario de seguir eficazmente la curva de carga de la demanda eléctrica.

Sirva como ejemplo citar lo siguiente. Si la energía hidráulica fluyente en un país alcanza un valor suficiente porque los caudales de los ríos son muy abundantes y continuos en el año, está claro que estas centrales garantizan el abastecimiento, su coste es mínimo y generan energía de base. Es el caso de la presa de Itaipú, en la frontera de Brasil y Paraguay, que embalsa al río Paraná y acciona hasta 14.000 MW dispuestos a pie de presa (el doble de la potencia nuclear instalada en España). También lo es una cuenca carbonífera que abastece a las centrales térmicas emplazadas a pie de mina. Muy difícilmente puede serlo la energía eólica salvo que el viento fluyese de forma constante.

Generalmente no existe una solución única energética: en España y en otros muchos países no se dispone de esa garantía de potencia hidráulica ni, por supuesto, tampoco eólica. La garantía sólo se obtiene de los combustibles fósiles y de la energía nuclear que son recursos almacenables y con gran densidad de potencia.

En España las energías de base son la nuclear y el carbón, por razones de seguridad de abastecimiento y precio, junto con la denominada hidráulica fluyente, aquella que asegura los caudales de nuestros ríos pero en cantidades

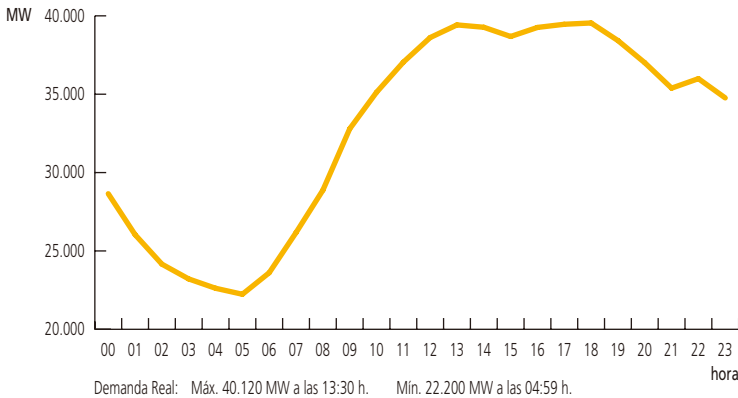
reducidas de producción. Estas energías de base cubren la demanda diaria de forma continua y son las primeras en responder al crecimiento de esa curva. A continuación entran las centrales de ciclo combinado de gas y finalmente las de gasóleo y la hidráulica almacenada disponible. Las renovables se incorporan al sistema de forma automática en cuanto se disponen pero la variabilidad que las caracteriza no permite la garantía de su concurso.

En la gráfica que se muestra está representada la curva de demanda del sistema peninsular español un día de récord histórico de consumo de verano. La energía eólica y la hidráulica apenas aportan potencia a la red que tiene que basarse en la nuclear y en las fósiles: carbón y gas para cubrir la demanda.

Los 40.120 MW de demanda instantánea de ese día se cubrieron de la siguiente manera:

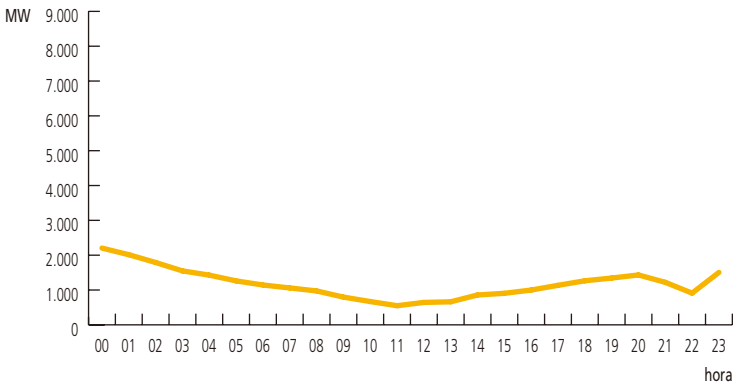
- Ciclo combinado gas: 27,55%.
- Carbón: 24,67%.
- Nuclear: 15,7%.
- Régimen especial sin eólica: 11,72%.
- Hidráulica: 10,85%.
- Fuel-Gas: 4,86%.
- Intercambios internacionales: 2,78%.
- Eólica: 1,87%.

### DEMANDA DE POTENCIA ELÉCTRICA (lunes, 10 julio 2006)





POTENCIA EÓLICA APORTADA (lunes, 10 julio 2006)



203

## ¿CUÁLES SON LOS COSTES DE LAS TECNOLOGÍAS PRINCIPALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA?

Para una comparación homogénea es preciso establecer una serie de datos homogéneos que validen la comparación. En la tabla siguiente se presentan los resultados provenientes del informe Projected Costs of Generating Electricity, 2005 Updated, realizado en el seno de la AIE-OCDE con datos procedentes de 130 proyectos (27 carbón, 23 gas, 13 nucleares, 19 eólicos, 6 solares, 24 cogeneración y 10 de otras tecnologías) siguiendo un protocolo establecido de solicitud y recogida de la información. Se supone una vida útil de 40 años, 85% de factor de carga y tasas de descuento del 5% y del 10%.

Se aprecia que los menores costes de inversión corresponden al gas natural que conlleva el menor riesgo financiero. En el caso del carbón, la inversión depende del poder calorífico del combustible: cuanto mayor sea éste, la inversión será menor, aunque también hay que tener presente los costes ge-

nerales de la reducción de las emisiones a la atmósfera y los correspondientes a la penalización de emisiones del protocolo de Kioto. Por sus características, la mayor influencia de la inversión corresponde a la energía generada por centrales nucleares. Por lo que se refiere al coste del combustible, en una central nuclear es muy bajo en comparación con el resto de las centrales térmicas y conlleva el menor riesgo de operación anual.

Las centrales nucleares precisan un elevado número de horas de utilización para que el peso del coste de la inversión no haga que ésta deje de ser una opción rentable en beneficio del kWh generado por otro tipo de centrales térmicas. El coste de la energía de origen nuclear es muy sensible a los incrementos de costes durante el período de construcción pues al ser intensiva en capital repercutirían con un aumento intensivo de los costes financieros. Por otra parte, es muy poco sensible a la elevación de los costes del combustible, con una gran estabilidad en sus costes de operación.

### EVALUACIÓN DE COSTES DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS

	<i>Coste Inversión</i>	<i>Coste Generación</i>	<i>Coste Generación</i>
	<i>US\$/kWe</i>	<i>(tasa descuento 5%) US\$/MWh</i>	<i>(tasa descuento 10%) US\$/MWh</i>
Nuclear	1.000-2.000	21-31	30-50
Carbón	1.000-1.500	25-50	35-60
Gas	400-800	37-60	40-63
Eólica	1.000-2.000	35-95	45-140
Riesgos	Financiero	Coste Combustible	Coste Combustible

*Referencia. CSN-Seguridad nuclear nº 36 A. Alonso-Origen OCDE-AIE.*

*Nota: Coste de generación: coste de inversión + coste de producción.*

## ¿QUÉ VENTAJAS SINGULARES APORTA LA ENERGÍA NUCLEAR EN UN MERCADO COMPETITIVO?

Las ventajas se pueden agrupar en cuatro capítulos:

- Con respecto al mercado eléctrico.
- A la garantía del suministro.
- A la industria y a la economía.
- A los compromisos medio ambientales.

Con respecto al mercado eléctrico, la energía nuclear aporta estabilidad económica en el coste de producción pues el precio del combustible sólo pesa un 20% sobre el coste final de producción. Al ser una energía de base, es decir de generación continua y garantizada con grandes potencias y de gran fiabilidad (sus tiempos de funcionamiento superan el 90% de las horas del año), permite estabilizar el mercado y atenuar la volatilidad del precio eléctrico influido por la elevada volatilidad del precio de los combustibles fósiles y la intermitencia en la operación de las renovables que añaden sus altos precios.

La energía nuclear es un importante factor en la garantía del suministro. La enorme densidad energética del combustible nuclear, un millón de veces por unidad de peso superior con respecto a los combustibles fósiles, hace que una central de 1.000 MW consuma al año menos de 100 t de uranio almacenables en un recinto de mínimas dimensiones. Además, la estabilidad geopolítica en los países su-



ministradores junto con la fiabilidad de la tecnología de las centrales con los citados índices de operación anual que son superiores al 90% hacen a la energía nuclear jugar un importante papel a la hora de dar estabilidad a cualquier economía que imperativamente precisa garantizar su suministro.

En lo que se refiere a la industria y a la economía, la investigación y la técnica nuclear constituyen una inversión en una disciplina de alto valor científico y tecnológico que arrastra la aplicación de los avances logrados al resto de sectores industriales y económicos. Piénsese que siempre será un desafío para la mente humana controlar la energía que mantiene las estrellas del universo y que resolvería el abastecimiento energético de la civilización humana.

Las centrales nucleares no emiten gases contaminantes, por lo que ayudan a cumplir los compromisos ambientales contenidos en el protocolo de Kioto. Independientemente de la controversia existente sobre sus residuos, éstos son en volumen mínimos y están controlados. A todo lo anterior hay que añadir que la energía nuclear entra en la "cesta de combustibles" que aseguran la diversificación energética y reducen la dependencia energética del petróleo y gas, junto con las renovables, de creciente presencia pero limitada presencia por su variabilidad.

205

## ¿SON RENTABLES LAS ENERGÍAS RENOVABLES?

**E**n un análisis de las energías renovables debe hacerse una diferenciación según sus orígenes, puesto que cada una de ellas tiene sus propias características de recepción, captación, transformación y empleo, en resumen, de costes y utilización.

Así mismo hay que tener presente que en la mayoría de los casos estas tecnologías no están todavía maduras y disponen de primas de ayuda para fomentar su utilización. Si bien la eólica tiene un desarrollo muy importan-

te en España, con 10.000 MW instalados, las restantes tecnologías de energía solar y biomasa siguen en fase de plantas experimentales o piloto, lo que implica que buena parte de estas centrales son de una dimensión muy reducida.

Desde el punto de vista estrictamente económico las energías renovables siguen sin ser competitivas, en general, respecto a las no renovables en su transformación en electricidad. Únicamente la energía producida por centrales hidráulicas y geotérmicas sería comparable con las no renovables. La energía eólica ha entrado en una fase de explotación industrial gracias a los estímulos económicos concedidos, que compensan sus mayores costes de producción comparados con las energías convencionales. El resto de energías renovables tienen unos costes de generación muy superiores a los de la energía producida por centrales que utilizan energías no renovables. En todo caso, ciertas energías renovables, como la solar fotovoltaica, pueden ser muy útiles para cubrir demandas en zonas aisladas: granjas agropecuarias, viviendas rurales, etc. En estos casos resulta más barato instalar este tipo de energía que extender la red eléctrica hasta ese punto o instalar un transformador, para una demanda eléctrica menor.

Sin embargo debe quedar claro que estas energías no garantizan potencia, pero sí pueden apoyar de forma importante la reducción del consumo de combustibles fósiles, disminuyendo la dependencia energética exterior y ayudando a cumplir los acuerdos de Kioto.

### PRIMAS A LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN 2006

<i>Energías</i>	<i>c€/kWh producido</i>
Cogeneración	2,4349
Solar Fotovoltaica ≤ 5 kW	36,0607
Solar Fotovoltaica > 5 kW	18,0304
Eólica	2,6579
Geotérmica y olas	2,6579
Hidroeléctrica	2,6579
Biomasa Primaria	2,6579
Biomasa Secundaria	2,5649
Solar Térmica	12,0202

*Nota: R.D. 156/2005 (BOE 28/12/2005)*

## ¿CUÁL ES EL PAPEL ACTUAL DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN EL MUNDO?

A principios del año 2004, en el mundo había 443 centrales nucleares en operación en 31 países, con una potencia total instalada de 359.678 MWe. La producción de electricidad de las mismas es de casi 2.500 TWh, lo que representa un 17% del total de la energía eléctrica consumida a nivel mundial.

Del total, 149 centrales se sitúan en 13 de los 25 países de la Unión Europea, generando un 33% de la electricidad consumida en los mismos.

En esa fecha estaban en construcción 25 reactores con una potencia de 19.866 MW. China y Rusia construyen 4 unidades con 4.600 MW y 3.775 MW; India, 9 unidades con 4.092 MW Japón, 3 unidades con 3.237 MW. Hay en planificación otros 73, destacando 33 unidades en China, 9 en Rusia y 6 en Corea.

El funcionamiento de las centrales nucleares en el mundo hace que se eviten emitir a la atmósfera 2.000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> cada año. En Europa, la energía nuclear evita, anualmente, el vertido a la atmósfera de 800 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, cantidad equivalente a la producida por todo el parque automovilístico europeo (200 millones de automóviles).



## REACTORES EN OPERACIÓN Y CONSTRUCCIÓN EN EL MUNDO (Desglose por países)

Países	Reactores en operación		Reactores en construcción	
	Número	MW	Número	MW
Alemania	17	20.339	0	0
Argentina	2	935	1	692
Armenia	1	376	0	0
Bélgica	7	5.801	0	0
Brasil	2	1.901	0	0
Bulgaria	4	2.722	0	0
Canadá	18	12.599	0	0
Corea del sur	20	16.810	0	0
China (*)	15	11.476	5	5.600
Eslovenia	1	656	0	0
España	9	7.588	0	0
Estados Unidos	104	99.210	0	0
Federación Rusa	31	21.743	4	3.775
Finlandia	4	2.676	1	1.600
Francia	59	63.363	0	0
Hungría	4	1.755	0	0
India	15	3.040	8	3.602
Irán	0	0	1	915
Japón	56	47.839	1	866
Lituania	1	1.185	0	0
México	2	1.310	0	0
Países Bajos	1	449	0	0
Pakistán	2	425	1	300
Reino Unido	23	11.852	0	0
República Eslovaca	6	2.442	0	0
República Checa	6	3.368	0	0
Rumanía	1	655	1	655
Suecia	10	8.918	0	0
Suiza	5	3.220	0	0
Suráfrica	2	1.800	0	0
Ucrania	15	13.107	2	1.900
<b>Total</b>	<b>443</b>	<b>369.560</b>	<b>25</b>	<b>19.905</b>

Datos marzo de 2006. ENERGÍA 2006.

(\*) Incluye China Continental y Taiwan.

Fuente: IAEA (Base de datos "PRIS") y elaboración propia.

## ¿CUÁL ES EL PAPEL ACTUAL EN ESPAÑA DE LA ENERGÍA NUCLEAR?

**A** ctualmente, la energía nuclear en España supone más del 20% del total de energía eléctrica producida. Es una energía fiable que garantiza la cobertura de una importante parte de la demanda de base y que permite la estabilización y reducción futura del precio medio de la electricidad:

- Es un factor de moderación del precio eléctrico, puesto que en la estructura de costes de una central nuclear el combustible solo representa el 15% del coste total, incluido el desmantelamiento y gestión del combustible gastado, mientras en las centrales fósiles de carbón o gas, este factor oscila entre el 50% y el 70%. Téngase en cuenta que después de un largo período de bonanza del precio del petróleo durante los últimos 25 años, con valores mantenidos en los 20\$/barril, en 1986 se ha encarecido hasta los 70\$ y que el precio del gas está indexado al del petróleo.
- Es un factor de estabilidad de ese precio, pues la oferta nuclear en el mercado eléctrico garantiza una producción a un precio estable, resolviendo el 20% de la energía demandada.
- Aporta una tecnología robusta con un índice de aprovechamiento anual superior al 90% y con un índice de fallo imprevisto en valores del orden del 1%, capaz de estar conectada a la red más del 90% de las horas del año. Además, su producción ha estado presente en la cobertura de las puntas críticas de potencia de verano e invierno.
- Ha sido un importante apoyo en el programa de optimización del sector eléctrico en su adecuación a la liberalización energética proclamada por la Unión Europea, aplicando programas de comparación con otras instalaciones europeas y mundiales de forma que tanto sus procedimientos de gestión y administración como sus instalaciones, que han sido mejoradas, están en línea con las mejores referencias existentes.



A este respecto hay que citar el esfuerzo del sector eléctrico en su adaptación a las condiciones del mercado único europeo y a la liberalización de este mercado. El eficaz plan de ajuste aplicado ha permitido que los precios de la energía eléctrica al consumidor en España se hallen en la banda baja en relación a los vigentes en la Unión Europea y claramente por debajo de la media en numerosos otros tipos de suministros. Comenzado este Plan en 1993, su aplicación se aceleró en 1997 tras la firma del Protocolo Eléctrico firmado el 11 de diciembre de 1996. Fruto de este esfuerzo, en el período 1997-2005, la tarifa eléctrica (que aún gobierna una parte importante del suministro) ha disminuido un 13,1% en términos nominales y un 39,3% en términos reales o constantes, es decir descontada la inflación. En ese mismo plazo, el consumo ha crecido un 54% y se ha mantenido la calidad de suministro, mientras la potencia instalada ha alcanzado los 79.205 MW, con un incremento de casi 28.000 MW, valor equivalente a la potencia instalada en España en 1978.

- Las centrales nucleares han sido y son un activo fundamental en la competitividad del sector eléctrico español que fue capaz en los años 60 de incorporarse a los programas más avanzados de esa época en la construcción de centrales nucleares y que han dotado al tejido científico e industrial español de capacidad internacional para su presencia en otras áreas industriales.
- Es una energía que no emite gases del efecto invernadero, en un momento en el que crece la preocupación por un calentamiento acelerado del planeta de origen humano, y el protocolo de Kioto ha introducido penalizaciones económicas en las tecnologías que generan estos gases.



## ¿QUÉ CONSECUENCIAS SE DERIVARÍAN DEL CIERRE PREMATURO DE LAS CENTRALES NUCLEARES?

Incrementaría la dependencia energética exterior en más del 5%. La energía primaria utilizada en España, a partir de recursos propios, representa una quinta parte del total consumido, lo que significa una importación del exterior del 80%. Si se sustituyen las centrales nucleares por otras tecnologías fósiles, por ejemplo centrales de gas, esa dependencia exterior aumentaría en ese valor del 5%. Además, esta dependencia podría alterar situaciones geoestratégicas y geopolíticas que pueden crear situaciones de escasez por condiciones de todo tipo, económicas o políticas, surgidas en los países exportadores y en el entramado mundial de las relaciones internacionales.

Inestabilizaría el mercado eléctrico y encarecería su precio. La energía nuclear, cuyo coste depende poco del combustible, asegura una constancia del precio de la electricidad, y es el principal componente de las fuentes nacionales de energía, por lo que asegura el mantenimiento de precios en situación normal y un mínimo de producción en caso de crisis grave. Hay que tener en cuenta que la energía nuclear produce un quinto de toda la electricidad generada en España y que la retirada de esta producción que está garantizada en volumen y precio repercutiría en el funcionamiento del mercado, que tendría que buscar en las energías fósiles ese abastecimiento.

En la actualidad, las centrales nucleares producen el MWh a un precio de 14,4€, desglosándose este valor en 7,0€ / MWh de inversión, 3,0€ / MWh de operación y mantenimiento anual, 2,0€ / MWh de combustible y 2,0€ / MWh de inversiones anuales recurrentes para la mejora de las instalaciones. Estos valores son muy inferiores a los de las centrales de gas.

Se alteraría la garantía de suministro al retirar del mercado un robusto parque de centrales de 1.000 MW, disponible en más del 90% de las horas del año y que garantiza la potencia al sistema en sus puntas de máxima demanda, que no genera gases del efecto invernadero y que consu-

me un combustible de alto poder energético, el uranio, de fácil almacenamiento estratégico y precio estabilizado. Esta energía hoy en día solo sería sustituible por centrales de ciclo combinado de gas y centrales de carbón o fuelóleo y para ello habría que acometer un importante plan inversor durante 4 años que concluiría en una situación de encarecimiento e inestabilidad del precio eléctrico.

Incrementaría el vertido de gases del efecto invernadero con sus repercusiones medioambientales y económicas al tener que abonar los costes de los derechos de emisión acordados en el compromiso de Kioto, haciendo, ya, incumplibles para España los compromisos adquiridos.

Supondría un elevado coste científico y tecnológico en el desarrollo nuclear, pues se abandonaría o quedaría muy en precario, debiendo confiar en su desarrollo exterior para ser capaces de afrontar el futuro. Además, una parada de las centrales nucleares produciría un deterioro considerable en la capacidad tecnológica adquirida y en las oportunidades de desarrollo y de perfeccionamiento tecnológico futuro, no sólo en el campo energético, sino también en múltiples aplicaciones en otras áreas (medicina, agricultura, industria, minería, investigación, etc.).

Exigiría la reconversión de los cerca de 20.000 trabajadores de su industria y generaría cuantiosas y muy importantes compensaciones a las empresas propietarias por el cese de una actividad legalmente autorizada y por la reclamación de recuperación de las elevadas inversiones comprometidas por daños por lucro cesante.

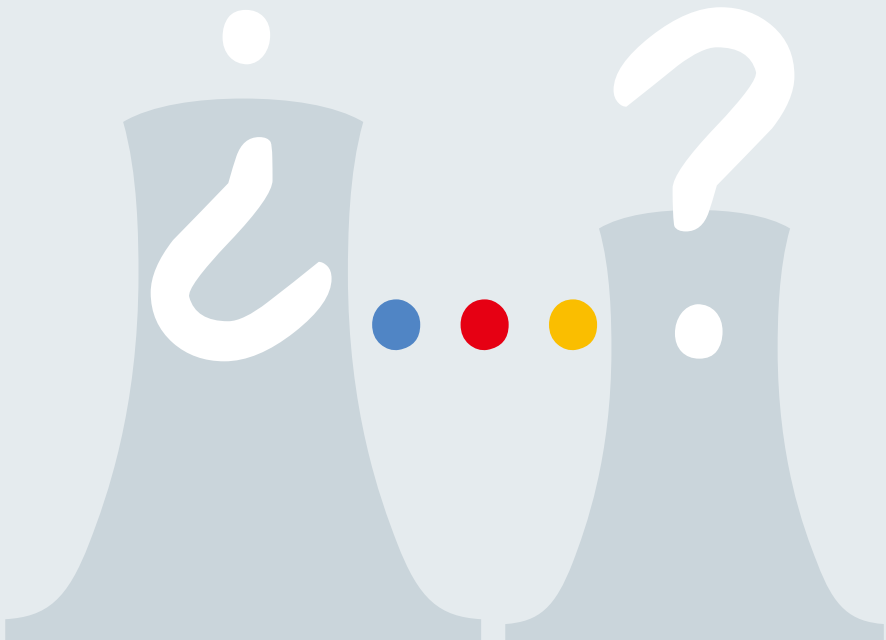
Desde el punto de vista socioeconómico, los municipios del entorno de las centrales nucleares españolas perderían unos 27 millones de euros al año que reciben en concepto de cánones e impuestos y otros 40 millones anuales por los consumos de todo tipo que hacen las centrales nucleares. A todo lo anterior es preciso añadir el impacto económico del personal cesante de las centrales en los municipios y pueblos vecinos de las centrales, estimado en unos 25 millones de euros por unidad nuclear.

Por último, crearía una situación confusa por cuanto los planes de abandono de la energía nuclear en otros países que así lo habían anunciado, están o muy ralentizados o en regresión, y se anuncian importantes inversiones en la tecnología nuclear en el área emergente del Pacífico, destacando China, India y Japón, junto con renovadas expectativas en el mercado estadounidense.



CAPÍTULO  
15

# LA ENERGÍA EN LA ECONOMÍA ESPAÑOLA





---

**No existe la mejor ni la peor fuente energética pues todas, absolutamente todas, son necesarias de cara a un futuro que muestra una incertidumbre energética importante ante el esperado incremento de consumo en el mundo y el previsible final de la época de energía abundante y barata.**

**La “cesta energética” española no puede prescindir de ninguna energía primaria. La sociedad debe comprender la importancia de adelantar soluciones que resuelvan futuros escenarios de gran dificultad.**

**Cualquier decisión de inversión en nuevas infraestructuras de producción y distribución energética lleva tiempos de ejecución amplios e inversiones muy importantes, con la amenaza coincidente de una gran volatilidad en los precios de los combustibles.**

---

209

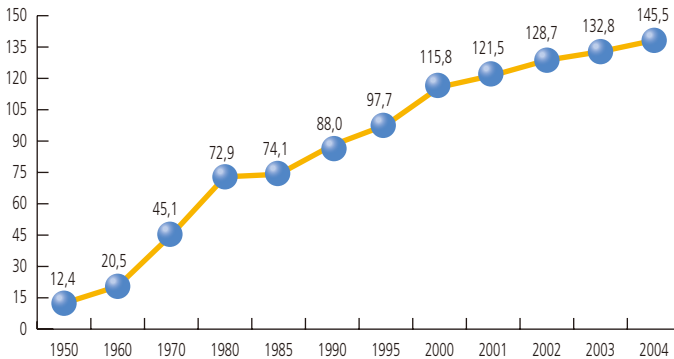
## ¿CUÁL ES EL CONSUMO DE ENERGÍA EN ESPAÑA?

**C**omo país desarrollado e industrializado, España tiene un consumo relativamente elevado de energía (145,5 Mtep). Aunque en términos absolutos quedamos aún lejos de los países más industrializados (como EE.UU. con 2.331 Mtep, Japón con 514 Mtep, Alemania con 330 Mtep, Francia con 263 Mtep, Reino Unido con 227 Mtep), el consumo español bruto de energía primaria, similar al de México, supera al de todos los países del continente africano juntos (excluidos los tres grandes productores, Sudáfrica, Argelia y Egipto, cuya demanda está favorecida por este hecho). Con respecto a los “tigres” asiáticos, China consume 1.387 Mtep e India 376 Mtep.

Medido en términos de energía primaria la evolución del consumo interior bruto español ha tenido en los últimos decenios una clara trayectoria ascendente, que se quiebra como consecuencia de la crisis del petróleo de los 70 para, desde entonces, acelerar su crecimiento.

A idénticas conclusiones podría llegarse utilizando las estadísticas de consumo final, si bien por la limitación de las series temporales suelen emplearse bastante menos.

### EVOLUCIÓN DEL CONSUMO INTERIOR BRUTO DE ENERGÍA EN ESPAÑA (Mtep)



Fuente: MINECO. Nota: desde la crisis del petróleo ocurrida en los años 70, España ha multiplicado su consumo energético por tres.

210

## ¿CUÁL ES HOY EL BALANCE ENERGÉTICO ESPAÑOL Y CÓMO HA EVOLUCIONADO?

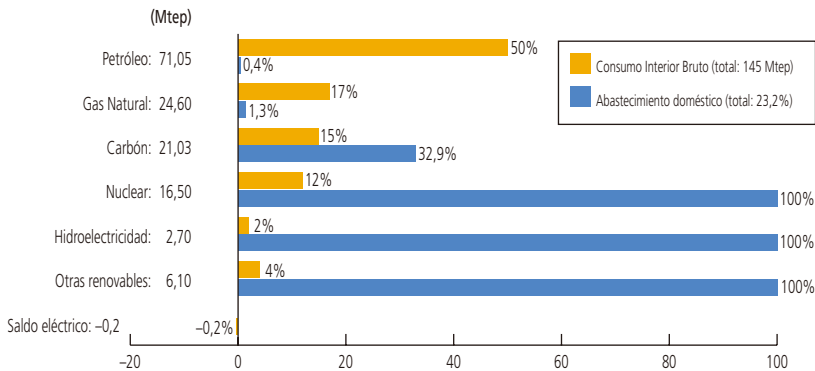
Lo primero que destaca al observar el balance energético de España correspondiente al año 2004 es la enorme diferencia entre el consumo —145 Mtep— y la producción interna, con sólo 33 Mtep en datos de la Agencia Internacional de la Energía. España importa el 77% de la energía que consume, porcentaje 26 puntos porcentuales superior a la media de la Unión Europea. La factura que abona España es muy elevada y lo que es más importante, de difícil sustitución, pues petróleo y gas son insustituibles para la economía y la sociedad. Además, esta depen-

dencia conlleva estar expuestos a la volatilidad del precio del petróleo, que en 2004 estaba a 20\$ el barril y en 2006 a más de 70\$, arrastrando al gas, combustible indexado en precio con aquél. Este incremento del precio del petróleo de 50€ ha supuesto a la economía española un coste de 18.000 millones de euros anuales pagados al exterior íntegramente.

Dentro del consumo energético español el papel del petróleo es fundamental ya que aporta holgadamente la mitad del total, algo que viene sucediendo desde hace más de 30 años. Teniendo en cuenta que nuestra producción de crudo es casi nula, aquí está una de las causas del déficit energético de España. El carbón hasta hace bien poco era la segunda energía primaria por su aportación al consumo bruto, pero ha cedido su puesto al gas. La energía nucleoelectrónica figura en cuarto lugar tras detenerse las nuevas inversiones a principios de los 80 y no preverse en un futuro inmediato la incorporación de nuevos reactores a nuestro parque nuclear.

El gas avanza imparable en el consumo siguiendo el camino de otros países europeos de nuestro entorno. La hidroelectricidad, que en los años 60 llegó a aportar más del 20% de nuestras necesidades energéticas, ha quedado relegada a un papel secundario, situándose en torno al 3%. Finalmente, las energías renovables lentamente incrementan su presencia y las expectativas son de alcanzar el 12% del consumo de energía primaria en 2010.

### BALANCE ENERGÉTICO ESPAÑOL EN ENERGÍAS PRIMARIAS EN 2004\*



Fuente: UNESA.

\* España importa el 77% de la energía que consume.

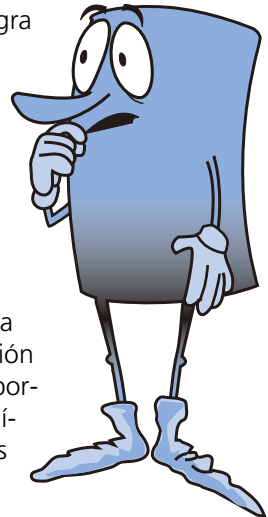


## ¿POR QUÉ SOMOS TAN DEPENDIENTES Y VULNERABLES EN ENERGÍA?

**E**n la pregunta anterior se puso de manifiesto cómo el “mix” energético español está muy desnivelado por el consumo de petróleo y gas, y además es muy sensible a la volatilidad de sus precios. En contraste con esta situación, la demanda energética crece de forma notable y la producción propia está estancada. Sin la energía nuclear y solo con la promesa de las renovables que no garantizan el suministro es muy difícil enviar señales positivas y de estabilidad al mercado y a la economía. Se puede proseguir incrementando la dependencia del petróleo y gas, pero habrá que aceptar las repercusiones de estas subidas y la dependencia exterior generada, además de no relegar de la memoria que son combustibles finitos con calendarios no tan lejanos.

Recordemos que los recursos autóctonos de hidrocarburos y de gas son muy escasos —los del petróleo están a punto de agotarse—, que la oferta de carbones es limitada por carestía y mala calidad con el condicionante del comercio de emisiones auspiciado por el protocolo de Kioto, que la hidráulica está al límite de sus posibilidades y la limitación de la variabilidad de la producción eólica, que sólo logra operar la tercera parte de las horas del año y sin estar garantizada su potencia. La energía nuclear puede garantizar potencia y energía y reducir la dependencia exterior. Las energías renovables deben proseguir su avance pues complementan a las fósiles y a la nuclear. No se trata de que las energías compitan entre sí, sino de buscar su más adecuada utilización.

Estrechamente ligado al problema de la dependencia está el de la vulnerabilidad, que se define en función del grado de dependencia; concentración de las importaciones por países, áreas económicas y sistemas políticos, afinidad geográfica, política y cultural de los



países que nos suministran energía y, finalmente, asimetría en los mercados. Nuestra incorporación a la Unión Europea ha disminuido la tensión asociada a la dependencia energética pero no por ello elimina las existentes por el desequilibrio de la balanza energética.

212

## ¿POR QUÉ EXISTIENDO MUCHO CARBÓN EN EL SUBSUELO ESPAÑOL TENEMOS QUE IMPORTARLO?

Los cálculos y estimaciones de nuestra riqueza carbonífera no son precisamente escasos, disponiéndose de una exhaustiva y actualizada información al respecto. Sobre esa base cabe afirmar que la disponibilidad de recursos carboníferos en España es alta en términos geológicos, cifrándose en unos 4.300 millones de toneladas. Ese total se distribuye en 2.300 millones de toneladas de hulla y antracita, 1.500 millones de lignito negro y 300 millones de lignito pardo. Sin embargo, la evaluación económica reduce considerablemente esas cifras, situándose las reservas recuperables en 1.450 millones de toneladas (850 de hulla y antracita, 400 de lignito negro y 200 de lignito pardo). Incluso existen cálculos más pesimistas basados en las dificultades y carestía de la explotación de nuestros yacimientos.

213

## ¿CUÁL ES LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO EN ESPAÑA?

España es un insignificante productor de crudo, con unas extracciones que en los últimos años están muy por debajo del millón de toneladas, con clara tendencia a descender. La escasísima producción interna

contrasta con unas necesidades que pueden situarse en algo más de 74 millones de toneladas, con tendencia a incrementarse.

Hasta 1964, con el descubrimiento del campo de "Ayoluengo" (al norte de la provincia de Burgos), las prospecciones de crudo no tuvieron éxito. Después, la pésima calidad de crudo obtenido en ese yacimiento hizo imposible su refinado, por lo que hubo que esperar hasta la década de los años setenta, con el descubrimiento de los campos "off shore" de "Amposta", "Casablanca" y "Dorada", situados en la plataforma continental de Tarragona, para que la producción española superase el millón de toneladas. En todo caso, la reducida cuantía de las reservas descubiertas hace pensar que en un futuro próximo la producción de crudo obtenida en España será prácticamente nula.

Actualmente la producción se obtiene en cuatro concesiones "Casablanca", "Boquerón", "Rodaballo" y "Ayoluengo".

#### PRODUCCIÓN ESPAÑOLA DE PETRÓLEO (miles de tep)

1973	765	1995	652
1980	1.602	2002	316
1986	1.858	2003	321
1990	755	2004	255

Fuente: Ministerio de Industria.



## ¿CUÁL ES LA PRODUCCIÓN ESPAÑOLA DE GAS NATURAL?

Hasta 1984 la producción española de gas natural ha sido insignificante, limitándose al gas asociado a los crudos extraídos en algunos campos petrolíferos. Hoy en día, esta energía debe ser mayoritariamente importada, siendo las necesidades en 2004 de 27,4 millones de tep.

La crisis energética de los años 70 y comienzos de los 80 impulsó el establecimiento de un marco favorable para la prospección de hidrocarburos, con efectos positivos en lo relativo al gas natural, descubriéndose los campos de "Serrablo" (Huesca) y "Gaviota" (en la plataforma continental del Cantábrico) que facilitaron un considerable crecimiento de la producción, la cual llegó a superar a finales de la década de los 80 y comienzos de los 90 el millón de tep. Sin embargo, en los últimos años el declive de esos campos no ha podido ser compensado con la producción de los que más recientemente han entrado en operación, situados en el Golfo de Cádiz.

### EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ESPAÑOLA DE GAS NATURAL (miles tep)

1973	16	1990	1.308
1980	33	1995	596
1984	204	2000	146
1987	569	2004	319

Fuente: Sedigas.



## ¿CUÁL ES EL PARQUE ELÉCTRICO ESPAÑOL?

La producción de electricidad en España se obtiene mediante una variada gama de centrales que se pueden clasificar en cuatro tipos: hidráulicas, térmicas clásicas o convencionales, nucleares y renovables. Hay que añadir que estas instalaciones se computan en dos regímenes diferentes de cara a su concurso en el actual mercado eléctrico. El régimen ordinario con las grandes instalaciones de potencia superior, en general, a los 50 MW y el régimen especial, con los autoprodutores y las energías renovables, con potencias inferiores a los 50 MW.

En su cómputo total, con ambos regímenes incluidos, se puede observar que el 44% de la potencia instalada corresponde a las centrales térmicas clásicas, el 23% a las hidroeléctricas, el 10% a las nucleares y el 23% restante a renovables.

Es de notar que ha habido un incremento de potencia de las centrales nucleares desde 1990, cifrado en casi 500 MW y que no se debe a la incorporación de nuevos reactores sino a cambios de generadores de vapor y de turbinas, junto a modificaciones de diseño tendentes a la optimización del rendimiento térmico de estas centrales.

El régimen ordinario, con 60.126 MW instalados, supone el 75% del total instalado, correspondiendo los restantes 19.079 restantes al régimen especial. En lo que se refiere a la estructura de generación del régimen ordinario y a las centrales térmicas convencionales (combustibles fósiles), el parque de centrales de ciclo combinado de gas natural tienen la misma potencia instalada que el parque de centrales de carbón, alrededor de 12.000 MW, mientras el de fuelóleo suma 6.960 MW y el de fuelóleo/gas 3.600 MW.

Debe tenerse muy en cuenta el gran desfase que hay entre la estructura de potencia instalada y la de producción. Mientras las centrales nucleares logran aprovechamientos de máxima capacidad de producción con el 90%, la hidráulica y la eólica solo alcanzan entre un 20 y un 30%, a causa de la irregularidad meteorológica. Esto quiere decir que la estructura

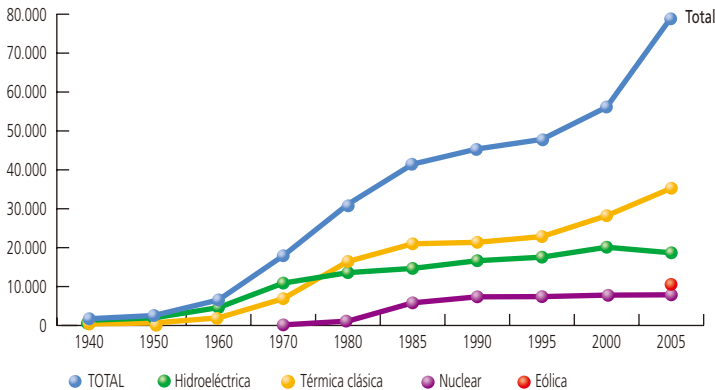
de potencia, sin más, no es un indicador de capacidad de suministro ni de garantía de abastecimiento.

### EVOLUCIÓN DE LA POTENCIA INSTALADA EN ESPAÑA SEGÚN TIPOS DE CENTRAL (MW)

	TOTAL	Hidroeléctrica	Térmica clásica Combustibles fósiles	Nuclear	Eólica
1940	1.731	1.350	381	—	
1950	2.553	1.906	647	—	
1960	6.567	4.600	1.967	—	
1970	17.924	10.883	6.888	153	
1980	31.144	13.577	16.447	1.120	
1985	41.467	14.661	20.991	5.815	
1990	45.376	16.642	21.370	7.364	
1995	47.824	17.558	22.849	7.417	
2000	56.119	20.107	28.214	7.798	
2005	79.205	18.674(*)	42.787(*)	7.878(*)	9.866(*)

(\*) Hasta 2002, la energía eólica se incluía en la hidroeléctrica, junto a la solar. Térmica clásica incluye autoproducedores en régimen especial.

### POTENCIA INSTALADA EN ESPAÑA (MW)



Fuente: UNESA.

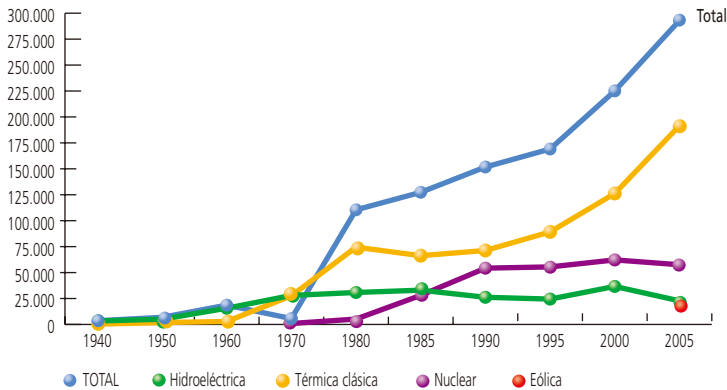
### EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN ESPAÑA SEGÚN TIPOS DE CENTRAL (GWh)

	TOTAL	Hidroeléctrica	Térmica clásica	Nuclear	Eólica
1940	3.617	3.353	264	—	—
1950	6.853	5.017	1.836	—	—
1960	18.454	15.625	2.829	—	—
1970	56.490	27.959	27.607	924	—
1980	110.483	30.807	74.490	5.186	—
1985	127.363	33.033	66.286	28.044	—
1990	151.741	26.184	71.289	54.268	—
1995	169.104	24.450	89.199	55.455	—
2000	225.113	36.639	126.268	62.206	—
2005	292.470	22.765(*)	191.539	57.550	20.616(*)

Fuente: UNESA 2005.

(\*) A partir de 2002, la eólica se desglosa del apartado hidroeléctrica que incluye renovables.

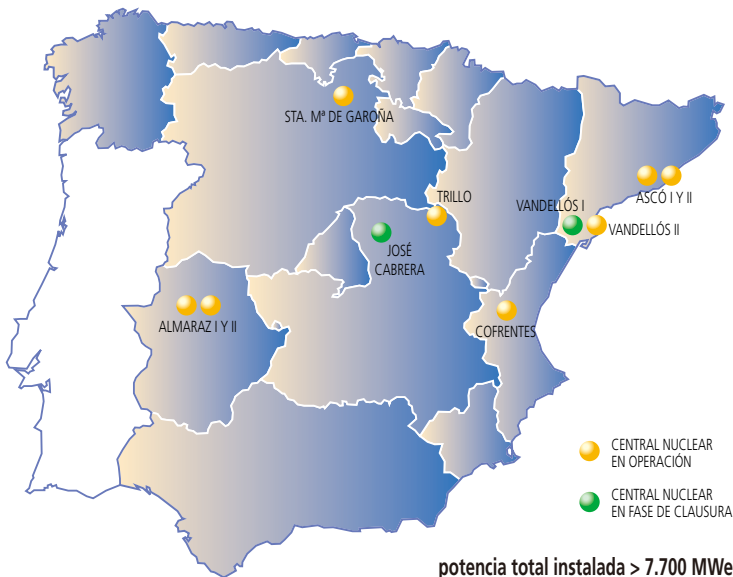
### PRODUCCIÓN EN ESPAÑA (GWh)



## ¿QUÉ CENTRALES NUCLEARES HAY EN ESPAÑA?

Actualmente funcionan en España seis centrales nucleares con ocho reactores acoplados a la red eléctrica peninsular, de ellas, dos —Almaraz y Ascó— disponen cada una de dos reactores casi gemelos. Se las suele clasificar en tres etapas en función de su época de construcción y de otros criterios aún más relevantes. La Central de Santa María de Garoña pertenece a la primera etapa, junto a las ya clausuradas de Vandellós I (se cerró en 1989) del tipo francés GCR, con 480 MWe de potencia, y José Cabrera, modelo PWR, cerrada en 2006. Estas centrales se construyeron en la segunda mitad de la década de los 60.

### CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA





A la segunda etapa pertenecen las centrales de Almaraz (dos reactores), Ascó (dos reactores) y Cofrentes, conectadas a la red entre 1983 y 1986. La construcción de los cinco reactores hoy en funcionamiento se dilató a lo largo de unos diez años —fueron autorizadas entre 1971 y 1972— por las incertidumbres políticas de la época. La participación nacional se situó en torno al 60 por 100 entre obra civil y equipo, con importantes efectos impulsores sobre la industria española. La construcción de la central de Lemóniz con dos grupos, y perteneciente a esta segunda etapa fue abandonada por problemas, ajenos a la técnica, surgidos durante su construcción.

### CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS

Nombre	Provincia	Tipo de reactor	Potencia MWe Año 2005	Suministrador NSSS	Entrada en Operación
Sta. María de Garoña	Burgos	BWR	466	General Electric	11.05.1971
Almaraz I	Cáceres	PWR	977	Westinghouse	1.09.1983
Almaraz II	Cáceres	PWR	980	Westinghouse	1.07.1984
Ascó I	Tarragona	PWR	1.032	Westinghouse	10.12.1984
Ascó II	Tarragona	PWR	1.027	Westinghouse	31.03.1986
Cofrentes	Valencia	BWR	1.092	General Electric	11.03.1985
Vandellós II	Tarragona	PWR	1.087	Westinghouse	8.03.1988
Trillo	Guadalajara	PWR	1.066	KWU	6.08.1988

Fuente: UNESA.

A la tercera etapa pertenecen las centrales de Valdecaballeros (I y II), Trillo (I y II), Vandellós (II y III), Sayago y Regodola, con un total inicialmente autorizado (entre septiembre de 1975 y septiembre de 1976) de 7.914 MWe. De estas centrales sólo entrarían en funcionamiento Trillo I y Vandellós II, tras doce años de construcción plagada de incertidumbres políticas. Las demás entraron en moratoria, unas en avanzado estado de construcción, como Valdecaballeros, otras con solo algunos suministros de ingeniería y equipo y las otras con las obras de explanación realizadas, como Trillo II, Sayago y Regodola.

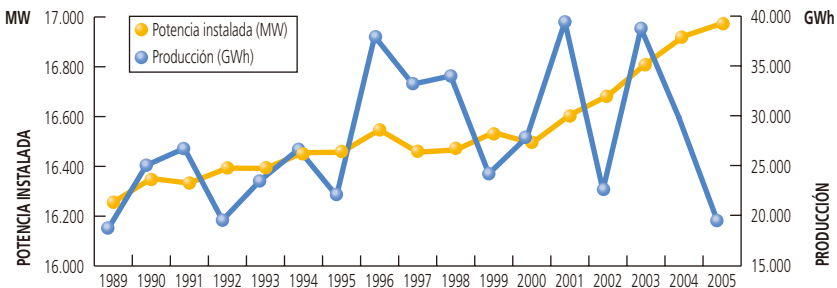
## ¿POR QUÉ VARÍA TANTO LA PRODUCCIÓN HIDROELÉCTRICA ANUAL?

**A**l depender de la hidrografía, en último término, del régimen de precipitaciones, la producción eléctrica de origen hidráulico está sometida a las fuertes variaciones climatológicas de nuestro país y, en concreto, de la España peninsular, en donde se encuentra la totalidad de la potencia hidroeléctrica disponible.

La clave está en la irregularidad temporal del régimen de precipitaciones peninsular, sometido no sólo a variaciones estacionales bastante conocidas, con prolongados estiajes y lluvias torrenciales en primavera y otoño, sino a diferencias interanuales también muy acusadas. Aunque mediante embalses hiperanuales se viene tratando de regular a largo plazo el caudal de nuestros principales ríos, la realidad es que la sucesión de años húmedos y secos provoca notables oscilaciones en la producción de hidroelectricidad. En todo caso, la producción hidroeléctrica es de gran interés por su disponibilidad para atender puntas de demanda.

En el gráfico siguiente se han tratado de resumir las más importantes y recientes variaciones anuales de la producción hidroeléctrica, tomando como referencia la capacidad instalada en este tipo de centrales.

POTENCIA INSTALADA Y PRODUCCIÓN ANUAL DE LAS CENTRALES HIDRÁULICAS ESPAÑOLAS



## ¿POR QUÉ NECESITAMOS PRODUCIR ELECTRICIDAD CON CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA?

A partir de la segunda mitad del pasado siglo, la electrificación española desde el punto de vista de la generación eléctrica se ha desarrollado en cuatro fases.

Primeramente, las grandes centrales hidráulicas protagonizaron las inversiones en los años 50 y 60, pues era la tecnología disponible y además utilizaba los caudales fluyentes de nuestros ríos. Además, la construcción de embalses resolvía otras necesidades en un país seco que debe dar respuesta a éste y a los restantes usos de abastecimiento.

Sin embargo, la climatología ibérica restringe y limita los caudales hidráulicos y supone un techo a esta fuente energética. Hoy, los grandes aprovechamientos están ya utilizados y la pequeña potencia hidráulica adicional soporta un coste ambiental importante.

Ya en los años 60, las nuevas tecnologías de plantas térmicas, junto con el bajo precio de los combustibles fósiles, impulsaron inversiones en estas centrales, que independizaban la producción de los ciclos climatológicos y, además, atendían a las nuevas necesidades de la economía.

Primero fue el carbón autóctono, después desplazado por el fuelóleo cuyo uso era impulsado por unos precios del petróleo mínimos y que hacían rentables cualquier inversión. Sin embargo, la crisis del petróleo en la década de los 70 tuvo un fuerte impacto en la situación económica mundial y los estados entendieron la necesidad de diversificar sus fuentes energéticas.

Las economías occidentales apostaron, entonces, por impulsar ambiciosos programas nucleares hasta el accidente de Chernobyl en 1986 que frenó en seco esta carrera. En esa época entró en juego el recurso al gas natural gracias al desarrollo de la tecnología de ciclos combinados y al despejarse el acceso a las extensas y nuevas reservas de los países pro-

ductores. También se acometió un programa de nuevas centrales de carbón, esta vez importado, con novedosas tecnologías de quemado y eliminación de sus gases contaminantes.

En estos últimos años la energía eólica se ha incorporado a la producción eléctrica con un ambicioso programa de inversiones que ha logrado, en apenas unos años, alcanzar una potencia instalada de casi 10.000 MW aunque limitada en su disponibilidad a la tercera parte de las horas del año. Además, el protocolo de Kioto penaliza ahora las emisiones de CO<sub>2</sub> y altera la competitividad de los combustibles fósiles.

¿Cuáles son las necesidades de la economía española? Analizando el parque de potencia disponible y su producción anual obtenemos una primera y clara respuesta. Las centrales térmicas convencionales y nucleares, con el 55% de la potencia instalada, abastecen el 85% del consumo. Luego, añadiendo los datos de cobertura de la demanda en un día de máximo consumo histórico, por ejemplo el 11 de julio de 2006 con 40.600 MW, obtenemos el resto de la información para concluir dónde están las soluciones: nuevamente, los combustibles fósiles y el uranio resolvieron el 75% del suministro.

### PARQUE ELÉCTRICO ESPAÑOL-2005

	Potencia-MW	% MW	Energía-GWh	% GWh
Térmica clásica	35.274	45%	191.539	65%
Térmica nuclear	7.878	10%	57.550	20%
Hidroeléctrica	16.974	21%	19.515	7%
Eólica	9.866	12%	20.616	7%
Resto renovables y autogeneradores	9.213	12%	43.831	1%
<b>Total</b>	<b>79.205</b>	<b>100%</b>	<b>292.920</b>	<b>100%</b>

Fuente: Memoria UNESA-2005.

La energía nuclear muestra su potencialidad como energía de base y al ser garante de suministro al cubrir el 20% de la demanda con solo el 10% de la potencia a lo largo del año. Las renovables muestran su condicionamiento a la variabilidad climatológica y las fósiles cumplen su función de cobertura pero transmitiendo los costes de producción a los consumidores y a la economía.

### COBERTURA DEMANDA ELÉCTRICA EN MÁXIMO HISTÓRICO

	<i>Potencia utilizada</i>	<i>Energía</i>	<i>Potencia disponible de la instalada total</i>
Carbón	24,1%	27,0%	81%
Ciclo combinado Gas Natural	27,3%	29,0%	88%
Nuclear	15,6%	18,0%	80%
Hidráulica	12,5%	6,0%	30%
Eólica	6,0%	7,0%	25%
Fuelóleo-Gas	5,2%	4,0%	20%
Régimen especial (1)	8,8%	8,0%	39%
Intercambios internacionales	-0,5%	-0,5%	
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>51%</b>
<b>TOTALES (2)</b>	<b>40.600 MW</b>	<b>866.446 MWh</b>	<b>79.205 MW instalados</b>

(1) Régimen especial con pequeños autoprodutores sin eólica.

(2) La potencia corresponde al momento de punta de demanda y la energía se refiere a la producción de ese día.

Fuente: REE.

La solución está en mantener un parque diversificado en tecnologías y fuentes energéticas, con suministradores y abastecimientos también diversificados geográficamente. Cualquier abandono de una energía primaria tiene unos costes muy elevados, pues a los datos del cuadro anterior hay que añadir los costes de producción y de los combustibles utilizados que inevitablemente tendrán que ser transferidos a la economía y a sus consumidores. Además, no hay que olvidar que habrá que sumarles los correspondientes al cumplimiento del Protocolo de Kioto.



## ¿ES MÁS BARATO PRODUCIR ELECTRICIDAD CON CENTRALES NUCLEARES?

La comparación de costes entre las diferentes tecnologías y combustibles exige disponer de una estadística de datos provenientes de un número suficiente de centrales diferentes y correlacionarlos con los de otros países a efectos de eliminar errores sistemáticos y estadísticos inducidos por las peculiaridades de las diferentes economías.

Los factores que entran en juego en este cálculo son, en lo que se refiere a los costes de producción: la amortización de la inversión con diferentes periodos de construcción y costes de su financiación, los de operación y mantenimiento y los del combustible. La volatilidad de estos factores es por consiguiente distinta y en algunos de sus términos muy elevada.

Quedarían por incluir los costes de final del ciclo con el tratamiento de los residuos generados y el desmantelamiento de la central. No hay homogeneidad en la comparación entre las diferentes tecnologías pues la restitución de minas y emplazamientos de centrales, así como del tratamiento de desechos de todo tipo no se exige por igual. En el caso nuclear sí está establecido y previsto solucionar este aspecto, pero no así en las restantes tecnologías.

### COMPARACIÓN DE COSTES POR TECNOLOGÍAS

	Coste Capital	O y M	Combustible	Total	€/MWh	Costes Acuerdo Kioto
Nuclear	58%	31%	12%	100%	23,7	No
Gas	17%	11%	72%	100%	31,2	Si
Carbón	23%	22%	54%	100%	32,9	Si
Turba	29%	19%	52%	100%	34,6	Si
Biomasa	28%	18%	55%	100%	46,8	Si
Eólica	80%	20%	0%	100%	50,1	No

Tabla 3.5 Energía 2006, se consideran 8.000 horas anuales de operación, excepto eólica (2.200 horas). Tasa de descuento del 5% y precios del gas del año 2003. No se consideran subvenciones ni contabilización de los costes derivados del acuerdo de Kioto.

Fuente: R. Tarjanne & K. Luostarinen (06.02.2004). Lappeeranta University of Technology. Finlandia.

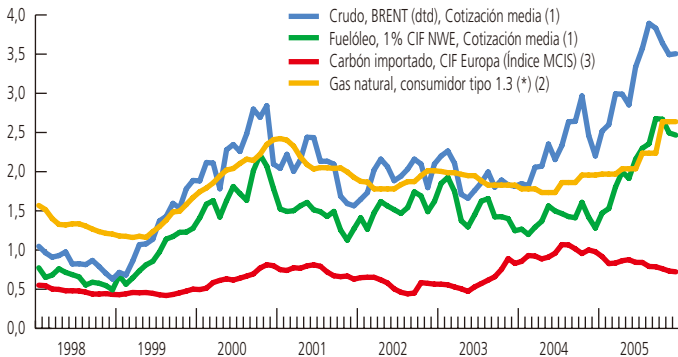
Para una mejor y más correcta comparación, deben tenerse en cuenta las estructuras de costes de las diferentes tecnologías pues es de esta manera como podemos evitar la distorsión producida por factores de difícil control como el coste de la inversión y de los combustibles.

Del cuadro expuesto, se deduce que las energías nuclear y eólica son muy sensibles al coste de inversión y por consiguiente a los plazos de construcción y al coste de su financiación. Además, en el caso de la nuclear la estandarización de equipos y del mantenimiento pesará a la hora de disminuir los costes de operación y mantenimiento. Será en estos casos su disponibilidad para estar el máximo de horas conectadas a la red lo que determinará la mejor rentabilidad de la inversión.

En las energías fósiles, carbón y gas, así como en la biomasa, es el coste de combustible el que determina mayormente el coste final de producción. Habida cuenta de los elevados consumos que tienen estas centrales y de la volatilidad de los precios de abastecimiento, el riesgo de estas inversiones es elevado y por consiguiente los plazos de amortización deben ser muy cortos, lo que se traduce en precios de producción muy elevados y sensibles al mercado.

La evolución de los precios de los combustibles queda reflejada así:

### EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES (c€/termia de PCI)



(\*) Consumidor tipo considerado: Tipo 1.3, P>60bar; Q>1000GWh; utilización: 300d/a. Datos a 31-12-2005.  
Fuentes: (1) Platt's Oilgram Price Report. (2) Boletín Oficial del Estado (BOE). (3) McCloskey's Coal Report.

220

## ¿CUÁL ES LA PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE NUESTRAS CENTRALES NUCLEARES?

La participación nacional en los programas nucleares ha variado en el tiempo. Así, en las tres centrales de la primera etapa (José Cabrera, Santa María de Garoña y Vandellós I) la participación fue relativamente baja —entre un 42 y un 44%— debido a las condiciones de contratación. Como por aquella época, finales de los años 60, no parecía clara la ventaja de ninguna tecnología, se decidió que cada una de ellas fuese de distinto tipo, contratándose bajo la modalidad de “llave en mano”, con subcontratación para empresas constructoras y de equipo españolas.

Cuando a comienzos de los años 70 se autorizaron los siete grupos de la segunda etapa, optándose por el sistema PWR en seis, Almaraz I y II, Ascó I y II, y Lemóniz I y II (estos dos últimos no se terminaron) y por BWR en el grupo de Cofrentes; la experiencia y la tecnología adquiridas hicieron posible que la participación nacional alcanzase ya niveles elevados, entre el 65 y el 70 por 100.

Finalmente, en las dos centrales —Trillo I y Vandellós II— de la tercera etapa, con una industria española de bienes de equipo ya madura en el campo nuclear, y con amplia experiencia y capacitación adquiridas tanto por las empresas de construcción y montaje, como por las de ingeniería, ensayo y control de calidad, se alcanzaron niveles de participación nacional muy altos (85%).



**PARTICIPACIÓN NACIONAL EN LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS (%)**

<i>Concepto</i>	<i>Centrales 1ª etapa</i>	<i>Centrales 2ª etapa</i>	<i>Centrales 3ª etapa</i>
Bienes de equipo	24-25	45-55	75-80
– Caldera nuclear		30-35	70-75
– Turbogenerador		30-40	55-60
– Mecánico		70-80	85-90
– Eléctrico e Instrumentación		75-85	95-100
Servicios		93-96	96-98
– Construcción	65-75	100	100
– Montaje	80-85	100	100
– Transporte		95	95-100
– Ingeniería		75-80	85-95
– Form. de personal	50-70	80	100
<b>Total</b>	<b>42-44</b>	<b>65-70</b>	<b>80-85</b>



221

## ¿CUÁLES SON LAS BASES DE UNA POLÍTICA ENERGÉTICA Y CUÁL ES EL SENTIDO DE UNA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA EN LA ACTUALIDAD?

Hay consenso unánime en que el modelo energético de referencia que los gobiernos deben seguir para asegurar el suministro pasa por definir una “cesta” o “mix” energético en el que participen todos los combustibles existentes. No existe ninguna energía excluida en este empeño. Eso sí, cada gobierno aplicará para su exacta definición los condicionantes específicos nacionales. También deben diversificarse proveedores, tecnologías y aprovisionamientos geográficos. Las soluciones deben ser ambientalmente aceptables y debe promoverse el uso de las energías renovables.

Aunque existe consenso globalizado a nivel de instituciones supranacionales y nacionales, económicas y políticas, gubernamentales y privadas, en la totalidad de esos principios, no ocurre igual por parte de algunos agentes sociales y grupos de presión y ello pesa en el periódico examen ante las urnas y en la gestión política. A su vez esta incertidumbre incrementa el riesgo financiero y regulatorio ante las posibles inversiones afectadas, aplazándolas o sustituyéndolas, aun cuando solo sean soluciones a corto plazo desde el punto de vista energético. La opción nuclear está en esta situación.

Las políticas promovidas buscan el abastecimiento universal atendiendo al crecimiento, a que la energía sea accesible en precio y con un producto fiable y de calidad fomentando el funcionamiento de un mercado transparente y a que su utilización sea sostenible ambientalmente.

## BASES DE UNA POLÍTICA ENERGÉTICA

---

### Atender al Crecimiento

- Población
- Económico
- Energético
- Estabilidad Institucional

---

### Energía Disponible

- Calidad y fiabilidad en suministro
- Todos los recursos son necesarios
- Diversificación fuentes y proveedores

---

### Energía Accesible

- Suministrar a precio accesible
- Transparencia mercado. No a las subvenciones
- Respeto al Medio Ambiente

---

### Energía Aceptable

- Objetivos medioambientales y actitudes públicas
  - Afrontar cambio climático
  - Tecnología limpia y usos locales
- 

Por último viene bien realizar una reflexión sobre el sentido de realizar en la actualidad una planificación energética. A este respecto hay que decir que la planificación energética tuvo sentido en un contexto muy concreto, como el que se dio en los años 70 y 80; contexto caracterizado por grandes incertidumbres en los mercados de crudo de petróleo y gas natural; una importante participación pública en todos los sectores energéticos; con monopolios u oligopolios en casi todos los mercados de energías finales y con rígidos mecanismos reguladores, herencia de un pasado proteccionista y autárquico.

Actualmente, en una economía cada vez mas globalizada y competitiva, los mecanismos clásicos de la planificación energética han perdido su sentido, quedando relegados dentro de las políticas económicas de los países industrializados. No obstante, para vigilar la competencia en los mercados y flexibilizarlos puede resultar conveniente establecer medidas cautelares de orientación, no reguladoras. Como pauta a seguir el norte lo constituyen las directivas comunitarias desreguladoras, que progresivamente se van incorporando al acervo de la Unión Europea.



## ¿EN QUE CONSISTE EL PLAN DE FOMENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA?

**E**n la ley del Sector Eléctrico 54/1997, se estableció el objetivo de que las energías renovables cubrieran el 12% del consumo de energía primaria en 2010. Este empeño cumplía con la recomendación a este respecto de la Unión Europea expuesta en el "Libro blanco de las energías renovables".

El Plan promueve unas energías que son autóctonas y por tanto tienen repercusión en las economías locales por la creación de empleo y en la industria por las oportunidades que crea para su desarrollo; sostenibles aunque medioambientalmente la biomasa genera gases del efecto invernadero y los procesos de fabricación de las restantes no son limpios; y que diversifican el abastecimiento y de esta forma ayudan a garantizar el suministro.

Los diferentes planes han ido actualizando objetivos y resultados en función de las expectativas y realidades tecnológicas y económicas, a la vez de su aceptación socioeconómica. En el momento de editar esta publicación está vigente el plan para el período 2005-2010.

En 1998, las energías renovables cubrían el 6,2% del consumo de energía primaria, en 2004 ese valor era del 6,9% y para 2010 se espera alcance el 12,1%. Destaca el creciente peso de la utilización de estas energías para la producción eléctrica que ha crecido el 10% en estos últimos años y todavía lo hará un 5% más hasta alcanzar el 67% del total de energía renovable generada.

En los próximos 5 años, 2005-2010, se espera que las nuevas inversiones en producción eléctrica añadan 42.163 GWh al actual mercado, siendo 61% eólicos y 28% biomasa. Además, se espera un crecimiento en la generación de calor mediante placas térmicas de baja temperatura cuya superficie instalada pasará desde los actuales 0,7 millones de m<sup>2</sup> hasta los 4,9 millones de m<sup>2</sup> de paneles.

La producción eléctrica con energías renovables está agrupada en el llamado "régimen especial" gozando de ayudas económicas que priman las nuevas inversiones y de subvenciones a la producción. Además, la producción es automáticamente aceptada por el mercado, independientemente del precio de coste.

### PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES. SÍNTESIS DE ESCENARIOS ENERGÉTICOS

#### 1 - Evolución del consumo de energía primaria del Plan de Fomento de las energías renovables 2005-2010

<i>ktep</i>	1998	2004	2010	% 2010/2004
Usos eléctricos	3.608 (51%)	5.973 (61%)	13.574 (67%)	+227%
Usos térmicos	3.506 (49%)	3.538 (36%)	4.445 (22%)	+25%
Total renovables	7.114 (100%)	9.739 (100%)	20.220 (100%)	+207%
% Consumo energía primaria España	6,2%	6,9%	12,1%	

#### 2 - Evolución por fuentes energéticas del Plan de Fomento de las energías renovables 2005-2010

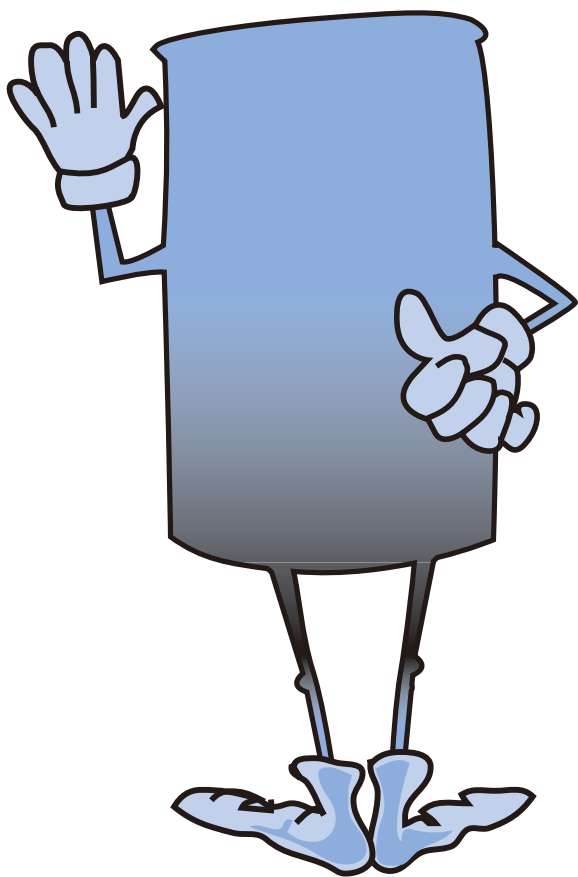
	1998	2004	2010
<b>Uso eléctrico-GWh</b>			
Hidráulica	35.109	36.229	38.186
Eólica	2.002	19.571	45.511
Biomasa	1.139	4.386	5.036
Solar	15	56	1.905
Otras (1)	586	2.048	2.645
<b>Total eléctrico</b>	<b>38.851</b>	<b>62.290</b>	<b>102.259</b>
<b>Usos térmicos ktep</b>			
Biomasa	3.476	3.487	4.070
Solar	26	51	376
<b>Total térmica (2)</b>	<b>3.506</b>	<b>3.538</b>	<b>4.446</b>
Biocarburantes	—	228	2.200

Fuente: Plan Energías Renovables.

Notas: (1) Residuos urbanos.

(2) No se incluye geotérmica y otras.









# SOCIOS DEL FORO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR ESPAÑOLA

AREVA NP ESPAÑA  
CN ALMARAZ  
CN ASCÓ  
CN COFRENTES  
CN JOSÉ CABRERA  
CN TRILLO 1  
CN VANDELLÓS II  
COAPSA - CONTROL  
DOMINGUIS  
EMPRESARIOS AGRUPADOS  
ENDESA  
ENSA  
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS  
ENVIROS - SPAIN  
GENERAL ELECTRIC INTERNATIONAL  
GHESA  
HIDROCANTÁBRICO  
IBERDROLA  
INITEC  
LAINSA L.A.I.  
LAINSA S.C.I.  
NUCLENOR  
PROINSA  
SIEMSA ESTE  
TAMOIN POWER SERVICES - TPS  
TECNATOM  
UNESA  
UNIÓN FENOSA  
WESTINGHOUSE TECHNOLOGY SERV.



c/ Boix y Morer, 6 • 28003 Madrid  
correo@foronuclear.org  
www.foronuclear.org  
Tel.: +34 91 553 63 03